

# Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.



## Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.

Maykel Andrés Galloso Hernández.



**TESIS DOCTORAL.**

**CÓRDOBA, 2021.**

*Universidad de Córdoba, España*

*Departamento de producción animal.*

TITULO: *POTENCIAL DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES PARA LA PRODUCCIÓN BUFALINA EN AMBIENTES TROPICALES*

AUTOR: *Maykel Andrés Galloso Hernández*

---

© Edita: UCOPress. 2021  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>  
[ucopress@uco.es](mailto:ucopress@uco.es)

---



## **UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**Programa de doctorado: Biociencias y Ciencias agroalimentarias**

**Potential of silvopastoral systems for water buffalo  
production in tropical environment.**

**Potencial de los sistemas silvopastoriles para la  
producción bufalina en ambientes tropicales.**

Autor: Maykel Andrés Galloso Hernández

Director: Vicente Rodríguez Estévez.

Fecha de la solicitud de presentación en sede electrónica de la UCO: **14 de junio, 2021.**





**Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.**

**Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.**

El director,

**RODRIGUEZ  
ESTEVEZ  
VICENTE -  
30534418D**

Firmado digitalmente por RODRIGUEZ  
ESTEVEZ VICENTE - 30534418D  
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES,  
serialNumber=IDCES-30534418D,  
givenName=VICENTE, sn=RODRIGUEZ  
ESTEVEZ, cn=RODRIGUEZ ESTEVEZ  
VICENTE - 30534418D  
Fecha: 2021.06.14 12:05:40 +02'00'

Fdo: Vicente Rodríguez Estévez

Profesor titular del Departamento de Producción Animal  
de la Universidad de Córdoba

Trabajo presentado para optar al Grado de Doctor en Veterinaria, Sección  
Biociencias y Ciencias Agroalimentarias, por la Universidad de Córdoba.

El doctorando,

**GALLOSO HERNANDEZ  
MAYKEL ANDRES -  
16108666H**

Firmado digitalmente por  
GALLOSO HERNANDEZ MAYKEL  
ANDRES - 16108666H  
Fecha: 2021.06.14 12:01:11 +02'00'

Fdo: Maykel Andrés Galloso Hernández.



**Vicente Rodríguez Estévez**, Profesor Titular del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba, en calidad de Director de la Tesis Doctoral presentada por Maykel Andres Galloso Hernández, con el título "Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción de búfalos en ambientes tropicales".

**CERTIFICA:**

Que la citada Tesis Doctoral se ha realizado en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey de la Universidad de Matanzas (Cuba) y el Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba (España). El doctorando también ha realizado una estancia de investigación en el Departamento SELMET del INRAE, Montpellier (Francia). Y que, a su juicio, esta reúne los requisitos necesarios exigidos en este tipo de trabajo.

Y para que conste y surta los efectos pertinentes, expiden el presente certificado en Córdoba, a 14 de Junio de 2021.

RODRIGUEZ  
ESTEVEZ VICENTE  
- 30534418D

Firmado digitalmente por RODRIGUEZ  
ESTEVEZ VICENTE - 30534418D  
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES,  
serialNumber=IDCES-30534418D,  
givenName=VICENTE, sn=RODRIGUEZ  
ESTEVEZ, cn=RODRIGUEZ ESTEVEZ  
VICENTE - 30534418D  
Fecha: 2021.06.14 12:06:10 +0200'

Fdo. Vicente Rodríguez Estévez.





Mediante la defensa de esta Memoria se pretende optar a la mención de Doctorado Internacional, habida cuenta de que la doctoranda reúne los requisitos exigidos para tal mención, a saber:

1. Informes favorables de dos doctores pertenecientes a Instituciones de Enseñanza Superior de otros países:

- Giraldo Martin Martin. Estación experimental de pastos y forrajes: "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba

- Noce Antonia. Leibniz-Institut for Farm Animal Biology (FBN). Rostock. Germany.

2. Uno de los miembros del tribunal que ha de evaluar la Tesis pertenece a un centro de Enseñanza Superior de otro país:

- Rayner Gonzalez Prendes, Wageningen University and Research Animal Breeding and Genomics. The Netherlands

3. La exposición y la defensa de parte de esta Tesis se realizarán en una lengua diferente a la materna: inglés.

4. Estancia de tres meses en un centro de investigación de otro país: INRAE, Montpellier, Francia, bajo la supervisión del Doctor Eliel Gonzalez García.



## INFORME RAZONADO DEL DIRECTOR DE LA TESIS.

D. Vicente Rodríguez Estévez, profesor titular del departamento de producción animal de la Universidad de Córdoba, en calidad de director de la tesis: Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.

Certifica:

La presente Tesis doctoral se ha realizado dentro del Programa de Doctorado "Biociencias y Ciencias Agroalimentarias" de la Universidad de Córdoba (UCO) y cumple con los requisitos de la normativa en cuanto a originalidad y relación con el programa de doctorado.

El trabajo experimental de la Tesis Doctoral ha sido desarrollado en los laboratorios y áreas de investigación de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes (EEPF) Indio Hatuey, situada en Matanzas (Cuba). La metodología empleada es la adecuada y los resultados obtenidos son relevantes desde el punto de vista científico.

El doctorando, Maykel Andrés Galloso Hernández ha realizado su actividad investigadora con alto interés, cumpliendo con los planes de investigación y formación, superando los requisitos exigidos por la normativa de Estudios de Doctorado de la UCO. Desde su incorporación al Programa de Doctorado ha estado muy implicado en su proyecto de tesis, tomando iniciativas y resolviendo las complicaciones generadas en su desarrollo.

Maykel Galloso Hernández, es el primer autor de tres de los artículos científicos publicados en el primer cuartil de la categoría Veterinary Sciences del Journal Citations Report (JCR) incluidos en la Tesis, dos de ellos publicados en Frontiers in Veterinary Science (posición 19 de 141 en Veterinary Sciences) y uno publicado en Animals (posición 14 de 141 en Veterinary Sciences y también en el primer cuartil de la categoría Agriculture, Dairy & Animal Science, posición 10 de 63). Ha participado en 5 congresos (2 nacionales y 3 internacionales). Como primer autor de estos trabajos ha sido el responsable de la ejecución de los trabajos experimentales y de generar los primeros borradores de los artículos y comunicaciones.

Como director considero que la presente Tesis Doctoral reúne las exigencias científicas necesarias para ser defendida con el fin de obtener el título de Doctor por la Universidad de Córdoba; por lo que autorizo su presentación y defensa.

RODRIGUEZ ESTEVEZ  
VICENTE - 30534418D

Firmado digitalmente por RODRIGUEZ ESTEVEZ VICENTE - 30534418D  
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-30534418D,  
givenName=VICENTE, sn=RODRIGUEZ ESTEVEZ, cn=RODRIGUEZ ESTEVEZ  
VICENTE - 30534418D  
Fecha: 2021.06.14 12:06:40 +02'00'

Fdo. Vicente Rodríguez Estévez.



**INFORME SOBRE EL FACTOR DE IMPACTO DE LAS PUBLICACIONES DE LA TESIS.**

**TITULO DE LA TESIS: Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.**

**Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.**

**Doctorando: Maykel A. Galloso Hernández**

Frontiers in Veterinary Science (posición 19 de 141 en Veterinary Sciences) primer cuartil (Q1 de la categoría) Veterinary Sciences del Journal Citations Report (JCR)	<b>Maykel A. Galloso-Hernández</b> , Vicente Rodríguez-Estévez, Carlos A. Alvarez-Díaz, Mildrey Soca-Pérez, Devon Dublin, Jesús Iglesias-Gómez and Leonel Simón Guelmes. 2020. Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress. Frontiers in Veterinary Science. <a href="https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00393">https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00393</a> .
Frontiers in Veterinary Science (posición 19 de 141 en Veterinary Sciences) primer cuartil (Q1 de la categoría) Veterinary Sciences del Journal Citations Report (JCR)	<b>Maykel A. Galloso-Hernández</b> , Vicente Rodríguez-Estévez, Armando Alvarez-Díaz, Mildrey Soca-Pérez, Devon R. Dublin, Jesús Iglesias-Gómez and Leonel Simón Guelmes. 2020. Selectivity of leguminous trees by water buffaloes in semi-intensive systems. Frontiers In Veterinary Science. <a href="https://doi: 10.3389/fvets.2020.542338">https://doi: 10.3389/fvets.2020.542338</a> .
Animals (posición 14 de 141 en Veterinary Sciences) primer cuartil (Q1) de la categoría Agriculture, Dairy & Animal Science, posición 10 de 63).	<b>Maykel A. Galloso-Hernández</b> , Mildrey Soca-Pérez, Devon Dublin, Armando Alvarez-Díaz, Jesús Iglesias-Gómez; Cipriano Díaz-Gaona and Vicente Rodríguez-Estévez. 2021. Thermoregulatory and feeding behavior under different management and heat stress condition in Heifer Water Buffalo ( <i>Bubalus bubalis</i> ) in the Tropics. Animals, 11, 1162. <a href="https:// doi.org/10.3390/ani11041162">https:// doi.org/10.3390/ani11041162</a> .



# OTRAS CONTRIBUCIONES





**Relación de contribuciones científicas (aportaciones a congresos, ponencias y publicaciones científicas) derivadas de la presente Tesis Doctoral:**

Jesús Manuel, Iglesias Gómez, **Maykel A. Galloso-Hernández**, and Odalys Caridad Toral-Pérez. Aguilar, A. 2019. "Comportamiento Productivo y Conducta de Búfalos de Río y Toros Cebú En Silvopastoreo. Productive Performance and Behavior of Grazing River Buffaloes and Zebu Bulls in a Silvopastoral System. *Pastos y Forrajes* 2019, 42(3):223–29.

**Maykel A. Galloso-Hernández**, Vicente Rodríguez-Estévez, Carlos A. Alvarez-Díaz, Mildrey Soca-Pérez. 2019. Can tree replace wallowing buffaloes river in form of silvopastoral systems? *I. Word Congres of Animal Welfare and Behavior*. ISAE, 2018. Eduard Island, Canada. 2018.

**Maykel A. Galloso-Hernández**, Vicente Rodríguez-Estévez, Leonel Simón Guelmes, Mildrey Soca-Pérez, Carlos A. Alvarez-Díaz, Devon Dublin, Eliel González-García. 2019. 4th World. Can trees replace the need for wallowing in river buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics?. Preliminary Results. In: Dupraz, C., Gosme, M., Lawson, G. (Editors). 2019. *Book of Abstracts, 4th World Congress on Agroforestry. Agroforestry: strengthening links between science, society and policy*. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. 933 p.

**Maykel A. Galloso-Hernández**, Vicente Rodríguez-Estévez, Leonel Simón, Carlos Alvarez-Díaz. 2018. Comportamiento alimentario y aptitud de búfalos en sistemas arborizados (SSP) y sin arborización (SSA). *VI Congreso de jóvenes investigadores. Universidad de Córdoba, España*. Creando Redes Doctorales: La generación del conocimiento. Editado por Arturo F. Chica Pérez y Julieta Mérida García. – Córdoba: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba, 2018. ISBN: 978-84-9927-239-9.

**Maykel A. Galloso-Hernández**, Vicente Rodríguez-Estévez, Leonel Simón, Mildrey Soca-Pérez, Devon Dublin, Carlos Armando Alvarez-Díaz, Eliel González-García. 2019. ¿Pueden los árboles reemplazar la necesidad de

revolvase en los búfalos de río (*Bubalus bubalis*) en los trópicos? II. *VII Congreso científico de Jóvenes investigadores*. Creando Redes Doctorales: Investiga y Comunica. Editado por Arturo F. Chica Pérez y Julieta Mérida García. – Córdoba: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba, 2019. ISBN: 978-84-9927-239-9.

**Maykel A. Galloso-Hernández**, Vicente Rodríguez-Estévez, Leonel Rafael Simón-Guelmes, Carlos Armando Álvarez-Díaz, Mildrey Soca-Pérez, Jesus Manuel Iglesias-Gómez y Eliel González-García. 2019. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en Cuba. Una experiencia de adopción de tecnologías en la Estación Experimental “Indio Hatuey. V Convención internacional Agrodesarrollo 2019. Agroecología y resiliencia ante el cambio climático. 22-26 octubre 2019. ISBN 978-959-7138-39-6 pp 492-499.

## **Dedicatoria.**

A mi madre, qué siendo pobre, se ocupó de dar la mejor educación e instrucción en los peores momentos del periodo especial en Cuba. Y enseñarnos que los valores son aprendidos en la casa y reafirmados en la academia.

A mi esposa, fiel guardiana de la estabilidad emocional de la familia. Que, siendo mi compañera en la vida profesional y personal, ha sabido mantener vivos sus sueños y los de los que le rodean.

A mi padre, que siendo un agricultor supo adaptarse a las circunstancias cambiantes de la economía cubana y aportó parte del sustento para seguir adelante.

A mis hermanos que han sido privados de mi presencia, a la familia Galloso-Hernández que en la distancia han mantenido la unidad y la fortaleza en las condiciones cambiantes de la realidad Cubana.

A mis hijos que están por venir, que cada etapa ha de vivirse con la intensidad suficiente para poder disfrutarla y que cada momento en la vida tiene una razón de ser. Nada es aleatorio.

A mis abuelos<sup>†</sup>, en donde quiera que estén, que ser Rey implica, también aprender a ser mendigo. Y que aprender en la tierra, es muchísimo más importante que aprender en el cielo.

A la memoria de Ama<sup>†</sup> y Aita<sup>†</sup> quienes me respaldaron incondicionalmente durante todos estos años. Que sin su paciencia y apoyo no sería posible este proyecto de tesis, ni ganarme honradamente el sustento. Ellos confiaron en que podía volver a caminar y que los años difíciles pasarían más temprano que tarde.

Al Dr Leonel Simón Guelmes<sup>†</sup>, al Dr Nilo Delahante Morejón<sup>†</sup> por confiar en su instinto y mostrarme el camino a esta investigación, que complementa sus aportes, como científicos de América Latina.



## **Agradecimientos.**

Al Dr Alejandro Cabezas Cruz de INRA, Paris, France, por reorganizar la redacción de la tesis y los artículos resultantes de la misma. Bro, sin tu ayuda y orientación no hubiera sido posible este documento. Al Dr. Devon Dublin de la Universidad de Hohaiko, Japón por continuar su apoyo en la distancia. A mis alumnos, colegas, compañeros de "Indio Hatuey" y la Universidad Agraria de la Habana, por todos los años de aprendizaje constante.

A las innumerables dificultades, en estos años de enfermedad y recuperación, que han contribuido a hacerme mejor persona.

Al proyecto BIOMAS CUBA, de la agencia de cooperación al desarrollo, COSUDE por financiar parte de esta investigación y al Dr Giraldo Martin Martin líder indiscutible de los estudios sobre sostenibilidad productiva del silvopastoreo, por su confianza en el futuro. Nunca olvidaré su consejo al permitirme continuar los estudios de PhD. (SSA): serenidad, seguridad y avance. Al Dr. Eliel González García, por acogerme en las instalaciones de INRA Montpellier. Al Dr Armando Alvarez Diaz de Ecuador y la Dra Mildrey Soca Pérez y Dania Feraud de Cuba, Carolina Reyes Palomo de España, por sus orientaciones, consejos y lecciones de vida continuos. Este proyecto va dedicado e inspirado en ustedes.

Por último, quisiera agradecer especialmente al Dr. Vicente Rodríguez-Estévez quien en la distancia supo conducir con sabia estrategia la actividad formativa doctoral. Profe, usted tiene la virtud de convertir en bueno y noble todo cuanto llega a sus manos.



# **Índice**





## Índice

Índice de tablas.....	7
Índice de figuras.....	9
Ecuaciones.....	11
Abreviaturas.....	13
Resumen.....	17
Abstract.....	21
1. Introducción.....	25
2. Objetivos.....	33
3. Revisión bibliográfica.....	37
3.1. Biología del búfalo.....	37
3.2. Origen y clasificación zoológica.....	37
3.3. Características de la especie.....	38
3.4. Importancia del búfalo de agua y beneficios de la bufalinocultura.....	39
3.5. Desventajas y limitaciones de la cría de búfalos.....	40
3.6. Situación en Cuba de la producción bufalina.....	41
3.7. Los pastos y forrajes en la alimentación de los búfalos de agua.....	42
3.8. La selectividad de árboles.....	43
3.9. Influencia de los factores antinutricionales en la ingestión.....	44
3.10. El comportamiento de los búfalos de agua.....	47
3.11. La humedad relativa, el sol y la temperatura.....	50
3.12. Efecto de la sombra en el comportamiento animal.....	53
3.13. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento de los búfalos de agua.....	56
3.14. Experiencias de sistemas silvopastoriles.....	57
4. Materiales y métodos.....	63
4.1. Ubicación de las áreas experimentales.....	63
4.2. Clima y suelo.....	65
4.2.1. Condiciones ambientales durante el experimento 1.....	65
4.2.2. Condiciones ambientales durante el experimento 2.....	66
4.2.3. Condiciones ambientales durante el experimento 3.....	68
4.2.4. Condiciones ambientales del experimento 4.....	68
4.3. Animales.....	69
4.3.1. Características de los animales usados en el experimento 1.....	69

4.3.2. Características de los animales usados en el experimento 2.....	69
4.3.3. Características de los animales usados en el experimento 3.....	70
4.3.4. Características de los animales usados en el experimento 4.....	70
4.4. Manejo de los animales.....	70
4.4.1. Manejo de los animales en los experimentos de comportamiento animal (experimentos 1 y 2)....	70
4.4.2. Manejo de los animales en el experimento de selectividad (experimento 3). ....	71
4.4.3. Manejo de los animales en el experimento de bovinos y búfalos en silvopastoreo (experimento 4). .....	71
4.5. Parcelas experimentales. ....	71
4.5.1. Parcelas del experimento 1. ....	73
4.5.2. Parcelas del experimento 2. ....	73
4.5.3. Parcelas del experimento 3. ....	73
4.5.4. Parcelas del experimento 4. ....	73
4.6. Manejo del pastizal.....	74
4.6.1. Determinación de la disponibilidad del estrato herbáceo.....	74
4.6.2. Composición química de los pastos y los suplementos. ....	75
4.7. Los forrajes arbóreos.....	75
4.8. Observaciones y secuencia experimental. ....	76
4.8.1. Observaciones y secuencia experimental del comportamiento de búfalos en sistema silvopastoril y sin árboles (experimentos 1 y 2). ....	76
4.8.1.1. Registro del comportamiento de los experimentos 1 y 2.....	80
4.8.2. Observaciones y secuencia experimental de la selectividad de los búfalos ante 4 tipos de hojas de árboles leguminosos (experimento 3).....	82
4.8.3. Observaciones y secuencia experimental del rendimiento comparativo de búfalos de bovinos en silvopastoreo racional (experimento 4). ....	85
4.9. Análisis estadísticos.....	87
5. Resultados. ....	91
5.1. Experimento 1. Comportamiento termorregulador y alimentario bajo diferentes sistemas de manejo y condiciones de estrés en novillas búfalas ( <i>bubalus bubalis</i> ) en el trópico.....	91
5.1.1. Descripción. ....	91
5.1.2. Condiciones ambientales. ....	91
5.1.3. Comportamientos de pastoreo y alimentación. ....	92
5.1.4. Comportamiento termorregulador y otras actividades. ....	96
5.1.5. Correlaciones entre las variables de agrupación de comportamiento.....	97

<b>5.2. Experimento 2. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento termorregulador y alimentario en búfalos de agua bajo diferentes condiciones de estrés térmico. ....</b>	<b>99</b>
5.2.1. Descripción. ....	99
5.2.2. Comportamiento termorregulador y alimentario en el sistema silvopastoril y el sistema convencional.....	99
5.2.3. Comportamiento termorregulador global bajo estrés térmico intenso. ....	101
5.2.4. Comportamiento alimentario activo en el sistema silvopastoril y sistema convencional.....	102
5.2.5. Comportamiento de rumia bajo estrés térmico. ....	104
<b>5.3. Experimento 3. Selectividad de árboles leguminosos por búfalos de agua en un sistema semintensivo. ....</b>	<b>105</b>
5.3.1. Descripción. ....	105
5.3.2. Preferencia de los búfalos ante las hojas de árboles leguminosos. ....	105
5.3.3. Contribución nutricional de las hojas de los árboles leguminosos a la dieta. ....	107
<b>5.4. Experimento 4 Comportamiento productivo y alimentario de búfalos de agua y bovinos cebú en un sistema silvopastoril.....</b>	<b>111</b>
5.4.1. Descripción. ....	111
5.4.2. Es posible producir búfalos de agua bajo silvopastoreo racional sin agua para revolcarse. ....	112
5.4.3. Diferencias de comportamiento de búfalos y bovinos bajo un sistema silvopastoril.....	112
<b>6. Discusión. ....</b>	<b>117</b>
6.1. Experimento 1. En las búfalas jóvenes, ¿qué ocurre con las necesidades termorreguladoras y alimentarias en silvopastoreo bajo condiciones de estrés térmico intenso y estrés térmico moderado?. ....	117
6.1. Experimento 2. ¿Es posible reducir el uso de revolcaderos o baños en búfalos de agua en los sistemas silvopastorales en condiciones de estrés térmico intenso y moderado?.....	125
6.3. Experimento 3. ¿Son los búfalos selectivos ante diversos tipos de hojas de árboles de la familia de las leguminosas? ¿Son iguales los aportes de estas ramas cuando se ofrecen a voluntad a los búfalos de agua?.....	129
6.4. Experimento 4. ¿Es posible producir búfalos de agua bajo silvopastoreo sin agua para revolcarse y refrescarse?. ¿Son diferentes el comportamiento y la alimentación de bovinos y búfalos de agua en un sistema de silvopastoreo con pastoreo racional?.....	133
<b>7. Conclusiones. ....</b>	<b>139</b>
<b>8. Recomendaciones.....</b>	<b>147</b>
<b>9. Referencias. ....</b>	<b>151</b>
<b>Publicaciones indexadas. ....</b>	<b>175</b>



## **Índice de tablas.**

TABLA 1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS BÚFALOS DE AGUA Y SUS PARIENTES GENÉTICOS. ....	37
TABLA 2 RESUMEN DEL TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO Y TERMOREGULADOR DE BÚFALOS POR DIFERENTES AUTORES. ....	49
TABLA 3 RELACIÓN DE EXPERIMENTOS DE LA MEMORIA DE LA TESIS. ....	63
TABLA 4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES. ....	72
TABLA 5 CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LOS EXPERIMENTOS 1 Y 2. ....	78
TABLA 6 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE COMPORTAMIENTO. ....	81
TABLA 7 CLASIFICACION DE LAS VARIABLES DE LOS EXPERIMENTOS DE COMPORTAMIENTO ANIMAL. ....	82
TABLA 8 LEGUMINOSAS ARBÓREAS USADAS EN EL EXPERIMENTO DE SELECTIVIDAD. ....	83
TABLA 9 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA REGISTRADA EN CADA SISTEMA (CON Y SIN ARBOLES) Y BAJO DIFERENTES INTENSIDADES DE ESTRÉS TÉRMICO EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN. ....	92
TABLA 10 OFERTA DE ALIMENTOS Y PRESIÓN DE PASTOREO. ....	93
TABLA 11. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR Y OTRAS ACTIVIDADES DE BÚFALOS DEPENDIENTES DEL SISTEMA DE PASTOREO Y LA ÉPOCA. ....	95
TABLA 12 COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR Y ALIMENTARIO EN EL SISTEMA SIN ARBORIZACIÓN. ....	100
TABLA 13 TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR, AL BAÑO Y AL SOMBREO. ....	101
TABLA 14 TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO ACTIVO. ....	102
TABLA 15 TIEMPO DEDICADO A LOS DIFERENTES TIPOS DE COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO. ....	103
TABLA 16 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS INGREDIENTES DE LA DIETA. ....	107
TABLA 17 PRINCIPALES NUTRIENTES Y COMPOSICIÓN DE LA DIETA. ....	110
TABLA 18 INDICADORES PRODUCTIVOS DE BÚFALOS Y BOVINOS BAJO CONDICIONES DE SISTEMA SILVOPASTORIL (KG). ....	112
TABLA 19 TIEMPO DEDICADO A LAS DIFERENTES ACTIVIDADES BAJO CONDICIONES DE SILVOPASTOREO(%). ....	113
TABLA 20 COMPORTAMIENTO DE LOS BÚFALOS Y LOS TOROS SEGÚN EL TIEMPO (HORAS) DEDICADO Y EL PORCENTAJE DE CADA ACTIVIDAD. ....	114



# Índice de figuras.

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS DE LA TESIS.....	64
FIGURA 2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 1 (EXPERIMENTO 1 Y 2).....	67
FIGURA 3. VARIACIÓN O DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 2(EXPERIMENTO 2). ....	67
FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 3(EXPERIMENTO 2). ....	68
FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA DURANTE EL PERIODO EXPERIMENTAL (EXPERIMENTO 4: BOVINOS Y BÚFALOS EN SILVOPASTOREO).....	69
FIGURA 6. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS EXPERIMENTOS DE COMPORTAMIENTO ANIMAL (1,2). ....	79
FIGURA 7. DESCRIPCION DEL MANEJO Y DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL EXPERIMENTO DE SELECTIVIDAD (EXPERIMENTO 3). ....	84
FIGURA 8. ESQUEMA DEL EXPERIMENTO DE COMPORTAMIENTO DE BÚFALOS Y BOVINOS EN SILVOPASTOREO (EXPERIMENTO 4) .....	86
FIGURA 9. CONSUMO DE LAS HOJAS DE LOS ÁRBOLES Y DISTRIBUCIÓN DE ESTE A LO LARGO DE LOS DÍAS. ....	106
FIGURA 10. CONSUMO DE CADA TIPO DE HOJA Y CONTRIBUCIÓN EN MATERIA SECA (A), PROTEÍNA BRUTA (B), FIBRA BRUTA (C) Y ENERGÍA BRUTA(D) (P < 0.01). ....	108





## Ecuaciones.

Ecuación 1. Estimación del índice temperatura humedad (ITH) (Tucker et al., 2008). .....	66
Ecuación 2. Cálculo de la disponibilidad de pastos en la parcela (Martínez <i>et al.</i> , 1990). .....	75
Ecuación 3 Cálculo del tiempo dedicado a cada actividad (Petit, 1972). .....	80
Ecuación 4 Modelo lineal de efectos fijos (IBM, 2017). .....	80



## **Abreviaturas.**

%: Porcentaje.

°C: grados Celsius.

AA: Altura del área.

ACTH: hormona corticotropa adrenal.

ALP: enzima fosfatasa alcalina.

ALT: enzima alaninotransferasa.

AM: Altura de los marcos.

Am: ante meridiano.

BGTHI: índice de temperatura-humedad del globo negro.

BW: Peso vivo

Ca: calcio

CIK: capacidad de intercambio Cationico.

cm<sup>2</sup>: Centímetro cuadrado.

cv: cultivar.

CVS: sistema convencional.

DC: Disponibilidad del cuartón.

DEGs: genes expresados diferencialmente

DM: Materia seca.

DMA: Disponibilidad de los marcos.

EB: energía bruta

F: glucocorticoides.

FB: fibra bruta

FR: Frecuencia respiratoria.

g: gramo.

GMD: Ganancia media diaria.

h: horas.

ha<sup>-1</sup>: por kilogramos.

Hr: Humedad relativa

ITGU: índice del globo negro.

ITH: índice de temperatura-humedad.

Kg DM: kilogramo de materia seca

Kg: kilogramos.

L: litro.

m<sup>2</sup>: metro cuadrado.

MDA: Malondialdehyde.

Meq: miliequivalente.

MJ: Megajoule.

MS: Materia seca

msnm: metros sobre el nivel del mar.

Nmol: nanomol.

P: fósforo

Pm: pasado meridiano.

S: Tasa de sudoración.

SPS: sistema silvopastoril.

T: Temperatura

T3 y T4: hormonas tiroideas (triyodotironina y tetrayodotiroxina).

Ton/ha: toneladas por hectarea.

Ton: toneladas.

TP: Temperatura de la piel.

TR: temperatura rectal.

UGM: unidad de ganado mayor.



## **RESUMEN**



## Resumen.

Se estudian las potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en Cuba y las interacciones de los búfalos de agua con los árboles y las pasturas en ambientes tropicales. Se diseñaron 4 experimentos, en la Estación experimental de pastos y forrajes (EEPF) "Indio Hatuey" situada en Matanzas (Cuba). El primer y segundo experimento consistieron en evaluar el comportamiento alimentario y termorregulador en diferentes etapas de desarrollo de los búfalos de agua, que pastoreaban en parcelas de 0,34-0,54ha con un estrato herbáceo predominante de *Megatrysus maximus* cv likoni y un estrato arbóreo sembrado de *Leucaena leucocephala* cv Cunningham (900-950 árboles/ha) en las parcelas con silvopastoreo. Se empleó el método de observación visual con levantamiento cronológico cada 10 minutos y se calculó el tiempo dedicado a las actividades de estos animales. Se evaluaron dos categorías de animales (novillas y búfalas adultas) y en ambas se encontró que las búfalas dedicaron más tiempo al pastoreo bajo los árboles y menos tiempo al baño termorregulador cuando se manejaron en el sistema silvopastoril; además, el ramoneo contribuyó a incrementar el tiempo dedicado al comportamiento alimentario. Mientras que cuando se manejan en el sistema sin árboles dedicaron más tiempo al baño y menos tiempo al pastoreo en condiciones de estrés calórico intenso. Este hallazgo muestra un menor empleo de las zonas de baño y un mayor aprovechamiento de los horarios de pastoreo en actividades que aseguran el bienestar animal (mayor tiempo de pastoreo bajo la sombra de los árboles y el ramoneo de hojas de leguminosas para completar la ración) en los sistemas silvopastoriles.

El tercer experimento se realizó en condiciones de estabulación, con el objetivo de determinar la apetencia generada por 4 especies de árboles (*L. leucocephala* cv Cunningham; *Albizia lebbbeck*, *Gliricidia sepium* y *Moringa oleifera*) y se demostró que las especies arbóreas más consumidas fueron: *L. leucocephala* y *A. lebbbeck*; siendo la *M. oleifera*, la especie menos consumida ( $P < 0.05$ ). Adicionalmente se demostró que los aportes de *A.*

*lebbeck* y *L. leucocephala* superaron en materia seca, proteína bruta, fibra bruta, energía bruta, Ca y P a los aportes de las restantes especies arbóreas.

El cuarto y último experimento comparó el comportamiento productivo y etológico de bovinos y búfalos en las etapas de crecimiento y cebo bajo condiciones de sistema silvopastoril en Cuba con árboles de *L. leucocephala* en combinación con *Megathyrus maximus* y sin agua para revolcarse con un manejo basado en el pastoreo con rotaciones. Con respecto a los bovinos los búfalos mostraron un mayor rendimiento en ganancia media diaria. Además, el comportamiento bajo la sombra de los árboles demostró que es posible manejar búfalos sin baños o revolcaderos cuando se les provee de sombra en forma de sistema silvopastoril.

Como novedades de la tesis se describen en condiciones tropicales el comportamiento alimentario y termorregulador de los búfalos bajo un sistema silvopastoril y monocultivo de gramíneas en condiciones tropicales, con pastoreo racional, cuantificándose el uso del baño termorregulador y la sombra como medida de manejo para la mejora del bienestar animal. También se cuantifican los aportes de diferentes hojas de árboles de la familia de las leguminosas a la dieta de búfalos en crecimiento. Se concluye que el uso de sistemas silvopastoriles es una alternativa promisoriosa para la explotación del búfalo en Cuba y otros países tropicales.

.



## **Abstract.**



## Abstract.

The possibilities of Silvopastoral systems for buffalo production and their interactions with trees and pastures were studied in Cuba under tropical environment. Four experiments were designed in the "Indio Hatuey" Grass and Forage Experimental Station, Matanzas, Cuba. The first and second experiments consisted in evaluating feeding and thermoregulatory behavior in different stages of development of the water buffalo which grazed in four paddocks of 0.34-0.54ha in size with primarily *Megatrysis maximus* cv likoni and *Leucaena leucocephala* cv cunningham trees (900-950 trees/ha) under the silvopastoral system (SPS). The method of visual observation was employed with a chronological survey every 10 minutes and the time the animals dedicated to the various activities were calculated. In all categories of animals (heifers and adults), it was observed that they dedicated more time to grazing under the trees and less time in thermoregulatory wallowing while in the silvopastoral system, and that the tree branches contributed to an increase in feeding behavior. While they were in the system without trees, they dedicated more time to wallowing and less time to grazing in conditions of intense heat stress. This finding favors less use of wallowing zones and more use of grazing hours in activities that secure their wellbeing.

The third experiment was done in housed conditions with the objective of determining their preference for four species of trees (*L. leucocephala* cv. cunningham; *A. lebbeck*, *G. sepium* and *M. oleifera*) which demonstrated that the most consumed species were: *L. leucocephala* and *A. lebbeck*; with *M. oleifera* being the less consumed species ( $P < 0.05$ ). Additionally, it was established that *A. lebbeck* and *L. leucocephala* contributed DM, CP, CF, GE, Ca and P which exceeded that of the other tree species.

The last experiment compared productive and ethological behavior of bovine and buffaloes in stages of growth and fattening under rational silvopastoral conditions in Cuba. It demonstrated the superiority of growing buffaloes over fattening bovine in daily weight gain, final liveweight and ethological behavior under *Leucaena* tree shade in

combination with *Megathyrus maximus* in silvopastoral systems without water for wallowing demonstrating that it is possible to manage buffaloes without wallowing when shade is provided in silvopastoral systems.

The novelties of the thesis were that feeding and thermoregulatory behavior were described in tropical conditions under rational silvopastoral systems with monoculture of grasses; the use of thermoregulatory wallowing was quantified and shade was established as a zootechnical mode of wellbeing. The contributions to the diet of growing buffalos of the different leaves of leguminous trees were calculated and compared with the productive potentialities of bovine and buffaloes under silvopastoral systems and this can sustain the use of wallowing areas. It was concluded that the use of silvopastoral systems is a promising alternative to buffalo exploitation in Cuba.

# **INTRODUCCIÓN**



# 1. Introducción.

Los sistemas de producción animal intentan alcanzar la sostenibilidad y no sólo la eficiencia económica. Así ocurre en los países tropicales (Ibrahim *et al.*, 2006 y Pezo e Ibrahim, 1998) y en todo tipo de especies ganaderas; como es el caso del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) del que hay experiencias de viabilidad de producción de carne en Cuba (Fundora *et al.*, 2004 Fundora *et al.*, 2016) y leche en el trópico (Angulo *et al.*, 2005) en base al aprovechamiento eficiente de los alimentos altamente fibrosos por parte de esta especie (Delgado *et al.*, 2005).

Paralelamente a esta preocupación por la sostenibilidad ha ido creciendo el interés por garantizar el bienestar animal. Así, aún, cuando se considere que el búfalo de agua es una especie rústica, estos tienen necesidades especiales, como el empleo de charcas o revolcaderos para termorregular (Shafie *et al.*, 1985; Choudhary y Sirohi, 2019; Alfredo *et al.*, 2020; Minervino *et al.*, 2020), y niveles de ingestión de pastos muy superiores a los de los bovinos (López *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2015).

En los últimos años se ha podido comprobar que una de las razones por las que se produce una mayor disipación de calor mediante el baño de los búfalos de agua, es porque poseen alrededor de 120 glándulas sudoríparas/cm<sup>2</sup>, mientras que los bovinos de cruces con Cebú poseen alrededor de 1200 glándulas sudoríparas/cm<sup>2</sup> (Shafie, 1985; Sevegnani *et al.*, 2013; Choudhary y Sirohi, 2019).

Recientemente se han cuantificado el estrés en época estival con clima cálido húmedo en la fisiología, y las respuestas oxidativas y metabólicas en búfalas no-lactates (Li *et al.*, 2020). En ese estudio se mostraron los efectos con un mayor estrés oxidativo en el verano con altos contenidos de malondialdehído (MDA) y bajos contenidos en suero de enzimas antioxidantes, en comparación con los hallados en el invierno. Estos estudios demostraron que cuando los animales son sometidos a niveles de ITH por encima de 82, se incrementan exponencialmente la temperatura rectal (TR), la frecuencia respiratoria (FR) y los niveles de cortisol. Y se reducen los valores de hormona del crecimiento y la

insulinemia a consecuencia de niveles altos de ACTH y de la hormona triyodotironina. Similares resultados en las concentraciones de cortisol y variaciones en el peso fueron encontrados por De la Cruz-Cruz et al. (2021) al evaluar diferentes métodos de destete en búfalos y niveles de estrés.

En este sentido, Atháide et al. (2020) y Brckro et al. (2020) demostraron que usando la termografía de infrarrojos se puede medir la sensación térmica de los búfalos y recomiendan esta técnica para determinar el estrés por calor, haciendo uso de la medición de temperatura por infrarrojos a nivel de los ojos para determinar el estrés térmico en esta especie. Estos mismos investigadores indican que los mecanismos de disipación de calor en búfalos son más eficientes cuando están sometidos a condiciones ambientales dentro de su zona de confort térmico (Motas-Rojas et al., 2021).

Estudios genéticos han identificado genes asociados al estrés por calor en los búfalos de agua, usando datos del transcriptoma (Liu et al., 2019), que podrían ayudar a mejorar la resistencia genética de los rebaños bufalinos. En las secuencias de genes expresados diferencialmente (DEGs) analizados (753 DEGs) se encontraron 5 módulos asociados al mayor nivel de estrés por calor; y en el denominado módulo “turquesa” se encontraron seis secuencias de genes relacionados con la tolerancia al estrés por calor y todos se asociaron a la interacción con los receptores citoquina-citoquina. Estos hallazgos podrían ayudar a mejorar los nuevos programas de selección genética y a conseguir razas de búfalos más resistentes a las condiciones de estrés por calor en el trópico. Recientemente Pineda et al. (2021) informan que los estudios de manipulación genética y caracterización del genoma para su uso en la agricultura en el búfalo de pantano en el futuro, hace suponer que los cruzamientos en las próximas décadas se enfocarán en obtener animales más resistentes a las altas temperaturas.

Por otra parte, se estima que el agua será uno de los recursos naturales causantes de las guerras en el próximo milenio (Smotherin et al., 2008). Lo que sugiere que la reducción del empleo del agua, junto con el incremento del precio de la tierra para la agricultura en general, será un factor limitante en la explotación de los búfalos. Así, mientras las



investigaciones sobre genética molecular y las formas de detectar el estrés térmico en los búfalos, pueden tardar años en generalizarse como métodos para reducir el estrés por calor en esta especie, los requerimientos de agua y tierra para la producción bufalina pueden ser a un costo inasumible para una parte de esta agricultura de subsistencia a nivel mundial.

Sin embargo, el uso de mecanismos de disipación de calor más acordes a satisfacer las necesidades de los animales, como los árboles o la sombra natural, son posiblemente los más prácticos, económicos de aplicar y a los que menos atención se les está prestando. En este sentido, la FAO (2014) considera que en el Caribe el porcentaje de superficie forestal aumentó de 25,5% a 29,4%, en gran parte como resultado de una expansión de las tierras forestales en Cuba, que pasó de tener una cubierta forestal del 19,2% en 1990 al 27,3% en 2011; un hecho en contraposición a lo que ocurre en otras partes del planeta, donde la deforestación se incrementa exponencialmente por la expansión de la agricultura intensiva.

Así, en 2006, en la empresa genética el Cangre en la Habana, se introdujeron los búfalos en sistemas silvopastoriles por primera vez en Cuba. Algunos ejemplos prácticos comparativos fueron presentados por Simón y Galloso (2008) y Simón et al. (2012) al mostrar un mayor crecimiento de los bucerros y una mayor producción de leche en los sistemas arborizados con respecto a los sistemas sin árboles. En estos trabajos se destaca que el diseño de estos sistemas de producción pecuaria es complejo y se han de tener en cuenta numerosos elementos, entre los que se destacan los concernientes al manejo del sistema, al clima, al hombre y las propias necesidades prioritarias de los animales.

Uno de los elementos de mayor importancia para el adecuado diseño de los sistemas silvopastoriles es conocer, el comportamiento y la productividad de las especies de pastos y árboles que se deben emplear (Simón et al., 2012), y la apetencia por estos forrajes (Toral et al., 2019). Las diferencias en la disponibilidad de alimentos por épocas y el valor nutritivo de los pastos podrían determinar y limitar la ingesta de los animales en pastoreo bajo una situación de estrés térmico intenso y adicionalmente, se debería prestar atención

al efecto de la sombra de los árboles sobre los pastos.

Los trabajos previos sobre el comportamiento de los búfalos de agua en Cuba, mayoritariamente realizados por el Instituto de Ciencia Animal de Cuba, han evaluado hembras gestantes, animales en crecimiento, suplementados en sistemas en monocultivo con CT-115 y pasto estrella (*Cynodom dactylon*) (Fundora et al., 2004). Otros estudios con búfalos abordan la digestibilidad de pastos (Delgado et al., 2004; Valenciaga et al., 2007; Gutiérrez et al., 2015), de suplementos leguminosos y la dinámica de la fermentación (Rodríguez et al., 2003), así como la constitución microbiológica del rumen (Delgado et al., 2007; Gutiérrez et al., 2015).

Sin embargo, hasta los ensayos de esta tesis doctoral, en Cuba no se había estudiado el comportamiento de los búfalos en sistemas silvopastoriles y, en consonancia, se desconocía su efecto sobre: la tolerancia al calor; las preferencias de pastos y árboles por parte de los búfalos para su inclusión en los futuros sistemas pecuarios; y los factores que mejoran la productividad de los búfalos en este contexto.

En Cuba se han realizado muchos trabajos de investigación sobre carga, competencia y presión de pastoreo con bovinos (por ejemplo: Milera et al., 2016; Reyes et al., 2014) y múltiples asociaciones de pastizales con árboles y arbustos con pastizales (por ejemplo: Iglesias et al., 2014). Sin embargo, hasta recientemente, los búfalos sólo se habían producido en sistemas de pastos naturales con manejo extensivo con escasos recursos alimenticios (sin concentrados) y un número reducido de parcelas para el pastoreo en suelos de baja fertilidad.

En los últimos años se han conocido producciones bufalinas en pastos cultivados (Fundora et al., 2015) e incluso en sistemas silvopastoriles en Brasil y Colombia (Lourenco-Junior et al., 2002; Dos Santos et al., 2021) además de en explotaciones con estabulación temporal o con suplementación (González et al., 2016; Fundora et al., 2016).

Bajo estas premisas, se impone profundizar en las particularidades de la interacción de los pastos y los árboles, según el sistema de manejo, la región, el clima y las épocas del

año con las múltiples interacciones del manejo de los animales, con el objetivo de conocer cómo se obtienen los mejores resultados productivos con estas interacciones (Murgueitio et al., 2016).

También deben estudiarse, las recomendaciones de manejo de los potreros o parcelas, las cargas ganaderas más adecuadas por hectárea, la relación entre la rotación en los potreros y la época del año, la productividad de los pastizales y su influencia en la producción animal (Milera, 2013; Reyes et al., 2014 e Iglesias et al., 2014); lo que permitiría mejorar el manejo de los sistemas arborizados con búfalos en Cuba.

El rendimiento productivo animal está estrechamente vinculado a la satisfacción de las necesidades de bienestar, que en los sistemas pecuarios son cubiertas a partir de la interpretación que el hombre hace de la simulación del entorno natural de cada especie (Fraser y Broom, 1990).

La cantidad y calidad de alimento ofertado, el manejo, las interacciones intraespecíficas e interespecíficas, el clima, la época y la relación con el hombre son fundamentales para entender los sistemas de producción animal. Recientemente se han descrito resultados alentadores en el comportamiento productivo de búfalos en sistemas silvopastoriles (Gallosio y Simón, 2007; Iglesias-Gómez et al., 2019), que cuestionan la rentabilidad, la sostenibilidad y la estabilidad de la mayoría de las explotaciones en estabulación por los altos insumos que demandan; así como los sistemas en monocultivos de pastos, por el bajo rendimiento o la susceptibilidad a las plagas, al pisoteo del pasto y, en consecuencia, por la pérdida de la cobertura vegetal de los pastizales cultivados bajo riego y con insumos agroquímicos.

Después de lo expuesto sobre la esta especie, y considerando que a los recientes avances sobre su producción en Cuba, hay que sumar los desafíos futuros del cambio climático (Murgueitio et al., 2015; Rovelli et al., 2020), se ve necesario diseñar sistemas más acordes con las necesidades de los búfalos de agua; por lo que se nos plantean cuestiones relativas a los sistemas agroforestales como: la posibilidad de que en estos se reduzca el uso de revolcaderos o baños sin afectar al rendimiento productivo; qué y cuánto comen los

búfalos; cuáles son sus actividades preferentes y cómo responden estas al cambio de ambiente (monocultivos vs. sistemas silvopastoriles), al estrés calórico intenso o la escasez de alimentos; y cómo se expresan su potencial productivo y reproductivo.

Para responder a todas esas cuestiones se planteó estudiar la aceptabilidad de diferentes árboles, la caracterización del comportamiento animal y su productividad, para contribuir a la mejora y a la producción sostenible de los búfalos de agua en Cuba.

## **OBJETIVOS**



## **2. Objetivos.**

El objetivo general de esta tesis es contribuir al conocimiento sobre el comportamiento de los búfalos de agua en diferentes fases productivas en sistemas silvopastoriles, sus preferencias en cuanto a la ingestión de leguminosas arbustivas y el rendimiento y comportamiento de estos sin zonas de baño con arborización.

Además, existen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el comportamiento de búfalos en diferentes fases de desarrollo en sistemas silvopastoriles y en monocultivo de gramíneas.
- Estimar en condiciones de estabulación el grado de aceptabilidad de los forrajes arbóreos más empleados en la alimentación de los búfalos de agua.
- Evaluar la productividad y el comportamiento de búfalos de agua y bovinos cebuinos en un sistema silvopastoril.





# **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**



## 3. Revisión bibliográfica.

### 3.1. Biología del búfalo.

El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) es un herbívoro rumiante al igual que el búfalo de pantano. Ambos se han especializado en la producción de leche y carne respectivamente. Los diferentes tipos de búfalos tienen su origen común en el *Bubalus arnee*, Búfalo de India encontrado en las Junglas de Asma, que fue quien dio paso al Búfalo doméstico (*Bubalus bubalis*) que comúnmente se divide en dos grupos, de río y de pantano, llamados a su vez por los seguidores de la especie simplemente como búfalos de agua (Mitad-Valdez, 2001). Minervino et al. (2020) indican que la estimación más reciente del número de cabezas en el mundo es 208.098.759 animales distribuidos en 77 países en los cinco continentes. En el 2005, se estimó que debían existir unos 141 millones de búfalos sólo en el continente asiático.

### 3.2. Origen y clasificación zoológica.

El búfalo pertenece al mismo orden, suborden, familia y subfamilia del vacuno, pero pertenece a diferentes géneros (Fischer, 1975), de ahí que existen similitudes fisiológicas con el ganado vacuno (*Bos taurus* y *Bos indicus*). La tabla 1 muestra la clasificación taxonómica del búfalo y sus parientes más cercanos.

Se conocen 19 razas de búfalos originarias (Betancourt, 1988) llamándose buffalipso a los cruzamientos de razas existentes en Trinidad y Tobago con algunas razas de la India (Bhadawwasi, Jaffarabadi, Murrah, Nili-Ravi y Surti) que fue el que dio lugar a las poblaciones en Cuba junto con los búfalos de pantano introducidas en 1983 (Mitad-Váldez, 2011).

**TABLA 1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS BÚFALOS DE AGUA Y SUS PARIENTES GENÉTICOS.**

<b>Clasificación taxonómica</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Genero</b>
<b>Reino:</b> Animal	Vacas, bovinos	<b>Género:</b> Bos
<b>Subclase:</b> Ungulados		Especie: <i>Bos taurus</i> (60 pares de cromosomas). <i>Bos indicus</i> (60 pares de cromosomas).
<b>Suborden:</b> Rumiantes	Gaur	<b>Género:</b> Bibos
<b>Clase:</b> Mamíferos		Especie: <i>Gaur</i> , <i>Gayal</i> , <i>Bateng</i> (58, 60 pares de cromosomas)
<b>Orden:</b> Artiodáctilo	Yak	<b>Género:</b> Phoepagus
		Especie: <i>Himalayan</i> , <i>Yak</i> (58, 60 pares de cromosomas)
<b>Infraorden:</b> Pécora	Bison americano	<b>Género:</b> Bison
		Especie: <i>B. bison</i> (60 pares de cromosomas)
<b>Súper-familia:</b> Bóvidos	Búfalo africano	<b>Género:</b> Syncerus
		Especie: <i>S. cafler</i> (52 pares de cromosomas)
<b>Familia:</b> Bovidae	Búfalo de río y	<b>Género:</b> Bubalus
<b>Sub-familia:</b> Bovinae	búfalos de pantano	Especie: <i>B. bubalis</i> (52 pares de cromosomas). <i>B. carabao</i> (52 pares de cromosomas)

### 3.3. Características de la especie.

Las diferencias fenotípicas más notables entre el vacuno y el búfalo radican en que este último es un animal más macizo y corpulento, de aplomos fuertes con largas pesuñas, carecen de papada y los cuernos son más sólidos y la dirección varía con la raza (Arbeláez et al., 2001). El color de piel puede ser negro, pardo, amarillo cremoso, gris oscuro o ligero y blanco (Searle, 1968).

Al igual que en el bovino existen diferentes razas de búfalos, estando caracterizadas de acuerdo con el propósito de su explotación, ya sea carne, leche o trabajo (Betancourt, 1988; Napolitano et al., 2020).

El búfalo de pantano se caracteriza por su color gris purpúreo, cuello inclinado, con cuernos macizos echados hacia atrás. Es utilizado fundamentalmente como animal de trabajo, para la producción de carne y muy raras veces para la producción de leche; mientras que el búfalo de río generalmente es negro o gris oscuro, dotado de cuernos estrechamente enrollados y produce más leche que el de pantano (Scannone, 2009).

Los búfalos de río, representados en el país por el buffalypso, presentan indicadores fisiológicos semejantes a los del bovino, pero la presencia de agua es vital para su comportamiento y lucha contra el estrés térmico (Di Palo et al., 2001) o en su lugar deben disponer de abundante sombra (Gallosa et al., 2009a).

Se consideran animales muy prolíferos y longevos, ya que se conocen numerosos casos de hembras con 20 partos y más de 25 años de vida productiva. El período de gestación es aproximadamente un mes más largo que en el bovino, el estro es difícil de detectar y la mayoría de los apareamientos ocurren durante la noche, lo que implica que los criadores encuentren más problemas que en la crianza de bovinos para detectar los celos (Ligda, 1998). La natalidad media es de 82% y cuando hay condiciones de manejo excelentes oscila entre 85-100% (Planas, 2005; Mitat-Váldes, 2009; Simón y Gallosa, 2008).

### **3.4. Importancia del búfalo de agua y beneficios de la bufalinocultura.**

La producción de búfalos es importante en los países en desarrollo por su alto aprovechamiento de los forrajes, incluyendo su fibra lignificada, a lo que se suma su amplia distribución y adaptabilidad a zonas de escasos recursos en suelos deprimidos e infértiles y a sistemas de producción precarios, incluyendo el nomadismo; por lo que, a veces, esta especie ha sido subutilizada y ha sido poco estudiada.

Existen experiencias en Italia (Sabia et al., 2018; Zicarelli, 1994; Napolitano et al., 2013); India (Paul y Lai, 2010), Pakistán (Bilal et al., 2006), Indonesia (Putu et al., 1983; Suryanto et al., 2002); Filipinas (Pineda et al., 2021); Colombia (Angulo et al., 2002; Bernal, 1995; Ramírez et al., 2000), Brasil (Correa-Castro, 2005; Lourenco-Junior et al., 2012; Matos et al., 2020), Egipto (Soltan et al., 2019) y Cuba (Simón y Gallosa, 2008; Caraballosa et al., 2011; Fundora, 2016; Simón y Gallosa, 2011) entre otros países, donde las diferencias de

condiciones edafoclimáticas, manejo, extensividad y usos posibilitan el desarrollo de experiencias para mejorar sus prácticas de manejo (Minervino et al., 2020; Napolitano et al., 2020).

La producción lechera de vacunos y búfalos ha sido comparada. La búfala produce menos leche al día; sin embargo, la duración de lactancia es mayor y la calidad de leche de búfala es muy superior (Simón et al., 2012). Los conteos de células somáticas y el pH de la leche se vieron afectados por el calor tal como sucede con la leche de vaca, pero parece no tener influencia un ITM elevado en la coagulación de la leche para los búfalos sometidos a estrés térmico (Costa et al., 2020).

Esta especie también presenta un elevado rendimiento en canal (superior al 50%) similar a los de toros con similar peso (Simón y Galloso, 2011), debido a su alta productividad y precocidad, alcanzando los machos buenos rendimientos en canal con una edad de madurez a los 2 años con peso de 500 Kg (Corrales et al., 2016), mientras que los vacunos alcanzan estos pesos a los 2,5-3 años (Iglesias et al., 2016). Se conoce que las hembras bufalinas en similares condiciones de tenencia tienen el primer parto a los 30 meses (Simón y Galloso, 2008), mientras que los vacunos paren a los 36 meses bajo condiciones de clima tropical (López-Vigoa et al., 2019). Así mismo, el rendimiento de producción de carne por área fue superior en búfalos con respecto a bovinos según Fundora et al. (2016) particularmente, la producción de carne por unidad de superficie tendió a incrementarse en los búfalos de tipo buffalypso ( $78,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en relación con el búfalo carabao ( $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ), mientras el ganado cebú ( $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y el ganado vacuno de raza siboney ( $64,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) alcanzaron regulares rendimientos por área bajo pastos naturales en el trópico cubano. Es posible que el aprovechamiento y rendimientos de estos animales se incrementen ligeramente en pastos cultivados bajo silvopastoreo (Galloso, 2009b).

### **3.5. Desventajas y limitaciones de la cría de búfalos.**

La poca implementación de programas de manejo con el fin de intensificar la producción, la insuficiente puesta en marcha de estrategias de diseño de tecnologías para su explotación, su escaso nivel productivo por unidad de superficie, el empleo de lagunas

como revolcaderos sin control sanitario, además de la contaminación ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero son algunas de las limitantes más marcadas en la crianza de búfalos de agua (IPCC, 2014; Piñeiro-Vázquez et al., 2015). A lo anterior hay que añadir la estacionalidad, por la que en determinadas épocas se reduce la producción de biomasa forrajera en los agroecosistemas ganaderos, escasean la sombra y el agua, las altas temperaturas reducen el consumo animal y la digestibilidad de nutrientes (Álvarez et al., 2014). Además, es posible que, como consecuencia de las zonas de baño o revolcaderos empleados en la termorregulación, existan efectos sobre la capa freática, con la consiguiente contaminación de las aguas potables; lo que serían otras de las limitaciones de la cría de búfalos en los países tropicales, donde el agua constituye una limitante importante en un periodo del año (Galoso, 2009b; Galoso, 2010).

En el caso de Cuba, al no haber posibilidades de que haya productores locales privados en las actuales circunstancias socioeconómicas, se desconocen las potencialidades bajo este régimen de propiedad, y no se han alcanzado hasta el momento en Cuba los resultados esperados por la falta de empoderamiento de los productores estatales, agrupados en granjas agropecuarias o planes extensivos de explotación bufalina (ONEI, 2019). La consecuencia directa de estas formas de tenencia estatal son el resultado de la escasa planificación, la carencia de sistemas sostenibles y la ausencia de manejo de la biodiversidad; por lo que la explotación de los búfalos de agua se ha basado en su introducción en áreas donde ya había establecida una dinámica de trabajo con los bovinos, aunque la tendencia actual de manejo del búfalo exija establecer un manejo y una tecnología diferenciados.

### **3.6. Situación en Cuba de la producción bufalina.**

Hasta la fecha (MINAG, 2014; ONEI, 2019) la presencia estadística de búfalos en el país asciende a  $6 \times 10^4$  búfalos. Estos animales se introdujeron en Cuba en 1983 (Mitat-Váldes, 2009) con la intención de extender más adelante la producción de la especie como estrategia de una agricultura de subsistencia. Las razas presentes son cruces F1 de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) y búfalos de pantano (Mitat-Váldes, 2011). A pesar de los

esfuerzos, encaminados a su manutención en sistemas de explotación controlada, la falta de cercas y la escasa cultura del manejo de la especie, condujo a la salida y pérdida de los animales del sistema de manejo; unas de las razones fueron la escasa área destinada al pastoreo y el déficit de alimento en la época poco lluviosa, así como la no implementación de un sistema de mantenimiento de las cercas e instalaciones, y el desconocimiento de su adecuado manejo por parte de los productores estatales (Mitat-Váldes, 2009; SISTEBUF, 2009; Simón y Galloso, 2011).

Sin embargo, la especie logró alcanzar patrones de crecimiento en esas condiciones adversas, lo que provocó la extensión de la especie a todas las provincias del país (ONEI, 2019). En los últimos años se han impulsado la transferencia de embriones, la inseminación artificial y las pruebas de comportamiento de madres y padres de futuros sementales, por el programa nacional de desarrollo del búfalo dependiente del Ministerio de la agricultura (MINAG, 2014).

### **3.7. Los pastos y forrajes en la alimentación de los búfalos de agua.**

La importancia de la alimentación a base de pastos de estos animales es indudable. Está probado que con alimentación a base pastos esta especie alcanza buenos resultados productivos (Fundora, 2002; Angulo et al., 2005; Delgado, 2007; Fundora et al., 2015). Estudios previos (Valenciaga et al., 2015; Delgado et al., 2002) sobre las condiciones ecológicas y particularidades del tracto digestivo de los búfalos explican el buen aprovechamiento que hace esta especie de los pastos y forrajes fibrosos que se encuentran en Cuba; lo que prueba su adaptabilidad y rusticidad para estas condiciones de producción.

Sin embargo, no se conoce que especies de pastos y árboles son más apetecidos y cuales soportan mejor las condiciones que les imponen las cargas ganaderas elevadas a las que se suelen someter los búfalos, en suelos de mediana fertilidad en la época poco lluviosa en Cuba, donde escasean los pastos. Tampoco se ha demostrado si la presencia de árboles dispersos en los cercados o potreros, en forma de sistemas silvopastoriles, podría ofrecer



un mejor ambiente para satisfacer las necesidades de esta especie en la época lluviosa cuando las condiciones climáticas son más adversas para los animales.

### **3.8. La selectividad de árboles.**

Muchos estudios ratifican la importancia de la selección de los recursos arbóreos para diseñar los sistemas de producción. Toral e Iglesias (2008), clasifican a las especies arbóreas de acuerdo con el índice de ramoneo en: consumidas, medianamente consumidas y poco consumidas. De hecho, el elemento más importante para incluir en un potrero un recurso es que sea consumido por el animal y este elemento de elección es importante porque los animales completan su ración al consumir las hojas de los árboles (García et al., 2008; Simón et al., 2012; Dey et al., 2014; Soltan et al., 2019).

En general varios mecanismos de conducta han sido propuestos para interpretar la selección de la dieta (Bergvall, 2009). Estos se pueden dividir en ignorantes, como el hambre específica (Richter, 1947), la neofobia y preferencias y aversiones innatas (Forbes y Kyriazakis, 1995) y los mecanismos aprendidos, como el aprendizaje social (Thorhallsdottir et al., 1987) y el aprendizaje asociativo (Provenza, 1995). En algunos casos, hay al menos alguna información sobre las preferencias y aversiones de los mamíferos herbívoros silvestres que muestran el principio y la forma en que comienzan a explorar su medio ambiente (Hess y Lascano, 1997; Beck and Gregorini, 2021). En el caso de los búfalos, hasta el momento no se ha dilucidado si estos emplean algunos de estos mecanismos de conducta selectiva.

Valenciaga et al. (2007) y Gutiérrez et al. (2015), estimaron en Cuba que búfalos con 600 kg de Peso vivo (BW) necesitan una ingesta diaria de 9,95 kg de materia seca (DM), además de estimar valores de fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD), mediante dos métodos validados de estimación del consumo voluntario (obteniendo 6,2, 6,4 kg y 4,85, 4,95 kg/día, respectivamente), y Delgado et al. (2005) encontraron una digestibilidad aparente superior al 60% para árboles como *G. sepium* y *L. leucocephala*.

En este sentido, Albores-Moreno et al. (2020) encontraron un alto consumo voluntario en pastoreo de bovinos (10,26-12,48 kg de DM /animal/día) de leguminosas y que el contenido de metabolitos secundarios de las plantas no interfirió con la ingesta voluntaria.

### **3.9. Influencia de los factores antinutricionales en la ingestión.**

Hay estudios que atribuyen la apetecibilidad de los forrajes arbóreos a la textura, los factores anti-nutricionales y la digestibilidad aparente (Forbes y Kyriazakis, 1995; García y Medina, 2006; García et al., 2008; Molina-Botero et al., 2019), así como a la velocidad con la que las ramas pierden sus cualidades tras ser cortadas (Montejo et al., 2017).

Se ha comprobado que los taninos tienen influencia considerable sobre las poblaciones de bacterias del rumen, protozoos y hongos (La O et al., 2003; Smith et al., 2005). Complejos estables como los taninos son capaces de formar macromoléculas combinadas con las proteínas, polisacáridos y alcaloides que no se degradan rápidamente por el tubo digestivo de los mamíferos en tanto que afectan la digestibilidad de los materiales vegetales (Haslam, 1989); por lo que la concentración de estos pudiera generar aversión por un alimento. También hay informes de consecuencias beneficiosas; por ejemplo, que los taninos de algunas plantas como la morera (*Morus Alba*) reducen la producción de metano sin afectar el número de bacterias metanogénicas ni las principales poblaciones microbianas que degradan la fibra en el rumen (González et al., 2016), lo que podría utilizarse como estrategia para reducir la producción de metano en el rumen (Beck y Gregorini, 2021; Napolitano et al., 2020). En algunos casos, los taninos son capaces de unirse a los aminoácidos y proteger a estos de ser digeridos en el rumen por los microbios; efecto encontrado por Waghela et al. (2016) en búfalas de segunda y cuarta lactancia, lo que repercutió en los rendimientos, porque estos pueden conducir a una mayor afluencia de aminoácidos esenciales en el intestino delgado (Min et al., 2003), y al aumento de la absorción de nutrientes (Nguyen et al., 2016).

Se sabe que la ingestión de las hojas de los árboles favorece la absorción de nitrógeno, ayudando a la microflora ruminal, y esto podría ser la causa del aumento de su consumo

según Wanapat y Phesatcha (2016). Por lo tanto, es importante considerar el papel de los árboles en el aumento del suministro de nitrógeno en la dieta en momentos en que los pastos no satisfacen los requerimientos de los animales (Joele et al., 2013). Diferentes autores (López-Vigoa et al., 2019; Ku-Vera et al., 2013; Yadav et al., 2016) indican que los sistemas silvopastoriles tienen una alta disponibilidad de biomasa comestible (superior a 30 toneladas MS/ ha y año), de los cuales los pastos representan el 75-90% de la ingesta de dieta fresca y el follaje de los árboles representa el 10-25% del forraje fresco, mejorando el rendimiento de los animales gracias a este último.

El uso de otros recursos del trópico combinados como la yuca triturada y salvado de arroz como fuentes de hidratos de carbono puede mejorar la digestibilidad, las poblaciones de bacterias viables totales y bacterias proteolíticas (Wanapat et al., 2013; Ampapon et al., 2016) de los rumiantes. Basados en ensayos in vitro e in vivo, existen efectos importantes sobre los microorganismos del rumen y la fermentación, (producción de metano) resaltando que la suplementación con plantas que contienen metabolitos secundarios pueden mejorar la productividad en la ecología del rumen (Wanapat et al., 2012).

La digestibilidad de nutrientes, pH ruminal, la concentración de amoníaco, la población de protozoos y hongos, y la eficiencia de la síntesis de proteína microbiana no se vieron afectados con mezclas que contenían harina de semilla de algodón con 109 g/kg de proteína de la dieta. Concluyendo que raciones isoprotéicas, con un bajo nivel de harina de algodón y trozos de yuca como fuente de energía y paja de arroz, no comprometen los indicadores ruminales siempre que estén por debajo de 328 g/kg de proteína cruda.

Otros estudios (Lima et al., 2021) con palma de acai (*Euterpe oleracea*) mezclada con guinea mombaza (*Megathyrus maximus* cv. Mombaza), en el Amazonas, demostraron recientemente el uso de estos recursos en la alimentación de los búfalos para la producción de leche; obteniendo un incremento en la producción láctea y en la digestibilidad de nutrientes cuando se incluían en la dieta estos dos ingredientes. La inclusión de aceite de palma (*Elaeis oleifera*) como suplemento para los búfalos, remplazando la harina de maíz y soja, también redujo la ingesta de suplementos

concentrados e incrementó la producción de leche sin variar los consumos de materia seca del pasto (Galvão et al., 2020).

Santana-Pérez et al. (2019) encontraron diferencias en el consumo voluntario de forrajes de ovinos y bovinos, atribuyéndolo a diferencias entre los diámetros máximos de los tallos consumidos. Con la inclusión de varios tipos de hojas de leguminosas (*G. sepium*, *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *A. lebbek*), las ovejas no consumieron los tallos de *G. sepium*; atribuyéndose este fenómeno a algún estímulo aversivo generado por esta planta.

Para los mamíferos herbívoros, los taninos parecen influir en la palatabilidad (Bernays et al., 1989) y esto es probablemente producido por el efecto del sabor astringente que producen en la boca (Robbins et al., 1987; Forbes, 2007) a pesar de que los animales herbívoros tienen papilas gustativas poco desarrolladas, la sensación de rigidez es perceptible y potencia el efecto del índice consumo-rechazo.

La astringencia, se define como la combinación de componentes tales como la rugosidad, la sequedad y rugosidad percibida (García et al., 2008; Galloso, 2009a), y se sugiere que es una consecuencia de complejas formaciones con glicoproteínas superficiales en la mucosa (Haslam, 1989). Los taninos suelen poseer un sabor amargo (Brannan et al., 2001) y la astringencia se correlaciona con el contenido de taninos totales (Mali y Borges, 2003). Por lo tanto, se ha sugerido que la astringencia sirve como una señal sensorial a los animales para evitar que los vegetales ricos en taninos sean ingeridos (García et al., 2008). Para las especies que ingieren grandes cantidades de leguminosas ricas en taninos, estos podrían ser percibidos como una señal inhibitoria ante una u otra planta, y esto podría generar en el animal la toma de una decisión, basándose en las experiencias previas, como cuánto comer de la planta y en qué momento. En general, los mamíferos herbívoros ingieren plantas que contienen taninos, (Forbes, 1995; Toral et al., 2019), aunque prefieren los alimentos con menores cantidades de estos, cómo se ha demostrado en pruebas de selección (Alm et al., 2002). Sin embargo, las reacciones hacia los taninos aún no se han investigado totalmente en los mamíferos herbívoros (Brannan et al., 2001; Mali y Borges, 2003). García et al. (2008) y Toral e Iglesias (2013) intentaron estudiarlo, pero no llegaron

a unos resultados congruentes, en algunos estudios no se asocia el rechazo o apetencia al valor nutritivo, mientras en otros casos el valor nutritivo de los árboles puede influir en la apetencia, pero no tiene relación con los contenidos de factores antinutricionales. Soltan et al. (2019) demostró la eficacia de extracto de *M. oleífera* y Monensina, reduciendo la producción de (CH<sub>4</sub>) metano. Y concluyen que el extracto de *M. oleífera* es un aditivo efectivo en la dieta de los rumiantes con efectos antimetanogénicos sin efectos adversos en la degradabilidad ruminal.

### **3.10. El comportamiento de los búfalos de agua.**

Los primeros estudios sobre la conducta alimentaria de búfalos en Cuba fueron realizados por Fundora et al. (2001), que evaluaron la distribución del porcentaje de animales dedicados a la ingestión y a la rumia en horario diurno, observando que el mayor porcentaje (más del 90 %) de los animales pastaban a las 7 a.m. y entre las 3 p.m. y 4 p.m., mientras que la proporción que consumía pasto fue baja (19 a 28 %) en el horario comprendido entre las 9 a.m. y las 2 p.m. A las 10 a.m. todos los animales se echaron en los baños o revolcaderos y entre las 6 y 7 p.m. la mayoría de los búfalos se retiraron para descansar, lo que coincidió con el otro momento con menor consumo de pasto.

En los búfalos al igual que en el ganado vacuno hay preferencia por el pastoreo diurno. Varlyakov et al. (1994), señalaron que entre un 81,5 y un 85,1 % del consumo diario de los búfalos se realizó en ese horario. Los tiempos dedicados al consumo sugieren que los animales consumieron durante 5,03 horas en el horario diurno. Estos valores fueron incluso superiores a los encontrados en esta especie por Varlyakov et al. (1997); lo que indica la posibilidad de que en este horario los búfalos satisfagan la mayor parte de sus necesidades de consumo, por ser el horario diurno más fresco. También es posible que lo hagan en cualquier horario si tienen acceso a la sombra (Salazar, 2000), como una forma de regular la temperatura corporal al alternar con la rumia y el descanso en el horario más caluroso del día cuando éstos tienen acceso a los revolcaderos.

En el estudio de Fundora et al. (2001), los mayores porcentajes de rumia coincidieron con los de menor actividad de ingestión y viceversa, y encontraron que en el horario entre las

9 a.m. y las 12 a.m más del 70 % de los animales rumiaron, excepto a las 11 a.m. en que ésta actividad bajó a menos del 50 %; de las 4.5 horas dedicadas a la rumia, la mayor parte del tiempo (76 %) lo realizaron echados en los revolcaderos y 15,7% en el pastizal, mientras que el descanso (1,4 horas) lo efectuaron fundamentalmente echados en un revolcadero (65,6 %) y con menor frecuencia parados en el pastizal (23,5 %). Similares observaciones fueron señaladas por Hincapié (2000) quien atribuye la reducción del estrés calórico a la posición adoptada a menudo por los animales cuando las condiciones climáticas no son muy severas. Los resultados de los distintos trabajos permiten concluir que los búfalos en el período diurno se dedican fundamentalmente al consumo de pastos y a la rumia (Fundora et al., 2001; López et al., 2005; Iglesias-Gómez et al., 2019).

Carabaloso et al. (2011) mostraron actividades de pastoreo en búfalos entre 5,7 y 7,7 horas, criados en condiciones de humedales de la provincia de Ciego de Ávila en Cuba.

Souza et al. (2007), mediante el test de tolerancia al calor, estudiaron en Brasil el comportamiento de búfalos en diferentes situaciones de sombra, y sus resultados sugieren un incremento del tiempo de las actividades (pastando, rumiando etc.) cuando disponen de sombra, aunque el uso del agua en esas condiciones fue preferido por los animales dedicando entre 205,1- 237,7 minutos a revolcarse. En ese estudio, los búfalos permanecieron más del 60% del tiempo pastoreando y su principal contribución fue que se demostró la necesidad de protección contra la radiación solar para búfalos en días o épocas de estrés térmico en las regiones tropicales.

En la tabla 2 se muestra un resumen de los principales resultados de comportamiento, obtenidos (tiempo dedicado) en búfalos bajo diferentes condiciones de tenencia y manejo. Todos los estudios en esta especie en las últimas décadas recomiendan prestar especial atención al estrés térmico al que pueden estar sometidos los búfalos bajo clima tropical.

**TABLA 2 RESUMEN DEL TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO Y TERMOREGULADOR DE BÚFALOS POR DIFERENTES AUTORES.**

<i>Autor</i>	<i>Comportamiento alimentario</i>			<i>Comportamiento termorregulador</i>		<i>Condición experimental</i>	
	<i>Tiempo de pastoreo</i>	<i>Rumia</i>	<i>Ramoneo</i>	<i>Tiempo de sombreado</i>	<i>Tiempo de baño</i>	<i>Sistema de tenencia</i>	<i>Características de los animales</i>
<b>(Galloso et al., 2020)</b>	5,64-4,80h	3,70-2,58h	0,47h	3,17-1,60h	3,08-1,96h	Silvopastoreo (guinea + leucaena) vs. Sistema convencional	Hembras, durante 3 años.
<b>(Galloso et al., 2021)</b>	5,5-4,97h	3,01-2,40h	0,64-0,1h	2,92-0,68h	2,62-0,52h	Silvopastoreo (guinea + leucaena) vs. Sistema convencional	Novillas
<b>(Ataide et al., 2021)</b>	518,2 min	579,2min	NE	NE	NE	Sin sombra	10 hembras
<b>(Ataide et al., 2021)</b>	629,5min	367min	NE	NE	NE	Con sombra natural	10 hembras
<b>(Caraballoso et al. 2011)</b>	5,71h	1,29h	NE	NE	NE	Humedal periodo lluvioso	Mixtos
<b>(Caraballoso et al. 2011)</b>	7,70h	2,25h	NE	NE	NE	Humedad periodo seco	Mixtos
<b>(Iglesias-Gómez et al., 2019)</b>	7,5h	4,1h	NE	NE	00	Silvopastoreo época lluviosa. (guinea + leucaena).	Machos
<b>(Fundora et al., 2007)</b>	74,6% del tiempo diurno	41,40% del tiempo diurno	NE	NE	NE	( <i>Panicum maximum</i> ) Sistema convencional agua sin sombra	4 machos-de 16 meses de edad y 310 y 300 kg de peso vivo
<b>(Fundora et al., 2007)</b>	22,4% ingestión de forraje	43,9 %	NE	NE	NE	Confinamiento matutino	4 machos de 16 meses de edad y 310 y 300 kg de peso vivo
<b>(Sousa et al., 2007)</b>	464,40min	NE	NE	(3,63h)	251,97(3,58h)	Sombra + agua	10 búfalas 24 meses
<b>(Sousa et al., 2007)</b>	460,57min	NE	NE	259,43min	00	Sólo sombra	10 búfalas 24 meses
<b>(Sousa et al., 2007)</b>	517,53min	NE	NE	00	202,47(3,25 h)	Solo agua para refrescarse	10 búfalas 24 meses

(NE): No evaluado; (h): horas; (min): minutos.

### **3.11. La humedad relativa, el sol y la temperatura.**

Uno de los factores limitantes para la producción pecuaria en condiciones tropicales, es el efecto de la la extensividad e intensividad de los sistemas en el balance térmico de los animales a efectos del posible estrés térmico (Khongdee et al., 2013; Yáñez-Pizaña et al., 2020).

En este sentido, el incremento de la temperatura asociada al aumento de la humedad y la radiación solar; es uno de los principales factores que limitan el consumo, y este va en detrimento del desarrollo animal, de su producción de carne y leche, en tanto, que su capacidad de respuesta ante las enfermedades se ve disminuida por la reducción en el apetito, ingestión, eficiencia alimentaria y aprovechamiento de los alimentos (Marai y Haebe, 1998; Giro et al., 2019; Napolitano et al., 2020).

En respuesta al estrés térmico, los mamíferos homeotermos aseguran y ajustan los procesos fisiológicos a las nuevas condiciones, tanto por medios físicos, bioquímicos como conductuales, con la tentativa de reducir los efectos de las radiaciones solares y el calor percibido; fenómenos conocidos como termorregulación (Dukes, 1968; Hafez, 1973; Titto et al., 1998; Silanikove, 2000). El resultado de estos efectos es la limitación del crecimiento, la producción de leche y carne y el trabajo (Finch, 1984; Silanikove, 2000; Silva, 2000, Baccari, 2001), que ciertamente generan problemas en el orden económico y en la producción de los sistemas ganaderos del trópico.

Por otro lado, el impacto del ambiente puede ser modificado a través del comportamiento animal y difiere entre especies, razas e individuos (Silanikove, 2000; Alvarez et al., 2004; Quincosa et al., 2005).

Adicionalmente, las respuestas son también indicadores de bienestar en los animales, considerado como el estado que asegura el acople fisiológico, para la satisfacción de sus necesidades de un individuo (Broom, 1988 y 1997).



Garantizar la protección adecuada contra el disconfort térmico, físico y “psicológico” y mejorar los procedimientos de manejo es un deber moral de los hombres (Appleby, 1997; Alvarez et al., 2004; Armstrong, 1994).

En el caso particular del búfalo (*Bubalus bubalis*), que es una especie reconocida como rústica y cosmopolita, se ha indicado que el agua para el baño termorregulador según los criterios de Anil y Thomas (1996); Glass (2000) y Motas-Rojas et al. (2021) o la sombra natural (Tulloch, 1992; Simón y Galloso, 2011) son medidas adecuadas para garantizar el estado de sensación de bienestar térmico en condiciones de clima tropical. Sin embargo, el búfalo puede ser expuesto a una carga térmica radiante, evaluada a través del índice de globo negro y humedad (ITGU), mayor que su producción de calor metabólico, resultando en un alto nivel de disconfort (Kelly y Bond, 2013).

En Tailandia Loyptjra et al. (1987) indicaron que la radiación solar produce un estrés en los animales con aumento de la TR, de las concentraciones de prolactina y cortisol en suero sanguíneo, de modo que las hembras que paren en verano presentan retraso en reiniciar la actividad ovárica.

Titto et al. (1996), al evaluar el estrés en búfalas en crecimiento en cámara bioclimática a 34,75°C, obtuvieron un rápido restablecimiento de la homeotermia con el uso de aspersión de agua sobre el cuerpo durante 15 minutos, restableciéndose la FR y reduciéndose significativamente la tasa de sudoración (S) y la TR.

Athaíde et al. (2020), tras evaluar el estrés por calor con termografía infrarroja, alertan de los peligros del estrés por calor para los búfalos en el horario vespertino (2:00PM) en el trópico brasileño. Estos estudios juegan un papel fundamental, cuando la disponibilidad y la oferta de agua para inmersión sean una limitante y esta deba ser reservada, tomando en consideración el efecto de la sombra en la sensación de bienestar de los animales; tal y como se abordada en esta tesis.

Correa-Castro (2005), Silva et al. (2011) y Da Silva et al. (2014) hacen énfasis en el papel de los árboles como alternativa termorreguladora en los búfalos; pues estos presentan

menos glándulas sudoríparas, menos refracción de la luz por la concentración de melanina y por el ambiente en donde se han desarrollado en comparación con los bovinos.

Carabaloso et al. (2011) encontraron elementos importantes para introducir árboles en los sistemas productivos con búfalos explotados en humedades naturales en Cuba. Al tiempo que Fundora et al. (2001) describen algunas características conductuales preliminares para la especie en un sistema de explotación convencional en el periodo diurno, y Fundora et al. (2007) hacen una comparación de la conducta de búfalos de agua con bovinos en pastoreo.

En condiciones calurosas los animales muestran una conducta anoréxica (inapetencia), incrementan el índice respiratorio, y el estiramiento del cuerpo y de sus apéndices, ampliando la superficie de disipación de calor, aumentan el consumo de agua con una mayor frecuencia de tomas en horas diurnas y reducen el consumo de hierba (Corzo et al., 2004); los animales prefieren permanecer bajo sombra, antes que ingerir. Estos ajustes fisiológicos conducen a ciertos hábitos de pastoreo cuando los animales están en régimen de libertad. En días calientes los rumiantes mueven la actividad de consumo hacia los horarios frescos del día (al amanecer y al atardecer), e incluso incrementan la ingestión en horas nocturnas (Senra, 1982; Quincosa et al., 2005).

Son muchos los métodos usados para estudiar el efecto de la temperatura en la fisiología termorreguladora de los animales en los sistemas ganaderos. Moraes et al. (2010) y Barros et al. (2016) estudiaron la influencia de la temperatura en el búfalo a través de la valoración termográfica. Estos estudios han sido continuados recientemente por Bckro et al. (2020); Atháide et al. (2020) y Motas-Rojas et al. (2021); y todos concluyen en la necesidad de prestar atención al estrés por calor que sufren los búfalos en el trópico.

Dias Medeiros y Helena (1997) exponen las técnicas más apropiadas para evaluar el test de tolerancia al calor, haciéndolo en búfalas en crecimiento y encontrando resultados similares a los descritos posteriormente por Alfredo et al. (2020). Estos autores muestran que la temperatura influyó directamente en la FR y el volumen de aire expirado por los

animales; sin embargo, la estabilidad en el eritrograma del último estudio referido, hacen suponer una alta resiliencia de esta especie bajo situaciones de estrés térmico (Napolitano et al., 2020).

Correa-Castro (2005) demostraron el papel de los árboles en la termorregulación y la productividad de búfalos de agua y analizaron la ganancia de peso y su relación con las variables climatológicas en sistemas con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) en monocultivo y silvopastoreo de mogno africano (*Kaya ivorensis*) y nim indiano (*Azadirachta indica*). Este autor analizó la disponibilidad, el valor nutritivo, la digestibilidad de materia seca y la materia orgánica de los pastos y de los árboles ofertados en un sistema silvopastoril y en un sistema sin árboles y estudio el efecto de la sombra y el sol directo en el número de latidos cardíacos, la FR con respecto a la radiación solar, la TR, la motilidad ruminal de los búfalos y encontró una relación directa en el aprovechamiento de los pastos bajo sombra, el confort de los búfalos y su rendimiento.

### **3.12. Efecto de la sombra en el comportamiento animal.**

Desde la década de los 80 del pasado siglo muchos científicos se percataron del efecto de la sombra sobre el comportamiento animal y su fisiología. El nivel de salud y la influencia del sistema endocrino son dos elementos de considerable relación en el comportamiento animal; al respecto Martínez et al. (2001) analizaron los niveles en sangre de las hormonas tiroideas, tiroxina (T4) y triyodotironina (T3), en toros en fase de ceba en praderas de gramíneas y *Leucaena* asociadas. Los valores promedios de estas determinaciones hormonales fueron 1,78 y 65,74 nmol/L para T3 y T4, respectivamente, no mostrándose alteraciones en el funcionamiento de la glándula tiroidea por el consumo de esta leguminosa.

Pérez et al. (1997) determinaron el patrón de secreción de hormonas tiroideas en toros de tres años de edad en iguales condiciones de tenencia y alimentación, sus resultados muestran como efectos principales, la hora del muestreo, el individuo propiamente dicho, la época del año y sus interacciones y exponen que la hora del día no afectó los niveles de T3 y T4, así como que la época del año influyó sobre los niveles de T4,

observándose menores concentraciones cuando las temperaturas fueron más altas ( $58,50 \pm 2.70$  vs.  $74,78 \pm 1.96$  nmol/L); mientras que los niveles de triyodotironina permanecieron similares en ambas épocas, no encontraron diferencias en el peso promedio, las dimensiones y la citoarquitectura en las diferentes glándulas endocrinas estudiadas. Se corroboró que la secreción de la glándula tiroidea no es de ajuste rápido y puede deprimirse por el efecto de las altas temperaturas.

Al abordar el impacto de las radiaciones solares en los bovinos de diferentes razas Mórales y Milanes (1998) analizaron la respuesta termorreguladora y las características de la piel de diferentes genotipos a los que registraron la TR, FR, temperatura de piel (TP) y S bajo condiciones de sombra y sol durante el verano (agosto-septiembre) y realizaron varias mediciones de la estructura de la piel. Encontraron que el mejor momento para la diferenciación de la capacidad termorreguladora fue a las 12:00-13:00 horas, bajo el tratamiento de sol, donde el cruce mantuvo TR, FR y TP significativamente menores los animales de raza Holstein, y observaron que no existió variación significativa de la TR y TP entre sol y sombra para el cruce con mayor grosor de la dermis y la epidermis con mayor número por centímetro cuadrado de glándulas sebáceas, características típicas del ganado cebú.

Estos autores (Mórales y Milanes, 1998) ayudaron a definir las características morfológicas de la superficie corporal y la piel del ganado siboney de Cuba, en qué condiciones manejarlos y dilucidaron el momento óptimo para evaluar la tolerancia al calor. Notablemente, el microambiente generado por los sistemas con árboles disminuye el estrés calórico de los animales, resultando en menos TR y FR, más tiempo de pastoreo y mayor consumo.

Mahecha et al. (2005), al estudiar el consumo en los sistemas silvopastoriles, encontraron una tendencia a aumentar la ingestión de los animales, al aumentar la oferta de pastos y árboles, que en el caso de *Leucaena*, en diciembre mostró su mayor disponibilidad, y el consumo de las hojas de la *Leucaena* disminuyó cuando la altura de las ramas sobrepasaba los límites de utilización de los animales. Además, hallaron una tendencia (tanto diurna

como nocturna) a pastorear con más frecuencia el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) asociado a *Leucaena* que cuando se asocia algarrobo (*Prosopis juliflora*).

Pérez et al. (2006) evaluaron el efecto del uso de árboles forrajeros en el comportamiento de bovinos, en condiciones de pastoreo intensivo con novillos (suizo x cebú) con un peso vivo promedio de  $157 \pm 3$  kg; y no encontraron diferencias entre tratamientos, al tiempo que observaron una menor temperatura durante las horas de la mañana y la tarde en el sistema silvopastoril (23,9 y 26,6°C, respectivamente), en comparación con el sistema sin árboles (26,4 y 28,1°C), una correlación negativa en ambos sistemas, más marcada para los dos tratamientos (silvopastoreo vs. monocultivo) hallándose una mayor ganancia de peso en el silvopastoreo (486 g/animal/día) en comparación con los animales que estuvieron en el sistema de monocultivo (369 g/animal/día).

La sombra fue estudiada por Pentón y Blanco (2006), quienes indicaron que esta puede manejarse y variar la filtración de las radiaciones solares empleando especies leguminosas de diferente ángulo acimutal; en función del espacio o densidad de siembra y el tipo de árboles según la disposición de sus hojas, la época de defoliación y la densidad de hojas por ramas, que pueden influir en la sombra proyectada bajo el rodal en un sistema silvopastoril.

Estos resultados lejos de ser conclusivos, muestran la marcada influencia que sobre el bienestar animal y el comportamiento de los bovinos, ejercen los sistemas a pleno sol y lo favorable que resulta la presencia de los árboles como aporte de sombra para los animales y para las plantas herbáceas, alcanzándose mejores resultados productivos en cuanto a la disponibilidad de materia seca y valor nutritivo de los pastos en la época poco lluviosa (López-Vigoa et al., 2019), así como una mayor permanencia de los animales en el pastizal en el período diurno (Quincosa et al., 2005; Iraola et al., 2013; Iglesias et al., 2004). Similares resultados se han encontrado en condiciones tropicales (García, 2013; Carabaloso et al., 2011) para estudios de confort térmico en sistemas silvopastoriles.

Quincosa et al. (2005) encontró correlaciones negativas bajas entre ingestión y el índice temperatura y humedad relativa (ITH); tal vez por la protección ambiental, dada por la

permanencia de los animales en las naves de sombra, en las horas más calurosas, o por el propio desarrollo de los experimentos que incluyó diferentes etapas de cada período del año, que posiblemente, minimizaron dicho efecto ambiental sobre los bovinos estudiados a diferente edad.

Desde el punto de vista económico, la sombra de los árboles ha producido incrementos de alrededor del 13% en la producción de leche de vacas Jersey en comparación a las manejadas sin sombra en la zona del trópico húmedo de Costa Rica (Souza de Abreu, 2002) y en Cuba (Sánchez et al., 2007; Lamela et al., 2010; López-Vigoa et al., 2019).

Es posible que, en situaciones de estrés térmico intenso en condiciones silvopastoriles, la sensación de estrés térmico no esté siendo percibida por los búfalos, debido a la contribución de los árboles al proporcionar sombra y mejorar el comportamiento alimentario (Zhaobing et al., 2016; Pezzopane et al., 2019). Del mismo modo, la sombra en el sistema silvopastoril mejoró la calidad y cantidad de los pastos en varios estudios (Penton y Blanco, 1997; Simón et al., 2012; López et al., 2017).

En este sentido, Galloso et al. (2019) encontraron que, independientemente de contar con agua y sombra, los búfalos mantenían las regiones dorsales cubiertas bajo la sombra, aunque estuviesen revolcándose en el agua; ello pudiera sugerir que la combinación de ambos métodos de refrescamiento sea preferida por los animales en lugar de una de estas formas de disipación de calor individualmente.

### **3.13. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento de los búfalos de agua.**

Las tecnologías agroforestales, han tomado auge en los países en desarrollo en los últimos años (López-Vigoa et al., 2019; Murgueitio, 2015); entre otras razones porque degradan menos el medio y son más estables en el tiempo y propician un ambiente de confort y estabilidad térmica; que en el caso de las condiciones cubanas es de al menos 10 % más de humedad y 3° C menos de temperatura en los momentos de mayor incidencia de las radiaciones solares (Galloso et al., 2018; García, 2013).

Ibrahim et al. (2006) y Pezo e Ibrahim (1998) indicaron que, en los sistemas silvopastoriles, los árboles de la familia de las leguminosas reducen la intensidad de los factores climáticos mediante la sombra filtrable que generan, disminuyendo adicionalmente el estrés térmico y creando condiciones de bienestar para los animales.

Sombra filtrable fue definida por Penton y Blanco (1997) y se referían a la sombra que pasaba a través de los espacios entre las hojas y dependen del ángulo azimutal, es influida por el tipo y tamaño de las hojas y su orientación con respecto al tallo, el tamaño de las hojas, el número de hojas y su inserción a través de la unión limbo peciolo y la densidad de ramas que permiten entrar la luz solar hacia el estrato herbáceo.

A la sombra se le atribuyen muchos efectos beneficiosos para la salud y el comportamiento animal, esta genera un mayor tiempo de los animales dedicado al consumo y permanencia en el pastoreo y un incremento de la rumia, lo que les posibilita hacer un mayor aprovechamiento de los alimentos y seleccionar los de mejor valor nutritivo al tiempo que incrementan la eficiencia de la conversión alimentaria y una mejor ganancia media diaria (Moraes et al., 2010; Jordán y Lara, 1997).

Otros estudios en la India (Choudhary y Sirohi, 2019) y Tailandia (Khongdee et al., 2011) también reflejan estas necesidades de termorregulación de los búfalos. Es posible que un aumento de las necesidades de termorregulación reflejado en los diferentes tiempos de baño termorregulador y sombreo, se deba a la estacionalidad del rendimiento reproductivo y productivo de esta especie (Dash et al., 2015; Upadhyay et al., 2007; Da Silva et al., 2014; Yadav et al., 2016), como consecuencia del efecto de la estacionalidad climática presente en Cuba y por extensión en los trópicos (Simón y Galloso, 2011).

#### **3.14. Experiencias de sistemas silvopastoriles.**

Simón et al. (2012) e Iglesias et al. (2006) exponen que el silvopastoreo es una técnica mejor que el sistema denominado “banco de proteínas”, que consiste en reservar una parcela con una muy alta densidad de leguminosas arbóreas para el ramoneo tras el pastoreo, con el objetivo de completar la ración. Diversos autores consideran que, en el

silvopastoreo, una densidad adecuada de árboles favorece el crecimiento de los pastos (Benavides, 1994; Milera et al., 2016; Dos Santos et al., 2020), la estabilidad de la biota edáfica (Soca et al., 2007) y este puede reducir las cargas parasitarias (Hernández et al., 2013; Ademola y Idowu, 2006; Soares et al., 2015) e incrementar el reciclaje de nutrientes (Sánchez et al., 2007).

La permanencia de los animales en un sistema silvopastoril protege contra las radiaciones solares que, en el trópico en Cuba, las máximas mediciones en abril-julio tienen valores del orden de los 20 MJ/m<sup>2</sup>/día y valores mínimos en diciembre y enero cercanos a los 12 MJ/m<sup>2</sup>/día en los sistemas sin árboles (Blanco y Pentón, 2006), con el empleo de los árboles sobre la base de los niveles de sombra proyectada por la especie *A. lebeck*. Según Pentón (2000), y usando los valores de la radiación solar determinada por Blanco (1986) para Cuba, los cálculos indican que la intensidad de la radiación solar promedio bajo el estrato arbóreo de dicha especie sería de 8,9 MJ/m<sup>2</sup>/día para el período lluvioso y 9,6 MJ/m<sup>2</sup>/día para el período poco lluvioso; esto constituye una diferencia de aproximadamente un 8 % a favor del período seco. En cuanto a la disponibilidad de biomasa comestible con relación a la sombra que proyectan los árboles, Pentón (2000) encontró valores de disponibilidad hasta un 35% mayor a la sombra en comparación con los pastos presentes al sol.

Todo lo anterior, evidencia que en los sistemas de explotación ganaderos con asociación de árboles y pasturas hay una mayor producción de leche y ganancia de peso vivo en bovinos (Iglesias y Toral, 2004; Iglesias-Gómez et al., 2017); mayor disponibilidad de materia seca y proteína en el sistema (Iraola et al., 2016; López-Vigoa et al., 2017); mayor utilización de *Rhizobium* y del reciclaje de nutrientes del suelo (Sánchez et al., 2017). Simón et al. (2012) encontraron que el silvopastoreo resulta una opción tecnológica con grandes posibilidades para las condiciones tropicales (Brito et al., 2005; Dos Santos et al., 2020, 2021); los resultados logrados bajo arborización en Cuba en términos de rendimiento lo reafirman (Simón et al., 2012; López-Vigoa et al., 2019; Iglesias-Gómez et al., 2019), principalmente los obtenidos durante la estación seca (la de mayor escasez de



pastos) en la producción de leche, carne y hembras en desarrollo de la especie bovina y bufalina.

En Brasil Moura Carvalho et al. (2002) muestran los sistemas silvopastoriles como tecnologías de alta calidad; importantes en el establecimiento y la perennidad del sistema y que cuadruplican la rentabilidad económica; su impacto biológico radica en que perennizan los pastos cultivados y reducen los costos en preparación de tierras, al tiempo, que el impacto ambiental es favorable al reducir la presión sobre la fauna, colabora con la emisión/fijación CO<sub>2</sub> y como impacto social requiere mano de obra especializada y no especializada, por épocas por lo que genera empleo todo el año en la finca. Estos autores, promueven sistemas diversificados de producción con sistemas silvopastoriles de (5,4 ha) con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) explotadas en pastoreo rotacional intensivo (cinco días de ocupación y 20 días de descanso) para la ceba de 25 machos Murrah al destete con una edad de 213 a 303 días. Proponen adicionalmente un modelo de sistema silvopastoril que emplea suplementación alimentaria con un 1% del PV con una ración con un 18% de proteína bruta, con árboles mogno africano (*Khaya ivorensis*) y nim (*Azadirachta indica*); intercalados a marco de siembra 16m<sup>2</sup> con una ganancia media diaria GMD 0,589 kg/a/d. Estos mismos autores diseñaron otro módulo de 25 ha con pastoreo rotacional con fertilización, pasto brachiaria (*B. brizantha*), doce cuartones que se manejaron (3 días de ocupación y 33 días de reposo), para 50 búfalas, un semental y 43 bucerros, el sistema tenía un estrato árboles con mogno Africano (*Khaya ivorensis*, *Khaya senegalensis* e *Khaya antothea*) y el nim (*Azadirachta indica*). Moura Carvalho et al. (2002) propusieron una variante tecnológica con el mismo estrato arbóreo y herbáceo sometido a un manejo con 8 cuartones, (5 días de ocupación y 35 días de descanso) para 20 búfalas y 1 semental con 17 crías, recomendándolo para pequeños productores.

Los estudios de Simón y Galloso (2008, 2011, 2012) en Cuba, demuestran que es posible obtener rendimientos en producción de leche en sistemas con arborización para búfalos al tiempo que se favorecen todos los indicadores: un mayor crecimiento de los bucerros, menores cargas parasitarias y mayores proporciones en la descomposición de las bostas

en los sistemas con arborización en comparación con los sistemas sin árboles. Basado en estas experiencias previas, Iglesias-Gómez et al. (2019) comparó el rendimiento productivo de bovinos y búfalos bajo arborización y demostró la superioridad de los búfalos en cuanto a ganancia media diaria y tiempos de ingestión y pastoreo más cortos, y sugirió que los búfalos hacen un aprovechamiento superior de los nutrientes y se benefician de la presencia de sombra bajo silvopastoreo racional o rotacional.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## 4. Materiales y métodos.

Esta tesis está conformada por cuatro experimentos resumidos en la tabla 3.

**TABLA 3 RELACIÓN DE EXPERIMENTOS DE LA MEMORIA DE LA TESIS.**

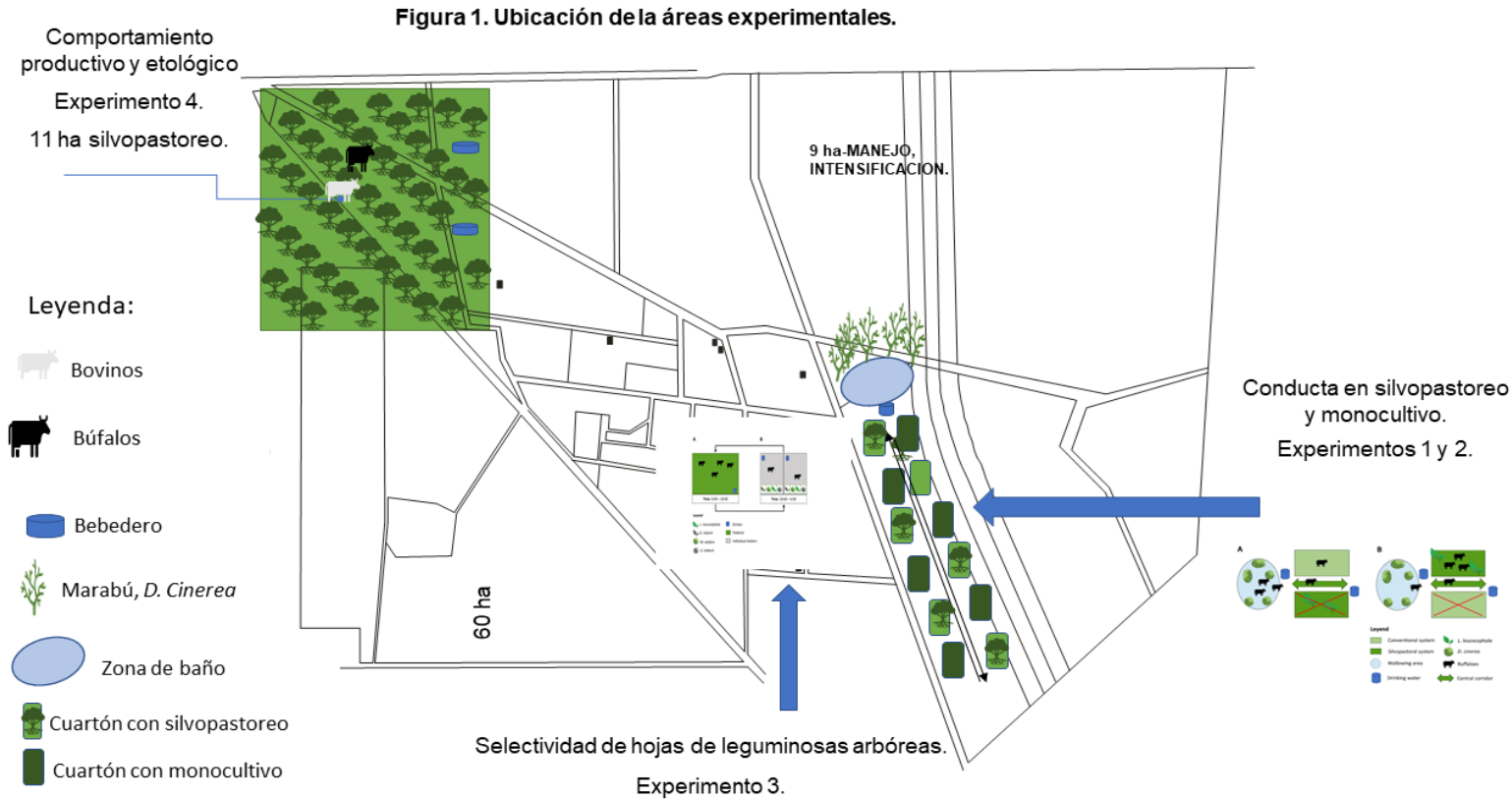
Numero de experimento	Titulo
Experimento 1	Comportamiento termorregulador y alimentario bajo diferentes sistemas de manejo y condiciones de estrés en novillas búfalas ( <i>Bubalus bubalis</i> ) en el trópico.
Experimento 2	Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento termorregulador y alimentario en búfalos de agua bajo diferentes condiciones de estrés térmico.
Experimento 3	Selectividad de árboles leguminosos por búfalos de agua en un sistema semintensivo.
Experimento 4	Comportamiento productivo y alimentario de búfalos de agua y bovinos cebú en un sistema silvopastoril

### 4.1. Ubicación de las áreas experimentales.

Los experimentos se han realizado en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” situada en Matanzas (Cuba); geolocalizada a los 22°48'7" de latitud norte y los 81°1' de longitud oeste y a 19,01 msnm.

La distribución en la finca de los experimentos de esta tesis, se muestra en la figura 1.

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS DE LA TESIS.



Distribución espacial de los experimentos de la tesis, experimento 1, comportamiento de novillas búfalas bajo un sistema silvopastoril y un sistema sin árboles. Experimento 2, evaluación del comportamiento en las mismas condiciones en diferentes etapas de desarrollo de los animales. Experimento 3, selectividad de leguminosas arbóreas por búfalos de agua en comedero. Experimento 4 comportamiento etológico y productivo de bovinos y búfalos bajo silvopastoreo.

## **4.2. Clima y suelo.**

El clima predominante en la finca experimental es de sabana tropical, (Academia de Ciencias de Cuba, 1989), predominando condiciones tropicales marítimas con marcada estacionalidad de las lluvias, y presentándose masas de aire árticas y polares continentales en la época invernal poco lluviosa (de noviembre hasta abril). La media anual de precipitaciones está por encima de los 1.320 mm, un 80 % de estas se ubican en entre los meses de mayo a octubre y el 20% de precipitaciones restantes se distribuyen en los meses de noviembre a abril.

El suelo está clasificado como ferralítico rojo hidratado (Hernández *et al.*, 2003). Este posee un pH moderadamente ácido (5,60 en CIK), bajos contenidos de fósforo (2,43 mg/100 g) y contenidos de nitrógeno total (0,18%) y materia orgánica (3,20%). Entre los cationes cambiabiles predomina el calcio (11,84 meq/100 g); mientras que la capacidad de intercambio de cationes es ligeramente baja (19,21 meq/100 g), por lo que se considera un suelo de mediana fertilidad.

En un período reciente de 15 años (1994-2009), la temperatura promedio anual de la zona fue de 24,3°C. La media de las temperaturas máximas del mes de agosto en la estación meteorológica de Indio Hatuey (Matanzas) fue de 33,4°C, mientras que la media de las mínimas en enero fue de 14,2°C. La precipitación media anual fue de 1 331 mm, con un 79,8% del volumen total caído en la estación lluviosa (mayo-octubre) y el 20% restante caído en el período seco (noviembre-abril). La evaporación alcanzó valores máximos en abril (220 mm) y el promedio anual de humedad relativa fue de 82,6%.

### **4.2.1. Condiciones ambientales durante el experimento 1.**

En el experimento 1, se hicieron determinaciones de la temperatura en los meses de mayo y noviembre de 2007- 2008 (Figura 2).

Los valores medios de temperatura en el mes de mayo en Cuba registrados en la estación meteorológica fueron para la temperatura media de 24,5 °C, los valores

de humedad relativa fueron de 78,5%, las precipitaciones tuvieron un valor de 84,2mm y los valores de evaporación 64,78mm. En el mes de noviembre la temperatura fue de (25,26) la humedad fue de (88,96) precipitación de 6,3mm y la evaporación fue de(133,66mm).

#### **4.2.2. Condiciones ambientales durante el experimento 2.**

El experimento 2, se realizó durante tres años de evaluación, a continuación, mostramos los valores medios de la temperatura y humedad relativa de todo el periodo experimental (Figura 2, 3 y 4).

Durante los períodos de observaciones en los experimentales 1 y 2 se registró la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) con un higrómetro digital de Cole Parmer© (Vernon Hills, Illinois, USA) en el sitio de investigación. Y se determinó el ITH (índice temperatura humedad relativa con la siguiente formula de (Tucker et al., 2008)

**Ecuación 1. Estimación del índice temperatura humedad (ITH) (Tucker et al., 2008).**

$THI = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)]$ , donde: T es la temperatura del aire (°C) y RH la humedad relativa (%)

La figura 2 muestra la variación de las condiciones climáticas, humedad relativa y temperatura en el año 2007. A su vez, las figuras 3 y 4 muestran esa misma información respectivamente para los años 2008 y 2009.



FIGURA 2. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 1 (EXPERIMENTO 1 Y 2).

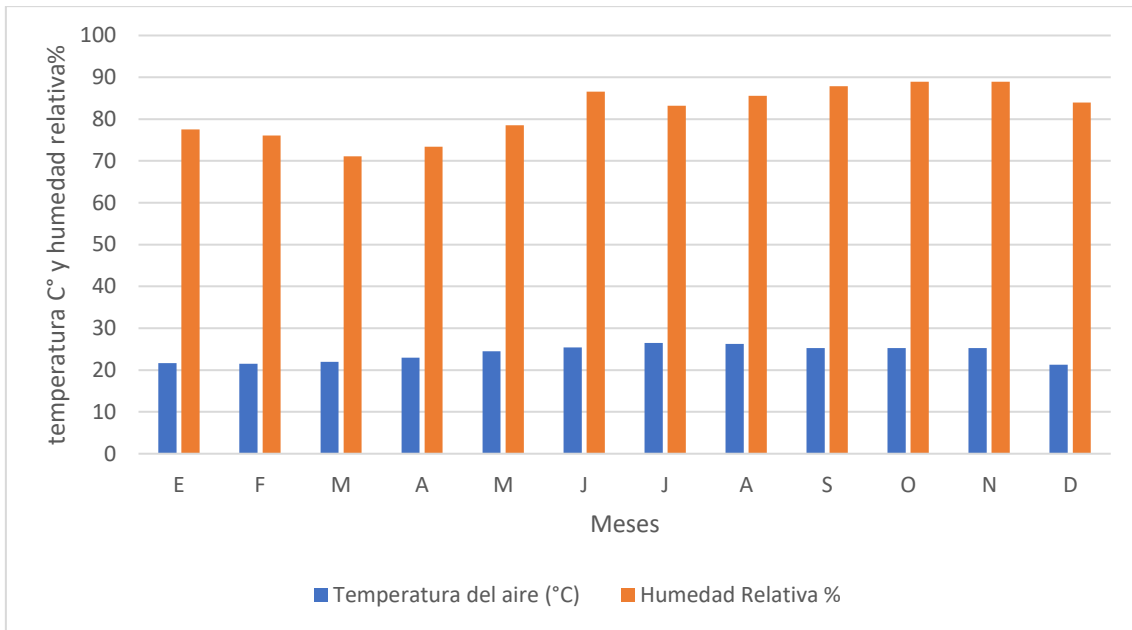
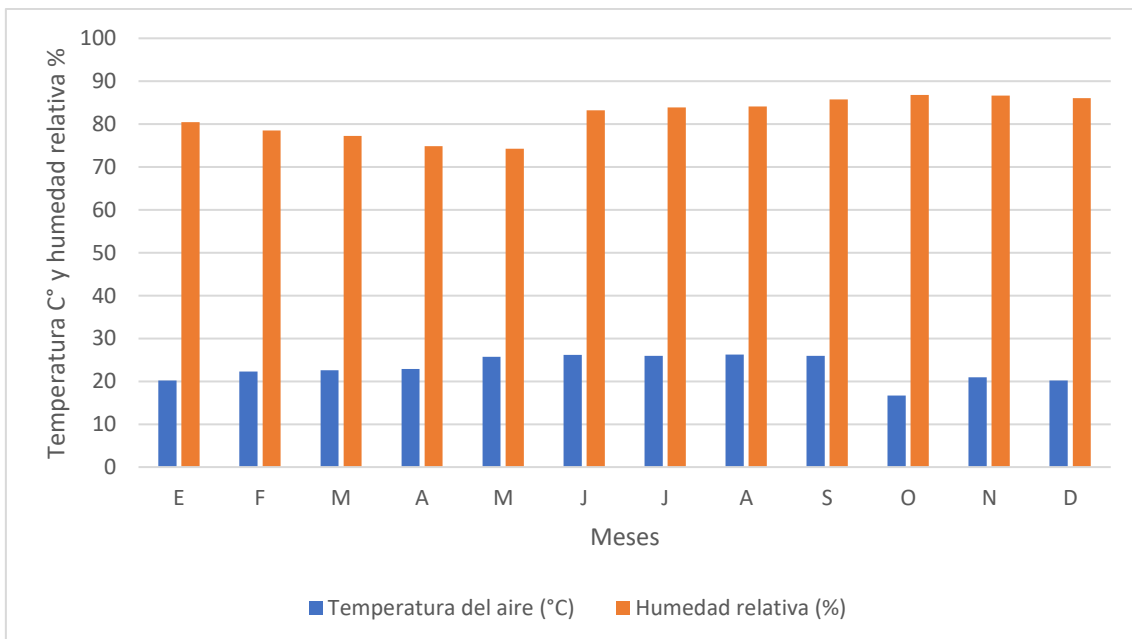
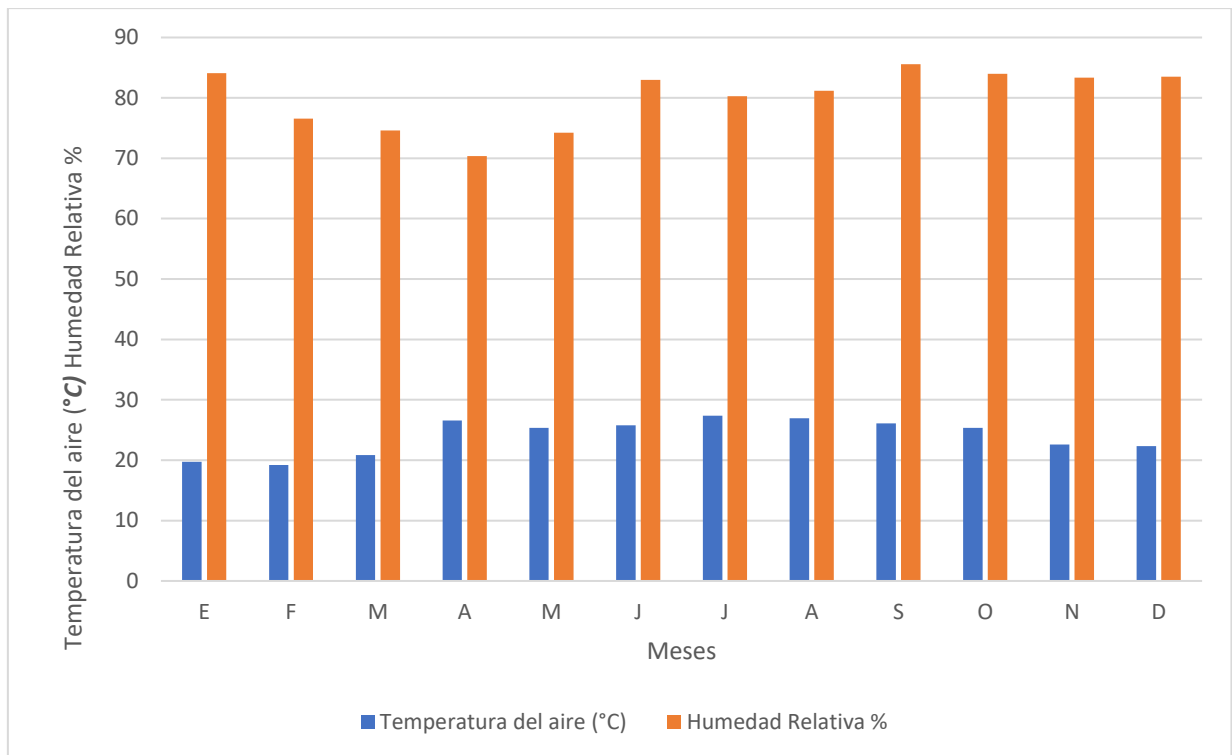


FIGURA 3. VARIACIÓN O DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 2 (EXPERIMENTO 2).



**FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN EL AÑO 3 (EXPERIMENTO 2).**



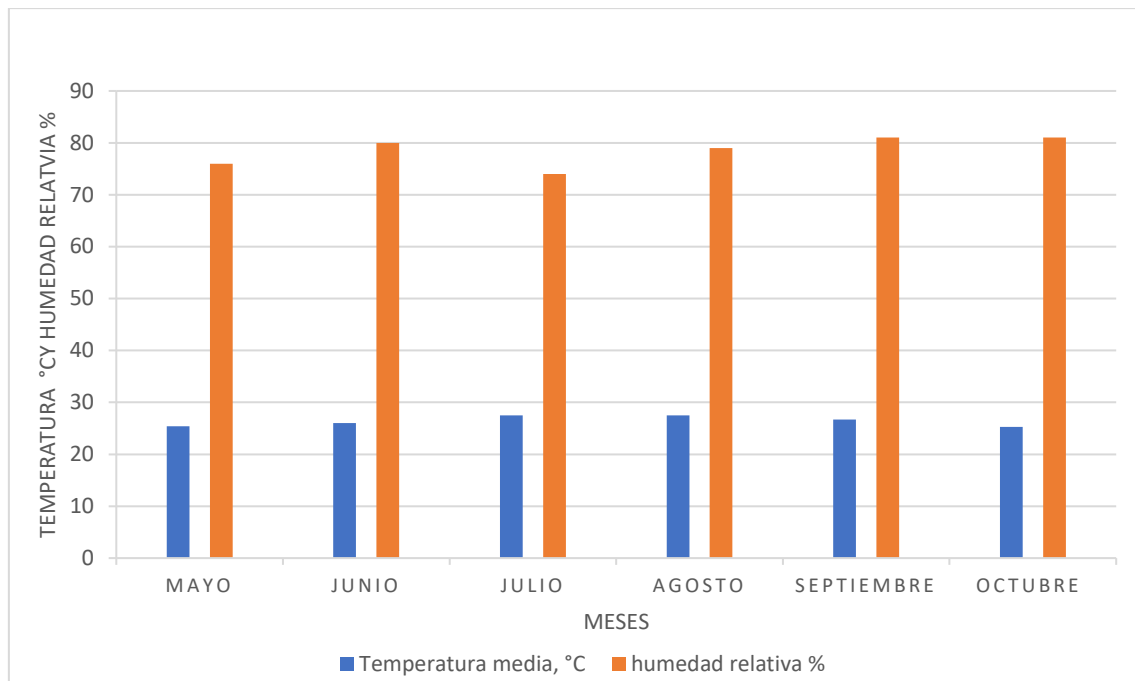
#### 4.2.3. Condiciones ambientales durante el experimento 3.

Durante el experimento 3, ejecutado en el mes de septiembre de 2008, el valor de la temperatura media del sitio de investigación fue de 25,95 °C y humedad relativa fue de 85,76%.

#### 4.2.4. Condiciones ambientales del experimento 4.

En el experimento 4, se realizaron las mediciones tomando en consideración que este momento es el mes más caluroso del año (julio), donde las temperaturas medias y máximas alcanzaron valores de 27,5 y 34,4 °C y la precipitación estuvo alrededor de los 200 mm (factores estresantes en el comportamiento de los animales en pastoreo), se realizaron las mediciones de conducta de los animales, durante cinco días consecutivos, cada veinte minutos y durante 14 horas. La figura 5 resume las condiciones ambientales durante este estudio.

**FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA DURANTE EL PERIODO EXPERIMENTAL (EXPERIMENTO 4: BOVINOS Y BÚFALOS EN SILVOPASTOREO).**



### 4.3. Animales.

#### 4.3.1. Características de los animales usados en el experimento 1.

En el experimento 1, se emplearon 9 búfalas de agua, con una edad inicial de 12 meses y un peso promedio de 167,9 Kg  $\pm$ 23; el estudio se realizó durante 12 meses. Todos los animales estaban sanos y no presentaron ningún tipo signos de enfermedad durante la duración del experimento, su condición corporal fue buena y homogénea.

#### 4.3.2. Características de los animales usados en el experimento 2.

Para el experimento 2 se emplearon 9 búfalas de agua con diferentes edades a las que se les enfrentó a cada condición experimental en las edades de 12-24 meses, de 24 a 35 meses durante la gestación, de 35 a 42 meses durante la lactancia y de 43 a 50 meses en la etapa final de búfalas adultas, siguiendo el método de diseño experimental longitudinal; de esta forma se buscó reducir la variación del efecto individual, minimizar los enfrentamientos y la conducta agonística. Cada periodo experimental estuvo convenientemente separado del resto de

mediciones, de modo que no interfirieran el estudio en ejecución con los demás, habiendo para ello un periodo previo de adaptación antes de cada experiencia o etapa de evaluación.

#### **4.3.3. Características de los animales usados en el experimento 3.**

En este experimento, se emplearon 9 búfalas de agua a las que se les enfrentó a cada especie de hojas de árboles leguminosos. Los animales tenían una edad de 18 meses, con 373,77kg de peso vivo y gmd de 362 g/d, estado de salud clínicamente sanas a las que previamente se desparasito con ivermectina 1mcg/kg SC antes del inicio de la etapa de adaptación y de mediciones.

#### **4.3.4. Características de los animales usados en el experimento 4.**

En el experimento 4, se emplearon 24 animales, 12 búfalos machos enteros de 12 meses de edad (280,5kg de peso vivo inicial) y 12 bovinos macho de la raza Cebú con  $14 \pm 2$  meses de edad (290,1kg de peso vivo inicial) en un diseño completamente aleatorio, que se sometieron un manejo semejante, para determinar si es posible producir búfalos bajo silvopastoreo sin agua para revolcarse junto a bovinos y comparar su comportamiento productivo y etológico en las mismas condiciones experimentales.

### **4.4. Manejo de los animales.**

#### **4.4.1. Manejo de los animales en los experimentos de comportamiento animal (experimentos 1 y 2).**

Los animales permanecieron en pastoreo de forma permanente, con libre acceso a una zona de agua ideada al efecto para el baño libre de los animales que, además, disponían de agua y sales minerales *ad libitum* en un área central de los cercados experimentales (Figura 6).

#### **4.4.2. Manejo de los animales en el experimento de selectividad (experimento 3).**

Las búfalas en el experimento 3, mantuvieron un pastoreo diurno en potreros sin arborización y a las 18:00 fueron ubicados en los corrales individuales para consumir la mezcla de suplementos. A la mañana siguiente, a las 6:00am, se retiró el rechazo y se separaron las ramas arbóreas para cuantificar el consumo de cada tipo de hojas.

#### **4.4.3. Manejo de los animales en el experimento de bovinos y búfalos en silvopastoreo (experimento 4).**

Todos los animales pastorearon desde las 6:00 a.m. hasta las 8:00 p.m. y se confinaban en una corraleta durante la noche, con vistas a su protección. Durante el día la corraleta permanecía abierta y disponía de cuatro bebederos circulares, expuestos al sol deliberadamente para reducir la permanencia de los animales alrededor de ellos y evitar la competencia por el agua entre las dos especies; además contaban con dos saleros con sales minerales a voluntad. No había zonas de revolcaderos o charcas para ninguna de las dos especies.

#### **4.5. Parcelas experimentales.**

En la tabla 4 se resumen las características de las parcelas de cada experimento, que seguidamente se describen.

**TABLA 4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.**

Experimento.	Área de potreros	Número de cuartones	Composición botánica.	Especie de árboles y densidad (pies/ha).	Objetivo
Experimento 1	10ha	12	<i>Megathyrus maximus</i> cv. Likoni (82-93%)	<i>Leucaena leucocephala</i> cv. Cunningham (900-950)	Comportamiento en novillas búfalas.
Experimento 2	10ha			Comportamiento de búfalas en diferentes edades.	
Experimento 3	9ha	12	<i>Megathyrus maximus</i> cv. Likoni (56%), <i>Brachiaria decubens</i> (22%), Pastos naturales leguminosas herbáceas (12%).	0	Selectividad de hojas de árboles leguminosos.
Experimento 4	11ha	8	<i>Megathyrus maximus</i> cv. Likoni (guinea) (85%).	<i>Leucaena leucocephala</i> cv. Cunningham (555)	Ceba de bovinos y búfalos bajo silvopastoreo.

#### **4.5.1. Parcelas del experimento 1.**

El área para los estudios de comportamiento animal en pastoreo estuvo conformada por 12 parcelas o cuartones, 4 de ellos con un área de 0,54 ha y el resto de 0,48 ha.

El estrato arbóreo de las parcelas con silvopastoreo tenía *Leucaena leucocephala* de 3 m de altura al inicio del experimento, con una densidad de siembra de 18 m<sup>2</sup> por planta, con marco de siembra a distancias de 6 m entre franjas y de 3 m entre plantas en el 50% de los potreros, los otros restantes (50%) cuartones no tenían árboles (Figura 6).

#### **4.5.2. Parcelas del experimento 2.**

Este experimento se desarrolló en las mismas condiciones experimentales, y los mismos cuartones que el experimento 1 con las evaluaciones de las novillas búfalas (Figura 6).

#### **4.5.3. Parcelas del experimento 3.**

Los animales pastorearon en un sistema convencional cuya composición florística era: *Megathyrsus maximus* cv. Likoni (56%), *Brachiaria decubens* (22%), pastos naturales y leguminosas herbáceas (12%).

En este estudio, se realizó en condiciones de estabulación, donde los animales después del pastoreo, y previamente adaptados al manejo en potreros sin arborización se les enfrentó al consumo selectivo de las cuatro especies. Los establos individuales tenían agua y sales minerales ad libitum y estos permanecieron en este recinto durante la noche 18:00 h - 06:00 h (Figura 7).

#### **4.5.4. Parcelas del experimento 4.**

En el experimento 4, el sistema silvopastoril estaba compuesto por *Megathyrsus maximus* cv. Likoni (guinea) como pasto base (85 % de la composición florística del pastizal) y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, con una densidad de 555

árboles/ha. El área se dividió en ocho cuartones, lo que permitió 4,5 rotaciones, con tiempos de reposo de 40 días para cada cuartón. La carga en el sistema al inicio fue de 1,24 UGM/ha, mientras que al finalizar el estudio (180 días) fue de 1,78 UGM/ha.

#### **4.6. Manejo del pastizal.**

El manejo del pastizal dependió de la época, con tiempos de estancia y tiempos de reposo calculados según el momento óptimo de aprovechamiento del pastizal y la disponibilidad de pasto para cada época del año, para lo cual se realizó un balance alimentario para estimar el nivel de satisfacción de los requerimientos nutricionales de los animales según su peso y categoría.

Todos los cuartones o parcelas tenían un estrato herbáceo con predominio de guinea (*Megathyrus maximus* cv. Likoni), determinado mediante el método de los pasos descrito por Lamela et al. (2010).

Después de los muestreos de la composición botánica de cada rotación, se determinó la composición química de la dieta ofertada (Pb, Fb, Ca, P, MS%) en cada periodo del año, a partir de una muestra homogenizada de los alimentos, se procedió a determinar los contenidos de materia seca (48 horas de aire forzado en estufa a 60°C), y posteriormente el resto de los analitos en los alimentos. Todas las muestras se procesaron en el laboratorio de análisis químico de la EEPF: Indio Hatuey.

##### **4.6.1. Determinación de la disponibilidad del estrato herbáceo.**

La disponibilidad del estrato herbáceo se determinó por el método de estimación visual de Martínez *et al.* (1990); para lo que en las áreas de pastoreo se tomaron 80 alturas del pasto, al azar, con una regla graduada. Después de obtenida la altura media del pasto, se cortaron dos marcos aproximadamente a esa altura. Para el cálculo de la disponibilidad se utilizó la siguiente ecuación:



**Ecuación 2. Cálculo de la disponibilidad de pastos en la parcela (MARTÍNEZ ET AL., 1990).**

$$DC = (DMA \times AA/AM) * 40$$

Donde: DC: disponibilidad del cuartón; DMA: disponibilidad de los marcos (media); AA: altura del pasto (media); AM: altura de los marcos (media)

El factor 40 de la ecuación, representó la disponibilidad cuando el tamaño del marco de medición fue de 0,25 m.

**4.6.2. Composición química de los pastos y los suplementos.**

Para conocer el valor nutritivo de las dietas se realizaron análisis de laboratorio en el laboratorio de química analítica de la EFPP. Indio Hatuey, según normas de (AOAC, 2005).

En el experimento 1 y 2 se determinó el valor nutritivo de los pastos, al final de cada época.

En el experimento 3, se determinó cada día antes de la oferta y después de la oferta en comedero (la materia seca ofertada y rechazada, la PB, FB, EB, Ca, P); de las ramas de los árboles de la oferta y del rechazo todos los días de medición.

En el experimento 4 se realizaron determinaciones del valor nutritivo del pasto en cada ciclo de rotación.

**4.7. Los forrajes arbóreos.**

*Leucaena leucocephala* produce entre 14,2 y 18,0 toneladas DM/ha al año con riego (planta entera) y entre 7 y 14 toneladas DM/ha al año en condiciones de lluvia (Mílera et al., 2014; Simón et al., 2012). Su contenido de DM es de 24 a 27%, el de PB de 20 a 24,26%, el de FAD es de 30%, el de Ca de 0,83 a 2,0% y el de P de 0,29 a 0,38%; aunque pueden fluctuar dependiendo de las condiciones climáticas, tipo de suelo, y régimen de manejo y riego.

El marabú (*Dichrostachys cinerea*) es especie invasora en Cuba y su composición nutricional es 44.2% DM, 14.7% PB y 30.3% FND (Espinosa et al., 2020).

Las características de los forrajes arbóreos del experimento 3 de selectividad se resumen en el apartado correspondiente, en el experimento 4 no se empleó la leucaena para el ramoneo.

#### **4.8. Observaciones y secuencia experimental.**

Cada periodo experimental estuvo convenientemente separado del resto de mediciones, de modo que no interfirieran el estudio en ejecución con los demás, habiendo para ello con un periodo previo de adaptación antes de cada experiencia en cada etapa de evaluación.

Antes de comenzar las observaciones los animales fueron habituados al área, personal vinculado y dispositivos empleados y se construyeron puntos de observación, que fueron ubicados fuera del punto de fuga de los animales a una altura que permitiera registrar todas las mediciones.

Los animales fueron colocados por primera vez en el tratamiento 1 seguidos del tratamiento 4, 2 y 3 respectivamente. Entre los tratamientos 1 y 4 y entre los tratamientos 2 y 3, hubo un tiempo de adaptación de 15 días donde fueron sometidos a la misma gestión y adaptación recomendada por Martyn y Bateson (2007). Este período de adaptación aseguró que el tratamiento anterior no influyera en la siguiente condición del tratamiento a la que fueron sometidos los animales. Los tratamientos a los que se sometieron los animales, el tiempo entre observaciones y el número de horas observadas, se resumen en la (Tabla 5).

##### **4.8.1. Observaciones y secuencia experimental del comportamiento de búfalas en sistema silvopastoril y sin árboles (experimentos 1 y 2).**

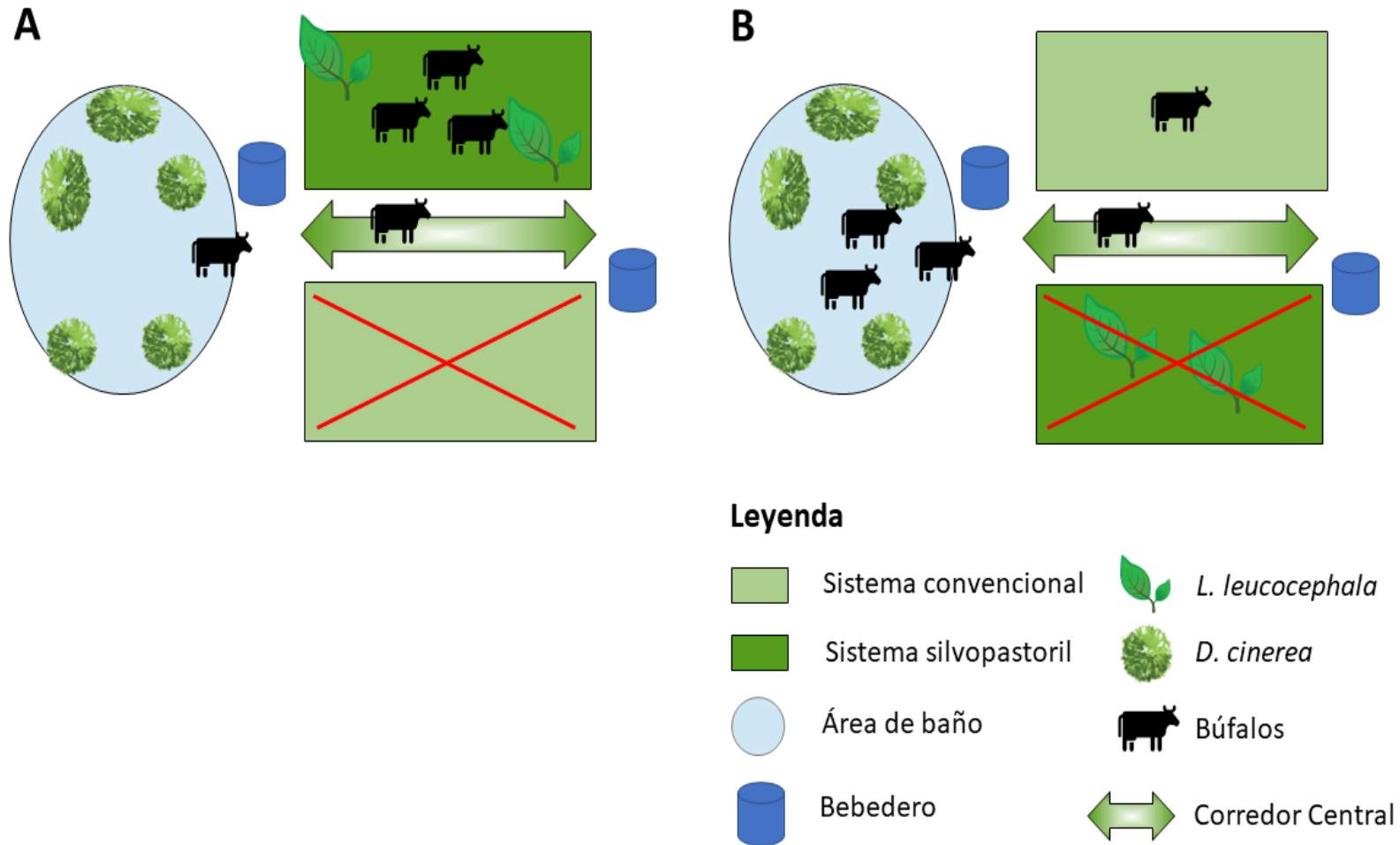
Se realizaron observaciones del comportamiento durante los primeros tres días de estancia en la parcela o cuartón (ciclo de observación) a los que se habituaron durante cuatro meses de manejo ininterrumpido antes del inicio del experimento

1 y a cada período de evaluación (ciclo de rotación) le antecedió un período de adaptación al sistema de explotación silvopastoril (SPS) vs. sistema convencional sin arboles (CVS) durante 15 días.

TABLA 5 CONDICIONES EXPERIMENTALES DE LOS EXPERIMENTOS 1 Y 2.

Tratamientos	Definición	Numero de observaciones	Frecuencia (min)	Tiempo total observado (horas)	Número de días	Numero de ciclos de observación
T1	Sistema sin árboles en estrés térmico intenso	1872	10	312.0	29.0	9.6
T2	Sistema sin árboles en estrés por calor moderado	1067	10	177.8	16.5	5.5
T3	Sistema silvopastoril en estrés térmico intenso	1361	10	226.8	21.0	7.0
T4	Sistema silvopastoril en estrés térmico moderada	1226	10	204.3	19.0	6.0

FIGURA 6. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS EXPERIMENTOS DE COMPORTAMIENTO ANIMAL (1,2).



#### 4.8.1.1. Registro del comportamiento de los experimentos 1 y 2.

El método empleado para el estudio del comportamiento por intervalos de tiempo se basó en la observación directa con registro cronológico cada 10 minutos.

Toda la información del comportamiento se trasladó a una base de datos en la que se registró la frecuencia de cada animal para cada actividad en el período diurno (de 06:00 a 18:00 horas).

Para la elaboración de histogramas de frecuencia del tiempo dedicado a cada actividad (etogramas) se empleó la fórmula de Petit (1972) y Dumont y Petit (1995) que relaciona el tiempo dedicado a cada actividad:

##### Ecuación 3 Cálculo del tiempo dedicado a cada actividad (Petit, 1972).

Tiempo dedicado a cada actividad= sumatoria (ai x n)/ A. Donde "ai" es el número de animales que ejercen la actividad, "n" el tiempo entre 2 observaciones sucesivas y "A" el número total de los animales.

Para la clasificación de las variables etológicas evaluadas, se adoptó y modificó la metodología utilizada por Ramseyer et al. (2009) y Martyn and Bateson (2007) (Tabla 6).

Se usó el siguiente modelo lineal de efectos fijos:

##### Ecuación 4 Modelo lineal de efectos fijos (IBM, 2017).

$$Y_{ijklm} = m + T_i + P_j + M_{jk} + TP_{ij} + C_l + e_{ijklm}$$

Donde: "Y<sub>ijklm</sub>" es la m-ésima medición realizada en el l-ésimo cuadrado el j-ésimo período en el i-ésimo tratamiento en el k-ésimo muestreo dentro del j-ésimo período; "m" es la media poblacional o intercepto general; "T<sub>i</sub>" es el efecto fijo del i-ésimo tratamiento (i = 1(SPS), 2(CVS)); "P<sub>j</sub>" es el efecto fijo del j-ésimo período (j = 1(PLL), 2(PpLL)); "M<sub>jk</sub>" es el efecto fijo del k-ésimo mes de vida en el j-ésimo período (k = 1(12-18m), 2(18-24m)); "Z<sub>jk</sub>" es el efecto fijo al k-ésimo día de estancia (día 1, día 2, día 3, ..., día n). "C<sub>ijklm</sub>" es el efecto fijo del l-ésimo cuadrado. (l=1...); "e<sub>ijklm</sub>" es el residual aleatorio asociado con la m-ésima medición.

**TABLA 6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE COMPORTAMIENTO.**

Grupo de actividades	Actividad o Comportamiento	Definición
<b>Comportamiento alimentario:</b> Se dividió en comportamiento alimentario activo y pasivo e incluyó las siguientes actividades: Pastoreo, rumia, ingestión de agua, ramoneo.		
Comportamiento alimentario activo	Pastoreo	Tiempo dedicado a comer hierba en los potreros.
	Ramoneo	El tiempo dedicado a la navegación se entiende como el proceso de consumir las puntas de las ramas y las hojas de los árboles.
	Consumo de agua	El tiempo dedicado a la ingesta de agua se entendió como el consumo de agua en el pasillo central.
Comportamiento alimentario pasivo	Rumia	El tiempo dedicado a la rumia se entiende como el proceso de regurgitar los alimentos previamente ingeridos y masticarlos por segunda vez.
<b>Comportamiento Termorregulador:</b> Se considero como la suma del baño termorregulador y la sombra bajo las ramas de los árboles de <i>L. leucocephala</i> en el potrero o en la zona de revolcadero bajo <i>D. Cinerea</i> .		
Comportamiento Termorregulador	Baño termorregulador	El tiempo dedicado a revolcarse entendió como tener un baño en el estanque de agua para enfriar la superficie corporal.
	Sombreo	Realizar cualquier actividad bajo los árboles (en los sistemas sin árboles era posible en la zona de revolcamiento).
Otras.	Andar, decúbito estación en pie	El tiempo dedicado a las actividades de movilidad de los animales, describen el accionar diario de los animales en movimiento o detenidos, echados o en pie, para realizar actividades específicas de satisfacción de sus necesidades básicas.

**TABLA 7. CLASIFICACION DE LAS VARIABLES DE LOS EXPERIMENTOS DE COMPORTAMIENTO ANIMAL.**

<b>Variables Independientes</b>	<b>Tipo de variable</b>
Ingestión de pastos	Continua
Ingestión de agua	Continua
Aptitud: Decúbito y estación; andar y estación (frecuencia)	Continua y categórica
Descanso	Continua y categórica
Localización (observación continua)	Categórica
Monitorización (frecuencia) de la postura o aptitud que adoptan los animales en el momento del periodo circadiano	Continua
Sombreo	Categórica
Baño termorregulador	Categórica
Andar(frecuencia) Movimiento en dirección de uno u otro sitio para la satisfacción de una necesidad	Continua y categórica

#### **4.8.2. Observaciones y secuencia experimental de la selectividad de los búfalos ante 4 tipos de hojas de árboles leguminosos (experimento 3).**

Para esta experiencia se utilizaron 9 búfalas de agua hembras con una edad de 12 meses y un peso promedio inicial de 167,9 ±23 kg, ubicados en corrales individuales la mitad del día (de 18:00 a 6:00).El experimento tuvo una duración de 35 días (20 días de adaptación y 16 días de evaluación), en el cual se observó, la preferencia y consumo de 4 especies arbóreas frescas ofrecidas en comederos: *Leucaena leucocephala* (Ll), *Albizia lebbek* (Al), *Gliricidia sepium* (Gp) y *Moringa oleifera* (Mo) (Tabla 8); especies propuestas por Toral (2006) y Toral e Iglesias (2008) como altamente, medianamente y poco consumidas por los animales. La metodología seguida fue la descrita por Toral e Iglesias (2008) y García et al. (2008); para la cosecha de las hojas y ramas de árboles leguminosos, simulando el ramoneo de los animales a la altura de la cruz, denominado: “ordeño de las ramas”.

El forraje se obtuvo mediante la cosecha de las ramas, arrancadas a la altura de la cruz de los animales (1,70m), simulando el ramoneo de los animales para su posterior oferta en estabulación junto con el resto de los suplementos (Caña troceada, guinea, pienso comercial).



**TABLA 8. LEGUMINOSAS ARBÓREAS USADAS EN EL EXPERIMENTO DE SELECTIVIDAD.**

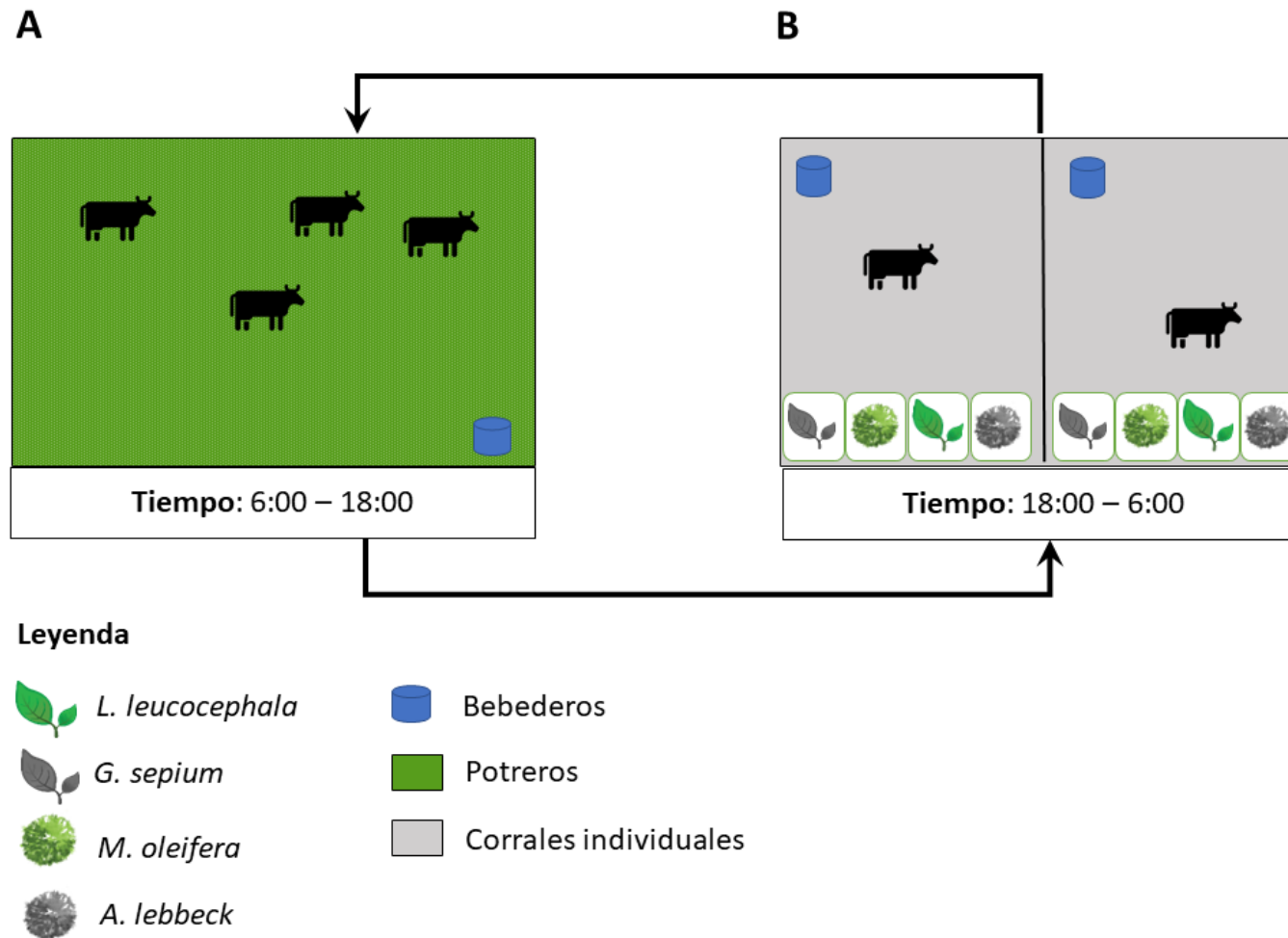
Nombre científico	Familia	Nombre común
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leguminosas, Subfamilia: Mimosoideae, Género: <i>Leucaena leucocephala</i>	Aroma blanca.
<i>Gliricidia sepium</i>	Leguminosas, Subfamilia: Papilionadas,	Gliricidia.
<i>Albizia lebbek</i>	Leguminosas, Subfamilia: Mimosoideas	Albizia.
<i>Moringa oleífera</i>	Moringaceae	Árbol del tilo.

Se midió el forraje en kg consumido y (g) de materia seca ofertada y consumida/día, así como el valor nutritivo de las hojas de las leguminosas.

Los animales pastorearon diariamente de 6:00 a 18:00 en parcelas o cuarterones con un promedio de 0,54 ha manejados rotacionalmente; pasando después, 18:00 a 6:00, a ser ubicados en corrales individuales, donde se les ofreció de forma simultánea 10 kg de alimento fresco (1,2 kg de cada tipo de hoja de leguminosa evaluada para cada animal+ caña troceada+ pienso comercial). Este forraje arbóreo fue recolectado por la mañana, antes de las observaciones, utilizándose como alimento suplementario en la dieta (Figura 7).

El follaje se colocó aleatoriamente en cada compartimiento del comedero durante los días de evaluación, de tal forma que los cuatro tipos de hojas ocuparan todos los lugares posibles para así bloquear el hábito reflejo de cada animal a la posición de las hojas, las características físicas de cada tipo de hoja (distancia de la hoja y el tallo, aspecto externo de las hojas), así como distancia del alimento y el primer encuentro del animal en el comedero.

FIGURA 7. DESCRIPCION DEL MANEJO Y DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL EXPERIMENTO DE SELECTIVIDAD (EXPERIMENTO 3).



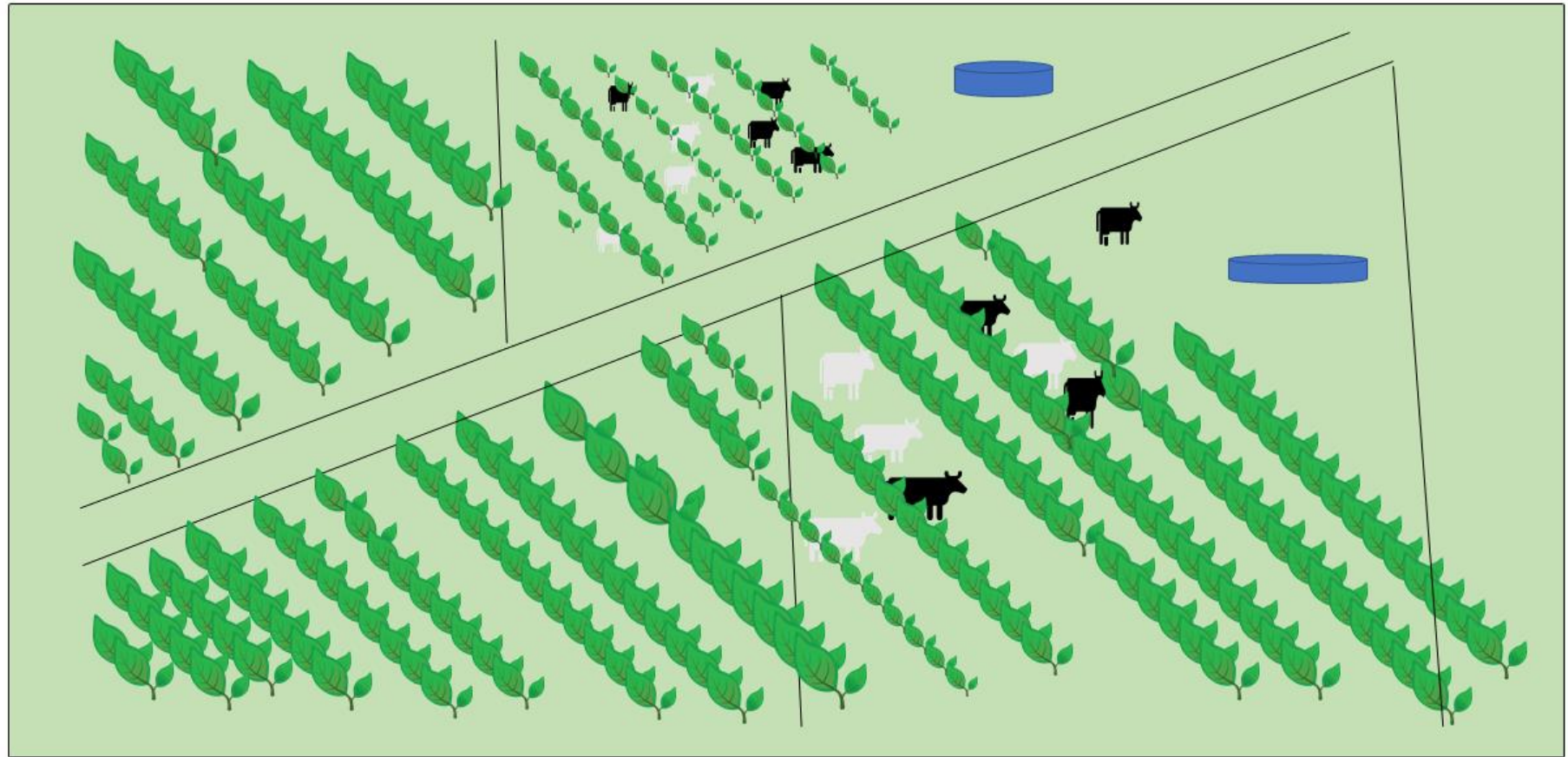
Conjuntamente, con el forraje arbóreo, se ofreció caña (*Sacharum officinarum*) troceada a 3 mm y un suplemento a base de maíz, ambos alimentos fueron mezclados a razón de una proporción 3:1 y se les ofreció 2,5 kg por animal. Además, disponían de agua a voluntad y sales minerales en los potreros y en los corrales individuales.

#### **4.8.3. Observaciones y secuencia experimental del rendimiento comparativo de búfalos de bovinos en silvopastoreo racional (Experimento 4).**

En este experimento se estudiaron 12 búfalos de agua con 280,5kg de peso vivo inicial y 12 bovinos machos con 290,1kg de peso vivo inicial en etapa crecimiento-ceba que pastorearon juntos en un sistema silvopastoril de 11 ha. (Figura 8).

En el mes de julio, donde los factores estresantes afectan más el bienestar de los animales se realizaron las mediciones de conducta, durante cinco días consecutivos, cada veinte minutos y durante 14 horas. Se estimó el número de animales dedicados a la ingestión de pastos, al consumo de agua, la rumia, así como a otras actividades con observaciones cada 20 minutos y se aplicó la fórmula de Petit (1972). Los búfalos y los toros se pesaron mensualmente, en el horario de la mañana, antes de entrar al cuartón que le correspondía para el pastoreo. A partir de estos pesajes se calculó la ganancia diaria promedio. Se estimó el número de animales dedicados a la ingestión de pastos, al consumo de agua, la rumia, así como a otras actividades.

FIGURA 8. ESQUEMA DEL EXPERIMENTO DE COMPORTAMIENTO DE BÚFALOS Y BOVINOS EN SILVOPASTOREO (EXPERIMENTO 4)



Leyenda



#### **4.9. Análisis estadísticos.**

Para los análisis estadísticos se ha utilizado el paquete estadístico SPSS® versión 25.

La evaluación del comportamiento animal de los experimentos 1 y 2 se realizó mediante un análisis de varianza para determinar las diferencias entre las medias de la frecuencia y tiempo de animales bajo diferentes condiciones de estrés térmico y condiciones de manejo.

La valoración de la selectividad de las ramas arbóreas del experimento 3 se realizó con el análisis de comparación de medias de las pesadas para determinar el consumo de cada, mientras que las preferencias de estos se evaluó el índice de consumo-rechazo en el comedero. Las diferencias entre las medias se analizaron mediante la prueba de Duncan (1955) con un nivel de significación de ( $P < 0.05$ ).

Los resultados relacionados con la producción y conducta animal del experimento 4 se analizaron, previo ajuste del peso vivo inicial y el peso final de los animales, a través de la prueba de Duncan (1955)  $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ .

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

# **RESULTADOS**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*



## **5. Resultados.**

### ***5.1. Experimento 1. Comportamiento termorregulador y alimentario bajo diferentes sistemas de manejo y condiciones de estrés en novillas búfalas (*Bubalus bubalis*) en el trópico.***

#### **5.1.1. Descripción.**

En este experimento, se iniciaron las primeras evaluaciones de comportamiento animal en novillas búfalas bajo silvopastoreo (SPS) y monocultivo de gramíneas. Estas evaluaciones sirvieron para comprobar que en la etapa de crecimiento los tiempos de ingestión, rumia, y andar solían mantener una tendencia similar independientemente del sistema de tenencia, y que el silvopastoreo podía modular el comportamiento termorregulador. En el caso del comportamiento alimentario, el ramoneo bajo la sombra de los árboles incrementó los tiempos efectivos de comportamiento alimentario al tiempo que se redujo el tiempo de permanencia en la zona de baño. Esos hallazgos nos motivaron a continuar evaluando en otras categorías y edades, con los mismos patrones de medición y bajo las mismas condiciones de estrés térmico y manejo para las categorías de búfalas gestantes y búfalas adultas.

#### **5.1.2. Condiciones ambientales.**

Durante el período de estrés térmico moderado, la temperatura (T) y la humedad relativa (Hr) no mostraron diferencias significativas entre el sistema CVS y el sistema SPS. Sin embargo, en el período de estrés por calor intenso, cuando los valores de temperatura aumentaron exponencialmente a medida que avanzaban las horas de luz diurna, la temperatura siempre fue 2°C más baja en el sistema silvopastoril alrededor del mediodía (Tabla 9).

**TABLA 9. TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA REGISTRADA EN CADA SISTEMA (CON Y SIN ARBOLES) Y BAJO DIFERENTES INTENSIDADES DE ESTRÉS TÉRMICO EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

Tratamiento	Definicion	N	Temperatura	Humedad relativa	Indice temperatura-humedad
T1	Sistema convencional bajo estrés térmico intenso	875	33,01 (±7,63) <sup>b</sup>	53,41 (±20,98) <sup>a</sup>	81,75 (±18,53) <sup>b</sup>
T2	Sistema convencional bajo estrés térmico moderado	875	29,31 (±12,80) <sup>a</sup>	51,07 (±25,44) <sup>a</sup>	76,12 (±16,79) <sup>a</sup>
T3	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado	875	28,97 (±7,78) <sup>a</sup>	51,63 (±21,95) <sup>a</sup>	76,40 (±8,61) <sup>a</sup>
T4	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso	875	31,00 (±5,86) <sup>ab</sup>	59,31 (±18,60) <sup>b</sup>	79,98 (±6,34) <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma columna difiere significativamente para  $P < 0.05$ .

La Hr fue más alta en el SPS bajo las condiciones de estrés calórico intenso. De acuerdo con Penton y Blanco (1997) esto se explica porque esta humedad se introduce en el sistema por la sombra filtrable a consecuencia de la disposición y la densidad de las hojas de los árboles y el efecto de la humedad acumulada en la hierba.

### 5.1.3. Comportamientos de pastoreo y alimentación.

La mayor disponibilidad de forraje encontrada fue en el sistema SPS durante la temporada de estrés térmico intenso y la disponibilidad más baja se encontró en el sistema convencional durante la temporada de estrés térmico moderado y fueron 6.68- y 2.19-Ton DM/ha y por rotación respectivamente (Tabla 10). Además, las presiones de pastoreo más altas y más bajas durante el período de estrés térmico intenso para el sistema Silvopastoril y el sistema convencional fueron 23,07 y 8,52 Kg DM/100kg BW respectivamente.

**TABLA 10. OFERTA DE ALIMENTOS Y PRESIÓN DE PASTOREO.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Sistema y época*</b>	<b>Disponibilidad de alimento en materia seca /ha y por rotación</b>	<b>Presión de pastoreo</b>
T1	Sistema convencional bajo estrés térmico intenso	4,27 Ton/ha	8,52 Kg DM/ 100 kg BW
T2	Sistema convencional bajo estrés térmico moderado	2,19 Ton/ha	14,8 Kg DM/100 kg BW
T3	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado	3,92 Ton/ha	17,16 Kg DM/100 kg BW
T4	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso	6,68 Ton/ha	23,07 Kg DM/100 Kg BW

\*Épocas: época lluviosa: estrés térmico intenso; poca lluviosa: estrés térmico moderado.

El tiempo dedicado a cada actividad se muestra en las tablas 11 y 12. Durante la temporada de estrés térmico intenso, la ingestión de agua fue mayor en el sistema Silvopastoril con respecto al sistema convencional con 0,35 h frente a 0,07 h respectivamente (Tabla 11).

**TABLA 11. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PASTOREO DE BÚFALOS DEPENDIENTE DEL SISTEMA DE PASTOREO Y LA ÉPOCA.**

Tratamiento	Definición	Pastoreo(G)		Rumia(R)		Consumo de agua (D)		Ramoneo (B)		Pastoreo+Ramoneo		Comportamiento alimentario (G+R+D+B)	
		Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)
T1	Sistema convencional bajo estrés térmico intenso	5,22 <sup>a</sup> ±1,07	4,31 <sup>a</sup>	2,62 <sup>b</sup> ±0,99	4,40 <sup>b</sup>	0,33 <sup>a</sup> ±0,24	0,07 <sup>a</sup>	0,04 <sup>a</sup> ±0,37	0,21 <sup>a</sup>	5,36 <sup>b</sup> ±0,74	5,96 <sup>b</sup>	8,17 <sup>c</sup> ±0,44	9,08 <sup>c</sup>
T2	Sistema convencional bajo estrés térmico moderado	4,97 <sup>a</sup> ±1,18	5,52 <sup>a</sup>	2,72 <sup>b</sup> ±1,14	3,02 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup> ±0,22	0,25 <sup>a</sup>	0,10 <sup>ab</sup> ±0,31	0,1 <sup>ab</sup>	4,47 <sup>a</sup> ±0,83	4,95 <sup>a</sup>	6,83 <sup>b</sup> ±0,44	7,61 <sup>b</sup>
T3	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado	5,54 <sup>a</sup> ± 1,15	6,15 <sup>a</sup>	3,01 <sup>b</sup> ±1,12	3,44 <sup>b</sup>	0,24 <sup>a</sup> ±0,26	0,26 <sup>a</sup>	0,64 <sup>c</sup> ±0,64	0,71 <sup>c</sup>	4,23 <sup>a</sup> ±0,83	4,70 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup> ±0,44	6,84 <sup>a</sup>
T4	Sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso	5,5 <sup>a</sup> ±1,04	6,56 <sup>a</sup>	2,40 <sup>b</sup> ±1,07	3,0 <sup>b</sup>	0,28 <sup>a</sup> ±0,24	0,35 <sup>a</sup>	0,22 <sup>b</sup> ±0,57	0,31 <sup>b</sup>	6,74 <sup>c</sup> ±0,82	7,49 <sup>c</sup>	9,42 <sup>d</sup> ±0,44	10,47 <sup>d</sup>

<sup>a, b, c, d</sup> Medias en la misma columna con diferentes superíndices difieren significativamente para el nivel P < 0.05.

Media del número de animales ejecutando la actividad (error standard) y tiempo en horas (h).

**TABLA 12. COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR Y OTRAS ACTIVIDADES DE BÚFALOS DEPENDIENTES DEL SISTEMA DE PASTOREO Y LA ÉPOCA.**

Tratamiento	Definición	Decubito		En pie		Andar		Sombreo		Baño termorregulador		Comportamiento termorregulador	
		Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo(h)	Número de animales	Tiempo (h)	Número de animales	Tiempo (h)	Numero de animales	Tiempo(h)
T1	Sistema Convencional bajo estrés por calor intenso	2,49 <sup>a</sup> ±0,48	2,24 <sup>a</sup>	3,63 <sup>ab</sup> ±0,53	3,26 <sup>ab</sup>	4,75 <sup>a</sup> ±0,54	4,27 <sup>a</sup>	1,90 <sup>b</sup> ±1,02	1,71 <sup>b</sup>	2,62 <sup>c</sup> ±1,02	2,35 <sup>c</sup>	4,52 <sup>cd</sup> ±0,92	4,06 <sup>cd</sup>
T2	Sistema convencional bajo estrés térmico moderado	2,10 <sup>a</sup> ±0,46	1,89 <sup>a</sup>	3,41 <sup>a</sup> ±0,51	3,06 <sup>a</sup>	4,42 <sup>a</sup> ±0,5	3,97 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup> ±0,94	0,61 <sup>a</sup>	0,52 <sup>a</sup> ±0,94	0,46 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup> ±0,84	1,08 <sup>a</sup>
T3	Sistema Silvopastoril bajo estrés térmico moderado	2,26 <sup>a</sup> ±0,48	2,03 <sup>a</sup>	4,07 <sup>b</sup> ±0,5	3,66 <sup>b</sup>	4,77 <sup>a</sup> ±0,5	4,29 <sup>a</sup>	2,22 <sup>b</sup> ±1,01	1,99 <sup>b</sup>	0,77 <sup>ab</sup> ±1,01	0,69 <sup>ab</sup>	2,99 <sup>b</sup> ±0,80	2,91 <sup>b</sup>
T4	Sistema Silvopastoril bajo estrés termco intenso	2,27 <sup>a</sup> ±0,48	2,04 <sup>a</sup>	3,08 <sup>a</sup> ±0,52	2,77 <sup>a</sup>	4,44 <sup>a</sup> ±0,53	3,99 <sup>a</sup>	2,92 <sup>c</sup> ±1,10	2,62 <sup>c</sup>	1,32 <sup>b</sup> ±1,10	1,18 <sup>b</sup>	4,24 <sup>c</sup> ±0,97	3,81 <sup>c</sup>

<sup>a, b, c</sup> Medias en la misma columna con diferentes superíndices difieren significativamente para el nivel P < 0.05. Media del número de animales (error standard) y Tiempo(h) en horas.

Durante el período de estrés térmico intenso, hubo diferencias estadísticas significativas para la ingestión de las hojas de los árboles; esta actividad fue mayor en el SPS en comparación con el CVS ( $P < 0.05$ ), con 0,31 h contra 0,21 h dedicadas a esta actividad respectivamente. Durante el período de estrés térmico moderado, los animales dedicaron 0,71 h frente a 0,10 h para la ingestión de hojas de árboles en el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ) (Tabla 10). La ingestión de hojas en el CVS básicamente se ejecutó en la zona de baño termorregulador, ramoneando ocasionalmente *D. cinerea*.

El comportamiento alimentario mostró diferencias significativas en los dos niveles de estrés por calor (moderado e intenso) y los sistemas (SPS vs CVS) ( $P < 0.05$ ). En el SPS hubo un mayor tiempo dedicado al comportamiento alimentario durante el estrés térmico intenso (10,47 h) y fue menor en el SPS bajo el período de estrés térmico moderado (6,84 h) (Tabla 10).

Durante el período de estrés térmico moderado, el comportamiento de pastoreo+ramoneo no mostró diferencias estadísticamente significativas entre ambos sistemas, con una media de 4,82 h. Sin embargo, este comportamiento (pastoreo+ramoneo) fue significativamente diferente durante el período de estrés térmico intenso, con 7,49 h frente a 5,96 h, respectivamente en el SPS y el CVS ( $P < 0.05$ ) (Tabla 10).

#### **5.1.4. Comportamiento termorregulador y otras actividades.**

Durante el período de estrés térmico intenso, los animales gastaron 1,18h frente a 2,35 h en el baño termorregulador para los sistemas SPS y CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ). Además, durante esta temporada los animales se refugiaron a la sombra de los árboles durante 2,62h frente a las 1,71 h en el SPS y en el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ) (Tabla 11).

Refugiarse a la sombra de los árboles tuvo diferencias notables en los animales bajo estrés térmico moderado con 1,99h frente a 0,61 h para el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ) (Tabla 11).

La suma de baño termorregulador y el sombreado bajo las ramas de los árboles, considerada como comportamiento termorregulador, mostró diferencias significativas entre los sistemas dependiendo del nivel de estrés térmico.

En el periodo de estrés térmico moderado fue de 2,91 h frente a 1,08 h en el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ); mientras que, en el período de estrés térmico intenso, este comportamiento termorregulador fue de 4,06h frente a 3,81 h para el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ) (Tabla 11).

Se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas para acostarse y caminar en ambas condiciones de estrés térmico, pero las cifras eran más altas en el sistema CVS (Tabla 11).

Durante el período de estrés por calor moderado, los animales gastaron 3,66 h frente a 3,06 h de permanecer en pie para el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ); mientras que en el periodo de estrés por calor intenso emplearon 2,77 h frente a 3,26 h de permanencia en pie para el SPS y el CVS respectivamente ( $P < 0.05$ ) (Tabla 11).

#### **5.1.5. Correlaciones entre las variables de agrupación de comportamiento.**

El análisis de las correlaciones de Pearson entre las variables de agrupación mostró que los comportamientos de pastoreo y alimentario tienen una correlación significativa ( $r = 0,608$ ;  $P < 0.01$ ); mientras que el comportamiento alimentario y el comportamiento termorregulador mostraron una alta correlación ( $r = 0,83$ ;  $P < 0.01$ ).

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*



## **5.2. Experimento 2. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento termorregulador y alimentario en búfalos de agua bajo diferentes condiciones de estrés térmico.**

### **5.2.1. Descripción.**

En el primer experimento evaluamos el comportamiento alimentario y termorregulador en diferentes etapas de desarrollo de los búfalos de agua, que pastoreaban en cuartones de 0,34-0,54ha con un estrato herbáceo predominante de *Megatrysus maximus* cv likoni, mientras que el estrato arbóreo se sembró con *Leucaena leucocephala*. cv cunningham (900-950 árboles/ha) en los cuartones o parcelas con silvopastoreo (SPS).

### **5.2.2. Comportamiento termorregulador y alimentario en el sistema silvopastoril y el sistema convencional.**

El tiempo de baño termorregulador en el sistema convencional (CVS) en condiciones de estrés térmico intenso fue significativamente mayor en comparación con el tiempo de baño termorregulador en condiciones de estrés por calor moderado ( $P < 0.05$ ). En el sistema CVS, el tiempo de sombreado bajo estrés térmico intenso difirió significativamente del CVS en condiciones de estrés térmico moderado ( $P < 0.05$ ). El tiempo de pastoreo bajo estrés por calor intenso en el sistema CVS fue significativamente menor en comparación con el CVS en condiciones de estrés térmico moderado ( $P < 0.05$ ). El tiempo de rumia en el sistema CVS bajo estrés térmico intenso se redujo significativamente en comparación con el CVS bajo estrés térmico moderado ( $P < 0.05$ ). En condiciones de estrés térmico intenso y moderado en el sistema CVS, el tiempo de comportamiento termorregulador fue mayor que en el sistema SPS en condiciones de estrés térmico intenso y en condiciones de estrés moderado.

Sin embargo, para la ingestión de agua y el comportamiento alimentario, no hubo diferencias significativas en condiciones de estrés por calor intenso y moderado en el sistema CVS o convencional (Tabla 12).

El comportamiento de ramoneo en el sistema convencional no fue notable porque los animales sólo tuvieron contacto ocasional con algunas ramas de *D. cinerea*, por lo que este comportamiento no difirió en el sistema de pastoreo convencional en las dos condiciones de estrés térmico.

**TABLA 13. COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR Y ALIMENTARIO EN EL SISTEMA SIN ARBORIZACIÓN**

	T1		T2	
	Media (h)	DS*	Media (h)	DS*
Comportamiento termorregulador	3,94 <sup>c</sup>	6,01	1,14 <sup>a</sup>	3,36
Baño termorregulador	1,69 <sup>c</sup>	3,08	0,81 <sup>a</sup>	2,10
Sombreo	2,77 <sup>b</sup>	3,77	1,61 <sup>a</sup>	3,22
Comportamiento alimentario activo***	4,80 <sup>a</sup>	3,92	5,06 <sup>ab</sup>	3,71
Comportamiento alimentario	7,78 <sup>a</sup>	2,84	7,59 <sup>a</sup>	2,13
Pastoreo	5,28 <sup>a</sup>	3,63	6,12 <sup>c</sup>	3,18
Ramoneo	0,08 <sup>a</sup>	0,55	0,01 <sup>a</sup>	0,26
Rumia	3,05 <sup>b</sup>	3,55	3,70 <sup>c</sup>	3,67
Consumo de agua	0,33 <sup>b</sup>	1,13	0,32 <sup>b</sup>	1,08

<sup>a,b,c</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma columna difieren significativamente para  $P < 0.05$ .

T1: Sistema convencional bajo estrés térmico intenso; T2: Sistema convencional bajo estrés térmico moderado.

\* Desviación estándar.

\*\*\* Comportamiento alimentario activo.

### 5.2.3. Comportamiento termorregulador global bajo estrés térmico intenso.

El comportamiento termorregulador global, definido como la suma del tiempo dedicado al sombreado y el comportamiento de baño en el revolcadero, se midió en condiciones de estrés térmico moderado y estrés térmico intenso.

En condiciones de estrés térmico moderado, el tiempo de sombreado no mostró diferencias significativas entre el sistema silvopastoril o SPS y el sistema convencional. Sin embargo, bajo un estrés por calor intenso, se encontraron diferencias en el tiempo dedicado al sombreado. En concreto, en condiciones de estrés térmico intenso, el tiempo dedicado al sombreado en el SPS fue superior al del CVS ( $P < 0.05$ ) (Tabla 13).

**TABLA 14. TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO TERMORREGULADOR, AL BAÑO Y AL SOMBREO.**

Tratamiento	Comportamiento termorregulador			Baño termorregulador			Sombreo		
	Media (h)	DS*	EE**	Media (h)	DS*	EE**	Media (h)	DS*	EE**
T1	3,94 <sup>c</sup>	6,01	0,13	1,69 <sup>c</sup>	3,08	0,07	2,77 <sup>b</sup>	3,77	0,09
T2	1,14 <sup>a</sup>	3,36	0,10	0,81 <sup>a</sup>	2,10	0,09	1,61 <sup>a</sup>	3,22	0,14
T3	3,78 <sup>c</sup>	5,66	0,15	1,39 <sup>b</sup>	2,92	0,08	3,17 <sup>c</sup>	3,83	0,11
T4	1,83 <sup>b</sup>	4,02	0,11	0,71 <sup>a</sup>	1,96	0,06	1,90 <sup>a</sup>	3,34	0,11

<sup>a,b,c</sup> Media con diferentes superíndices en la misma columna difiere significativamente para  $P < 0.05$ .

T1: Sistema convencional bajo estrés térmico intenso; T2: Sistema convencional bajo estrés térmico moderado; T3: sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso, T4: sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado.

\* Desviación estándar.

\*\* error estándar.

En cuanto al comportamiento de baño, en condiciones de estrés térmico moderado, no se encontraron diferencias significativas entre los dos sistemas (Tabla 13). Sin embargo, en condiciones de estrés térmico intenso, el tiempo de

baño termorregulador en el sistema convencional fue significativamente mayor que en el SPS ( $P < 0.05$ ).

En general, el tiempo dedicado al comportamiento termorregulador bajo estrés térmico moderado fue mayor en el sistema silvopastoril en comparación con el convencional ( $P < 0.05$ ). Por el contrario, el comportamiento termorregulador de los animales en estos sistemas de pastoreo no difirió significativamente en condiciones de estrés térmico intenso. (Tabla 13).

#### 5.2.4. Comportamiento alimentario activo en el sistema silvopastoril y sistema convencional.

El sistema SPS influyó en el tiempo dedicado al pastoreo en las dos condiciones de estrés térmico. En condiciones de estrés térmico moderado, el tiempo que los animales pasaron pastando fue menor en el sistema SPS en comparación con el sistema CVS ( $P < 0.05$ ). Por el contrario, en condiciones de estrés térmico intenso, el tiempo de pastoreo fue más mayor en el sistema SPS ( $P < 0.05$ ) (Tabla 14).

**TABLA 15. TIEMPO DEDICADO AL COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO ACTIVO**

Tratamiento	Comportamiento alimentario activo*			Pastoreo			Ramoneo		
	Media (h)	DS**	EE***	Media (h)	DS**	EE***	Media (h)	DS**	EE***
T1	4,80 <sup>a</sup>	3,92	0,09	5,28 <sup>a</sup>	3,69	0,09	0,08 <sup>a</sup>	0,55	0,01
T2	5,06 <sup>ab</sup>	3,71	0,11	6,12 <sup>c</sup>	3,18	0,10	0,01 <sup>a</sup>	0,26	0,01
T3	5,64 <sup>c</sup>	4,05	0,1	5,60 <sup>b</sup>	3,63	0,10	0,39 <sup>b</sup>	1,04	0,03
T4	5,12 <sup>a</sup>	3,94	0,11	5,54 <sup>ab</sup>	3,48	0,10	0,47 <sup>b</sup>	1,37	0,04

<sup>a, b, c</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma columna difiere significativamente para  $P < 0.05$ .

\*Comportamiento alimentario activo es la suma de pastoreo y el ramoneo.

\*\*Desviación estándar.

\*\*\*Error estándar.

T1: Sistema convencional bajo estrés térmico intenso; T2: Sistema convencional bajo estrés térmico moderado; T3: Sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso, T4: Sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado.

La inclusión de árboles de *Leucaena* en el sistema SPS aumentó la actividad de ramoneo bajo estrés térmico moderado y estrés térmico intenso en comparación con el sistema convencional donde el tiempo dedicado a esta actividad fue marginal ( $P < 0.05$ ) (Tabla 14).

El comportamiento de alimentación activa se considera como la suma del tiempo dedicado al pastoreo y el ramoneo. Bajo un estrés térmico intenso, los animales del sistema SPS mostraron diferencias significativas en el comportamiento de alimentación activo en comparación con el CVS ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, en condiciones de estrés térmico moderado, no se encontraron diferencias entre ambos sistemas (Tabla 14).

En condiciones de estrés térmico moderado, la ingesta de agua en el SPS difirió del CVS ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, en condiciones de estrés térmico intenso, no se encontraron diferencias entre ambos sistemas (Tabla 15).

**TABLA 16. TIEMPO DEDICADO A LOS DIFERENTES TIPOS DE COMPORTAMIENTO ALIMENTARIO.**

Tratamiento	Comportamiento alimentario***			Rumia			Consumo de agua		
	Media (h)	DS*	EE**	Media (h)	DS*	EE**	Media (h)	DS*	EE**
T1	7,78 <sup>a</sup>	2,84	0,06	3,05 <sup>b</sup>	3,55	0,08	0,33 <sup>b</sup>	1,13	0,02
T2	7,59 <sup>a</sup>	2,13	0,06	3,70 <sup>c</sup>	3,67	0,14	0,32 <sup>b</sup>	1,08	0,04
T3	8,22 <sup>c</sup>	2,33	0,06	2,58 <sup>a</sup>	3,58	0,10	0,38 <sup>b</sup>	1,18	0,03
T4	7,84 <sup>b</sup>	2,25	0,06	3,31 <sup>b</sup>	3,74	0,12	0,20 <sup>a</sup>	0,87	0,03

<sup>a, b, c</sup> Medias con diferentes superíndices en la misma columna difiere significativamente para  $P < 0.05$ .

T1: Sistema convencional bajo estrés térmico intenso; T2: Sistema convencional bajo estrés térmico moderado; T3: sistema silvopastoril bajo estrés térmico intenso, T4: sistema silvopastoril bajo estrés térmico moderado.

\*Desviación estándar.

\*\* Error estándar.

\*\*\*El comportamiento alimentario es la suma del comportamiento de pastoreo, la rumia y la ingestión de agua.

El comportamiento alimentario global, mostró diferencias significativas bajo el estrés térmico intenso entre ambos sistemas. Los valores encontrados en el comportamiento alimentario activo en condiciones de estrés térmico moderado, también difieren significativamente ( $P < 0.05$ ) entre ambos sistemas (Tabla 15).

#### **5.2.5. Comportamiento de rumia bajo estrés térmico.**

El tiempo dedicado a la rumia en el sistema silvopastoril en condiciones de estrés térmico intenso fue significativamente diferente del tiempo en el sistema convencional ( $P < 0.05$ ) (Tabla 15).

### **5.3. Experimento 3. Selectividad de árboles leguminosos por búfalos de agua en un sistema semintensivo.**

#### **5.3.1. Descripción.**

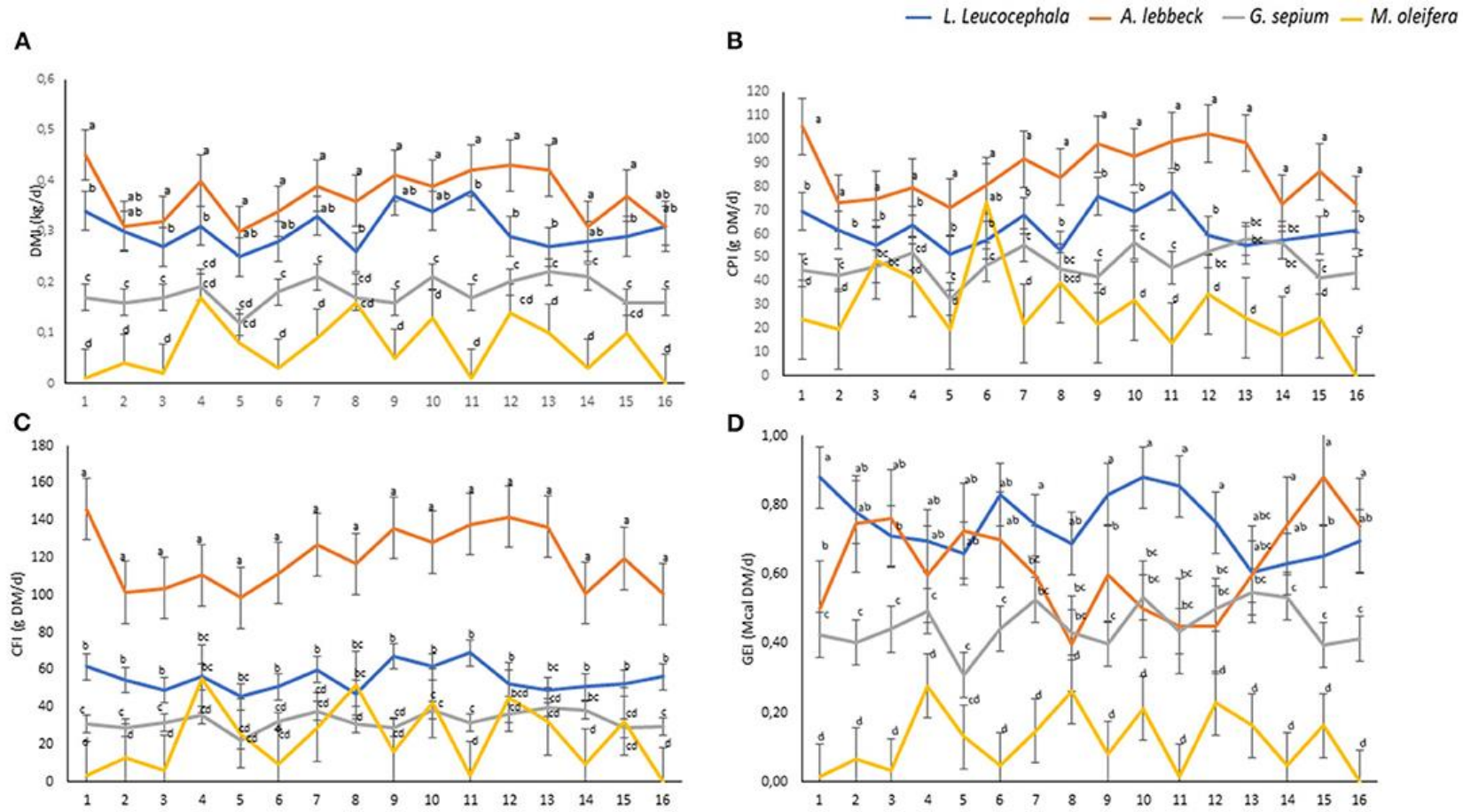
Este experimento, se realizó bajo condiciones de estabulación la comparación de cuatro recursos arbóreos frente a búfalos de agua en crecimiento, con el objetivo de determinar la apetencia generada por 4 especies de árboles (*L. leucocephala* cv Cunningham; *A. lebbeck*, *G. sepium* y *M. oleifera*).

Los resultados encontrados, sugieren que *A. lebbeck* y *L. leucocephala* son las especies más apetecidas por los animales y en consecuencia las especies más promisorias para la suplementación de los búfalos y su inclusión en forma de sistemas silvopastoriles, al tiempo que se demostró los aportes máximos de *Albizia lebbeck* en DM, FB y EB, así como un consumo y aporte menos favorable por *G. sepium* y *M. oleifera*.

#### **5.3.2. Preferencia de los búfalos ante las hojas de árboles leguminosos.**

Hubo una variación diaria en el consumo de los cuatro tipos de hojas estudiadas (Figura 9A, Figura 10A). Las hojas de *A. lebbeck* (0,34 kg DM/día) y *L. leucocephala* (0,30 kg DM/día) fueron las más consumidas respectivamente, mientras que las hojas de *M. oleifera* (0,11 kg DM/día) y *G. sepium* (0,10 kg DM/día) fueron las menos consumidas (Figura 9A, Figura 10A). Cada animal consumía 0,85 kg de DM de hojas al día. El consumo de *A. lebbeck* y *L. leucocephala* siempre fue mayor, pero se observó que esta cantidad se redujo cuando los búfalos consumían mayores cantidades de *G. sepium* y *M. oleifera*.

FIGURA 9. CONSUMO DE LAS HOJAS DE LOS ÁRBOLES Y DISTRIBUCIÓN DE ESTE A LO LARGO DE LOS DÍAS.



(<sup>a,b,c,d</sup>) different superscripts in the same days and line different, differ significantly ( $P < 0.01$ ).

Materia seca (A), proteína bruta (B), energía bruta (C) y fibra bruta (D).



### 5.3.3. Contribución nutricional de las hojas de los árboles leguminosos a la dieta.

El análisis de la composición química reveló diferencias entre las especies forrajeras evaluadas (Tabla 16).

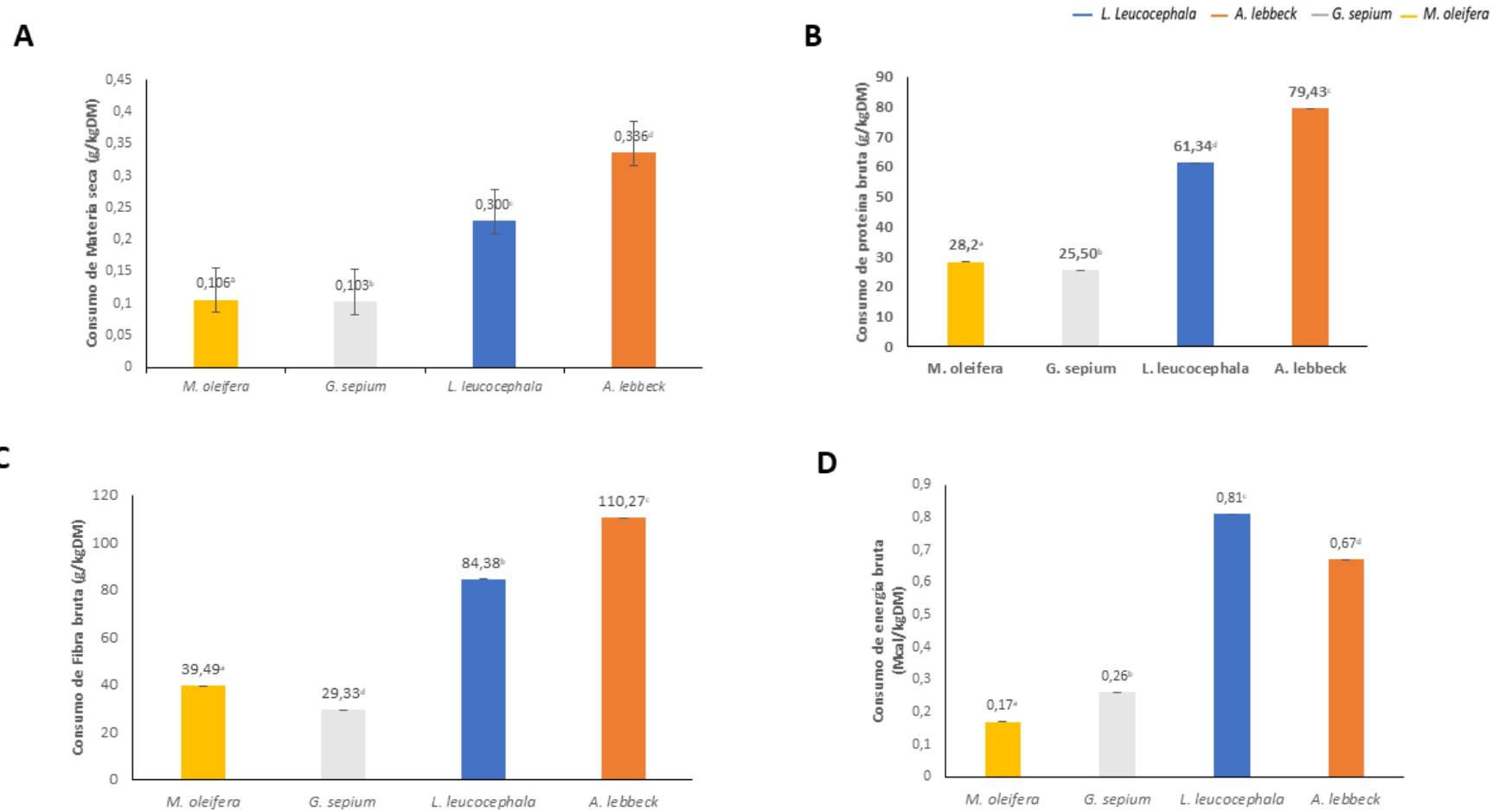
El contenido de DM fue menor en *M. oleifera* y *G. sepium*. En particular, *M. oleifera* mostró los valores de EB más bajos. *L. leucocephala* y *M. oleifera* fueron respectivamente las especies con menor y mayor contenido de PB. El contenido de FB fue menor en *G. sepium* y *L. leucocephala*, pero fue más alto en *M. oleifera* y *A. lebbeck* (Tabla 16).

**TABLA 17. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS INGREDIENTES DE LA DIETA.**

	Composición química de la dieta*					
	DM %	PB (g/kg DM)	FB (g/kg DM)	EB (Mcal/kg DM)	Ca (g/kg DM)	P (g/kg DM)
Caña de azúcar troceada (3mm) <i>S. officinarum</i>	26	28	240	2,19	0,6	0,1
Concentrado comercial	88	110	430	2,55	1,7	0,2
<i>M. maximus</i>	23	80	180	1,81	1,2	0,1
<i>L. leucocephala</i>	26,02	205	282	2,25	2,3	2,5
<i>A. lebbeck</i>	32,68	236	327,6	2,41	0,88	1,49
<i>G. sepium</i>	28,79	246	283	2,53	1,7	2,1
<i>M. oleifera</i>	28,7	265,6	324,8	1,63	0,44	2,59

\*Materia seca (DM, proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), energía bruta (EB), Calcio (Ca), y Fósforo (P).

FIGURA 10. CONSUMO DE CADA TIPO DE HOJA Y CONTRIBUCIÓN EN MATERIA SECA (A), PROTEÍNA BRUTA (B), FIBRA BRUTA (C) Y ENERGÍA BRUTA(D) ( $P < 0.01$ ).



(<sup>a,b,c,d</sup>) columnas con diferentes superíndices difieren significativamente ( $P < 0.01$ ).

La contribución de cada una de las especies en términos de ingesta de alimento fresco fue diferente (Tabla 16 y Figuras 10A, 10B, 10C y 10D). De las hojas consumidas, el contenido de DM difirió entre las cuatro especies de árboles durante el período evaluado (Figura 10A).

La ingesta de PB fue más alta en *A. lebbeck* y *L. leucocephala* seguidas de *M. oleifera* y *G. sepium* ( $P < 0.01$ ) (Figuras 9B y 10B). La ingesta de fibra cruda fue diferente entre los tratamientos. *A. lebbeck* tenía el mayor contenido de FB seguido de *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *G. sepium* respectivamente ( $P < 0.01$ ) (Figuras 9C y 10C). Sin embargo, el consumo de EB fue mayor en *L. leucocephala* seguido de *A. lebbeck*, *G. sepium* y *M. oleifera* respectivamente (Figuras 9D y 10D) ( $P < 0.01$ ). No se encontraron diferencias en el consumo de Ca, P y materia orgánica presentes en los cuatro tipos de hojas.

El consumo general de hojas frescas de las leguminosas estudiadas fue de 2,91 kg/día y representó un consumo diario de 0,85 kg DM (Tabla 17). El consumo diario por animal debido a las hojas de 194,48 g PB, 258.48 g FB y 1.92 Mcal EB.

El consumo total de DM (hojas de leguminosas + *M. máximus* + *S. officinarum* + pienso comercial) fue equivalente a 10,62 Kg DM/animal y día correspondiente al 2,83 % del BW, el de PB de 936,45 g/animal y día, el de FB de 2160,99 g/animal y día, el de EB de 20.15 Mcal /animal y día, el de Ca de 12,86 g /animal y día, y el de P de 2,76 g/animal y día (Tabla 17).

La ingestión de DM entre *L. leucocephala* y *A. lebbeck* mostró una correlación positiva ( $r = 0,54$ ,  $P < 0.01$ ), al igual que el consumo de DM de *G. sepium* y *M. oleifera* ( $r = 0,26$ ;  $P < 0.01$ ) y el de *A. lebbeck* y *G. sepium* ( $r = 0,32$ ;  $P < 0.01$ ); mientras que la correlación del consumo de DM entre *L. leucocephala* y *M. oleifera* fue negativa ( $r = -0,28$ ;  $P < 0.01$ ). La correlación entre la ingestión MS de las hojas de leguminosas más preferidas y las menos preferidas (*L. leucocephala* + *A. lebbeck* vs *G. sepium* + *M. oleifera*) fue negativa ( $r = -0,43$ ;  $P < 0.01$ ).

**TABLA 18 PRINCIPALES NUTRIENTES Y COMPOSICIÓN DE LA DIETA.**

Consumo de nutrientes de la dieta por animal y día *							
Ingredientes	Cantidad (kg)	Materia seca (kg)	Proteína bruta (g)	Fibra bruta (g)	Energía bruta (Mcal)	Ca (g)	P (g)
Caña troceada (3mm) <i>S. officinarum</i>	2,00	0,52	14,56	124,80	1,14	0,31	0,05
Pienso comercial	0,50	0,44	48,40	189,20	1,12	0,75	0,09
<i>M. Maximus</i>	38,37	8,83	706,01	1588,52	15,97	10,59	0,88
SUBTOTAL		9,79	768,97	1902,52	18,23	11,65	1,02
%		92,05	79,81	88,04	90,47	90,61	36,98
<i>L. leucocephala</i>	1,15	0,30	61,34	84,38	0,67	0,69	0,75
<i>A. lebbeck</i>	1,03	0,34	79,44	110,27	0,81	0,30	0,50
<i>G. sepium</i>	0,36	0,10	25,50	29,33	0,26	0,18	0,22
<i>M. oleifera</i>	0,37	0,11	28,20	34,49	0,17	0,05	0,28
SUBTOTAL		0,85	194,48	258,48	1,92	1,21	1,74
%		7,95	20,19	11,96	9,53	9,39	63,02
TOTAL	43,78	10,63	963,45	2160,99	20,15	12,86	2,76

## **5.4. Experimento 4 Comportamiento productivo y alimentario de búfalos de agua y bovinos Cebú en un sistema silvopastoril.**

### **5.4.1. Descripción.**

En este experimento se compararon la conducta etológica y el comportamiento productivo de bovinos y búfalos en etapa de crecimiento y ceba bajo silvopastoreo racional de *L. leucocephala* y *Megatryrus Maximus* y se demostró la superioridad de los búfalos frente a los bovinos en cuanto a los indicadores de ganancia media diaria, peso vivo final y el comportamiento etológico bajo un sistema silvopastoril sin agua para revolcarse.

Los animales (búfalos y bovinos en etapa crecimiento-Ceba) pastorearon todos juntos en un sistema silvopastoril de 11 ha, con una densidad de 555 árboles/ha. El área estaba dividida en ocho cuartones, lo que permitió 4,5 rotaciones, con tiempos de reposo de 40 días para cada cuartón. La carga en el sistema al inicio fue de 1,24 UGM/ha, mientras que al finalizar el experimento (180 días) fue de 1,78 UGM.

El rendimiento promedio del pasto fue de 4 325,0 kg de MS/ha/rotación, con un contenido de PB en la biomasa comestible de 11,5 %. Para *L. leucocephala* no se estimó el rendimiento, ya que los árboles tenían más de 2,5 m de altura (no se podaron) y los animales no pudieron hacer uso de su follaje a través del ramoneo. Todos los animales pastorearon desde las 6:00 a.m. hasta las 8:00 p.m. y se confinaron en una corraleta durante la noche, para su protección. Durante el día la corraleta permanecía abierta y disponía de cuatro bebederos circulares, expuestos al sol deliberadamente para reducir la permanencia de los animales alrededor de ellos y evitar la competencia por el agua entre las dos especies.

El rebaño tenía acceso exclusivamente a la sombra, no había zonas de revolcaderos para ninguna de las dos especies.

#### 5.4.2. Es posible producir búfalos de agua bajo silvopastoreo racional sin agua para revolcarse.

En la tabla 18 se muestra la ganancia de peso vivo de los dos grupos de animales; los búfalos aventajaron en 0,174 kg/día a los vacunos. Esto originó que el BW final también fue mayor en los búfalos ( $P \leq 0.05$ ), que terminaron con más de 30 kg por encima de los toros.

**TABLA 19. INDICADORES PRODUCTIVOS DE BÚFALOS Y BOVINOS BAJO CONDICIONES DE SISTEMA SILVOPASTORIL (KG).**

Indicador	Búfalos	Toros	SE±
Peso Vivo Inicial	280,5	291,0	2,18*
Peso Vivo Final	425,3	394,0	6,50**
Ganancia media diaria	0,775	0,601	22,32**

¥ Ajuste del análisis de covarianza para el peso vivo inicial de 285,6 kg \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

La GMD (0,6 kg/día) de los vacunos del presente experimento se corresponde con la indicada en las investigaciones realizadas en los últimos años por diversas instituciones cubanas con sistemas silvopastoriles. En el caso de los búfalos fue superior a 0.7 kg/día.

Fue significativo el aporte a estos resultados de la hierba guinea que, al ser una especie tolerante a la sombra, pudo mantener su composición botánica dentro del sistema en más de un 80 %, con aceptable disponibilidad de DM para los animales y niveles de PB superiores al 11 %.

#### 5.4.3. Diferencias de comportamiento de búfalos y bovinos bajo un sistema silvopastoril.

Con respecto a la conducta se observó que los búfalos dedicaron la mayor parte del tiempo diurno a la ingestión de pastos y a la rumia, mientras que el resto del tiempo lo emplearon, fundamentalmente, al descanso y a otras actividades, como el desplazamiento y el consumo de agua (Tabla 19).

**TABLA 20. TIEMPO DEDICADO A LAS DIFERENTES ACTIVIDADES BAJO CONDICIONES DE SILVOPASTOREO (%).**

Actividad	Especie		SE $\pm$
	Búfalos	Toros	
Ingestión	53,42	59,6	0,75*
Rumia	29,64	24,75	1,08*
descanso y otras	13,78	14,28	0,68
Consumo de agua	3,14	1,37	0,07*

\*P < 0.05.

Los toros cebú tuvieron un comportamiento similar, aunque estos dedicaron más tiempo a la actividad de ingestión de pastos y menos a la rumia, lo que sugiere que esta última actividad se haya desplazado hacia el horario nocturno, cuando ya se encontraban en la corraleta habilitada para su resguardo, como un mecanismo de ajuste a las condiciones de pastoreo restringido de la investigación.

En sentido general, las dos especies lo dedicaron más del 85 % del tiempo diurno a las actividades más importantes para su fisiología y metabolismo: la ingestión de alimentos, la rumia y el consumo de agua.

Los búfalos dedicaron menos tiempo a la ingestión de pastos que los vacunos (P < 0.05) y esto podría estar relacionado con las características anatómicas y fisiológicas de estos animales, que les permiten consumir una mayor cantidad de alimento por unidad de tiempo en comparación con los vacunos.

Sin embargo, el tiempo destinado a la rumia fue superior en los bufalinos, a pesar de que, supuestamente, consumieron menor cantidad de pastos.

En esta investigación no existían revolcaderos o baños y los bebederos situados en la corraleta estaban expuestos al sol deliberadamente, por lo que los búfalos se acercaban a ellos de forma instintiva, sumergían la cabeza durante un rato y regresaban al pastoreo. Este comportamiento influyó en los resultados, por lo que hubo diferencias en el indicador consumo de agua entre las dos especies a favor de los búfalos (3,14 vs. 1,37 %).

En la tabla 20 se muestran las actividades en función de las horas dedicadas a cada una de ellas.

**TABLA 21. COMPORTAMIENTO DE LOS BÚFALOS Y LOS TOROS SEGÚN EL TIEMPO (HORAS) DEDICADO Y EL PORCENTAJE DE CADA ACTIVIDAD.**

Actividad Etológica (No. de horas/actividad)						
Especie	Ingestión	Rumia	Descanso y otras	Consumo de agua	SE ±	Significación
Búfalos	7,5 <sup>a</sup> (53,4)	4,1 <sup>b</sup> (29,6)	1,9 <sup>c</sup> (13,8)	0,4 <sup>d</sup> (3,1)	0,105	***
Toros	8,3 <sup>a</sup> (59,6)	3,5 <sup>b</sup> (24,8)	2,0 <sup>c</sup> (14,3)	0,2 <sup>d</sup> (1,4)	0,109	***

\*\*\* P < 0.05. Medias en la misma fila con letras diferentes indican diferencias significativas (<sup>a, b, c</sup>) Los valores entre paréntesis significan porcentajes del tiempo total dedicado a cada actividad. \*\*\* P < 0.001.

Se observaron diferencias altamente significativas para las diferentes actividades de los animales; dedicando ambas más de siete horas a la ingestión de alimentos en pastoreo.

Los valores más altos de la rumia para ambas especies se manifestaron entre las 11:00 a.m. y las 3:00 p.m., coincidiendo con las horas del mediodía, en las cuales la radiación solar es más intensa; mientras que la actividad de pastoreo fue mayor en las tres primeras horas de la mañana y después de las 3:00 p.m., antes de ser confinados en la corraleta.



## DISCUSIÓN

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## **6. Discusión.**

### ***6.1. Experimento 1. En las búfalas jóvenes, ¿qué ocurre con las necesidades termorreguladoras y alimentarias en silvopastoreo bajo condiciones de estrés térmico intenso y estrés térmico moderado?.***

La estación seca en Cuba coincide con temperaturas moderadas, lo cual es favorable para el bienestar animal; sin embargo, la época lluviosa con temperaturas más altas tendría un efecto negativo en el bienestar animal (López-Vigoa et al., 2019; Ku-Vera et al., 2013; Murgueito et al., 2016; Galloso-Hernández et al., 2020). La época lluviosa, es el período del año en el que los animales desarrollan un estrés por calor más intenso y como consecuencia los búfalos pasan más tiempo en la zona de baño en este período del año.

Independientemente de la comodidad esperada en el SPS, los animales estaban motivados para entrar en el agua para bañarse; aunque es importante considerar que los animales también tenían sombra disponible en el área baño, con árboles alrededor de la charca.

Frisch y Vercoe (1979) indicaron que esta especie tiene sólo una sexta parte del número de glándulas sudoríparas que los cebúes (*Bos indicus*) y está escasamente cubierta de pelos. Además, su piel oscura, su epidermis gruesa también dificultan que estos animales resistan las altas temperaturas y un ambiente seco (Khongdee et al., 2012). Por tanto, los búfalos tienden a sufrir estrés por calor cuando están expuestos a la radiación solar (Frisch y Vercoe, 1979) y buscan agua para la inmersión de su cuerpo, para evitar esta condición ambiental estresante (Borghese et al., 2007). Además, es importante considerar que esta especie está bien adaptada a pantanos y áreas sujetas a inundaciones (Ariadna et al., 2020).

Aunque una de las limitaciones de este estudio pudiera ser el número reducido de animales utilizados, esto ayudó a mejorar la eficacia de los registros de

comportamiento pues se redujeron los comportamientos agonísticos por competencia (Martyn y Bateson, 2007).

Las diferencias en el tiempo bajo la sombra de los árboles en la época de estrés térmico moderado entre el SPS y el CVS se explican porque durante esta temporada los potreros tenían menor disponibilidad de pastos y este era más seco, especialmente en el sistema CVS. Por tanto, en el SPS los animales trataron de satisfacer su necesidad de ingestión de forrajes bajo la sombra de los árboles.

La relación de comportamiento establecida (animales, baño termorregulador y sombreo) es más compleja de lo que simplemente se observa cuando sólo se considera el baño termorregulador para expresar la liberación del exceso de calor en estos animales. Mientras que revolcarse les permite enfriarse con agua o barro, esto no puede considerarse como suficiente para el bienestar animal, porque la radiación en la cabeza y la columna vertebral no se evita. Sería interesante tener datos sobre cómo la radiación influye en la temperatura en diferentes áreas del cuerpo; como los que se obtuvieron por termografía infrarroja donde los cambios microvasculares en la cabeza fueron estudiados previamente, particularmente en el área de las órbitas oculares y en los músculos de la columna vertebral, escroto o glándula mamaria (Mota-Rojas et al., 2021; Ariadna et al., 2020), dentro y fuera del agua, con o sin sombra de los árboles (Gu et al., 2016).

Cuando los búfalos se ven más afectados por los factores estresantes, (radiación solar, estrés por calor y exceso de temperaturas) (Barros et al., 2016; Carina et al., 2012), prefieren comer a la sombra de los árboles (Espinosa et al., 2020; Galloso-Hernández et al., 2018). Este comportamiento también ha sido descrito en otras especies; por ejemplo, en el ganado vacuno de los trópicos, donde el tiempo de permanencia bajo la sombra se ha correlacionado positivamente con la temperatura radiante media y la radiación solar (Moraes et al., 2010).

Las diferencias estadísticas encontradas (comportamiento termorregulador, baño y ramoneo), particularmente en el SPS durante la temporada de estrés térmico

intenso, también han sido indicadas por otros autores para el pastoreo de búfalos en sistemas silvopastoriles (Iglesias-Gómez et al., 2019; Brcko et al., 2020).

Las diferencias en el comportamiento de sombreado durante la temporada de estrés térmico intenso probablemente están influenciadas por los bajos valores nutricionales de los pastos en el CVS (Milera et al., 2014; Gu et al., 2016); lo que obliga a los animales a regresar antes al potrero con el fin de satisfacer sus necesidades nutricionales.

Resultados similares para el comportamiento termorregulador a favor del silvopastoreo, fueron mostrados por Yadav et al. (2016) al comparar la influencia de diferentes métodos de enfriamiento en la productividad, y los perfiles metabólicos y sanguíneos; estos autores encontraron que la nebulización o el baño termorregulador favorecen los indicadores sanguíneos. En períodos de mayor estrés térmico, el ambiente silvopastoril reduce la temperatura en 1,5 °C en comparación con potreros bajo la radiación solar directa (Silva et al., 2011). Otros métodos de refrescamiento (aspersión y sombra artificial) han sido indicados por Barros et al. (2016) y Sevegnani et al. (2016) con el uso de termografía infrarroja, con la que demostraron que la temperatura corporal del búfalo se reduce en alrededor de 2°C.

Un elemento a tener en cuenta en las granjas de búfalos en el trópico es que los árboles proporcionan un mejor ambiente y aseguran más bienestar de los animales. Los árboles proporcionan una estabilidad higrotérmica en la finca (Silva et al., 2011) y estabilidad alimentaria (Simón y Galloso, 2008) y deben considerarse como alternativas de manejo importantes para el bienestar de la especie (Simón y Galloso, 2011).

El mayor tiempo dedicado al comportamiento alimentario en el SPS fue atribuido a los valores de sombra filtrable, que es el nivel sombra que proyectan los árboles, después de impedir el paso de los rayos solares de manera directa sobre el pastizal. Como consecuencia de las características de las copas de los árboles, la

posición de las hojas, la densidad de hojas y la distribución y tipo de hojas, dejan pasar a través de los espacios que existen entre ellas, como encontraron Penton y Blanco (1997); que observaron que algunos árboles como *L. leucocephala* y otras especies de leguminosas ofrecen una radiación filtrable en sistemas silvopastoriles en los trópicos, y encontraron entre un 10% y un 30% más de producción de DM forrajera en los sistemas silvopastoriles en comparación con los sistemas de monocultivo de herbáceas.

Se sabe que los sistemas silvopastoriles (pastos, árboles y animales) contribuyen a mejorar el estado del pasto (mayor valor nutritivo) y el bienestar animal (López-Vigoa et al., 2019; Milera, 2014; Yadav et al., 2016; Simón et al., 2012); esto también fue demostrado en otras latitudes, especies de pastos y sistemas agroforestales (Milera et al., 2016), por ejemplo, estas consideraciones también se han hecho en la Península Ibérica con la dehesa (Hovi et al., 2003).

El tiempo dedicado a ingerir hojas de árboles siempre fue mayor en el SPS, lo cual es bastante obvio; aunque el consumo de las ramas de los árboles también fue posible cuando los animales estaban en la zona baño en ambos sistemas. Esto significa que se requirió un esfuerzo adicional para ramonear este recurso en el CVS, porque en este sistema el forraje arbóreo sólo estaba disponible en el área de baño sombreada con *D. cinerea*.

Además, estas observaciones confirman la importancia de alimentar con ramones o forrajes de árboles a los rumiantes como complemento nutricional de la ración. Se sabe que la ingestión de las hojas de los árboles favorece la absorción de nitrógeno, y esto podría ser la causa del aumento de su consumo, ayudando a la microflora ruminal (Wanapat y Phesatcha, 2016). Por lo tanto, es importante considerar el papel de los árboles en el aumento del suministro de nitrógeno en la dieta en momentos en que los pastos no satisfacen los requerimientos de los animales (Joele et al., 2013). Diferentes autores (López-Vigoa et al., 2019; Ku-Vera et al., 2013; Yadav et al., 2016) han indicado que los sistemas silvopastoriles tienen

una alta disponibilidad de biomasa comestible (superior a 30 toneladas DM/ha y año), de los cuales los pastos representan el 75-90% de la ingesta de dieta fresca y el follaje de los árboles representa el 10-25% del forraje fresco, permitiendo que gracias a este los animales mejoren su rendimiento.

En el apartado de material y métodos ya se ha indicado la composición de *L. leucocephala* y *D. cinerea*, que pueden fluctuar dependiendo de las condiciones climáticas, tipo de suelo, y régimen de manejo y riego.

La suma de las actividades incluidas en el comportamiento de pastoreo (consumo de pasto e ingestión de hojas de árboles) mostró una correlación significativa con la suma de actividades incluidas en el comportamiento alimentario (pastoreo, rumia, ingestión de hojas de los árboles y la ingesta de agua). Además, el comportamiento de la termorregulación (baño termorregulador y búsqueda de refugio bajo la sombra de los árboles) mostró una correlación interesante y corrobora lo importante que son las actividades de termorregulación en estas condiciones de estrés térmico intenso.

Por lo tanto, la sombra de los árboles es necesaria porque simplemente las áreas de baño no son suficientes. Por lo tanto, estos animales necesitan sombra de árboles para complementar sus necesidades de refrescamiento.

En el CVS, el tiempo más largo que pasaron bañándose en condiciones de estrés térmico intenso, fue de 2,35 h, y el tiempo en el que permanecieron bajo la sombra de los árboles de *D. cinerea* en la zona baño termorregulador, fue de 1,71 h; lo que refleja la mayor necesidad de refrescamiento en esta temporada.

En el SPS durante la temporada de estrés térmico intenso, la mayor combinación de baño termorregulador y sombreado, 1.18h y 2.62 h, equivalente a 3.81h de comportamiento termorregulador, sugiere que los animales pasan más tiempo a la sombra de los árboles consumiendo pastos y ramoneando cómodamente. Sin

embargo, el baño termorregulador no parece ser tan importante bajo la condición de estrés térmico moderado.

Obviamente, hubo más permanencia bajo la sombra de los árboles cuando los animales estaban en el SPS. Parte de este tiempo bajo los árboles fue con el objetivo de ramonear sus hojas.

Como consecuencia de un menor tiempo bajo la sombra de *D. cinerea* en el CVS y un incremento del comportamiento de baño termorregulador, el comportamiento de los animales sugiere que estos reemplazaron las actividades de refrescamiento para consumir alimento en el potrero del sistema convencional.

Durante el período diurno, el pastoreo se reduce por la influencia de factores estresantes, como la alta temperatura, y modifica algunos indicadores metabólicos como las hormonas tiroideas, la FR y la TR relacionadas con el bienestar animal (Pérez et al., 1997; Silva et al., 2011). A este respecto, el índice de consumo más alto en el SPS en ambas condiciones de estrés puede considerarse una prueba de que el tiempo de pastoreo aumenta cuando los animales están menos estresados (Pérez et al., 1997).

La reducción de la rumia en condiciones de estrés térmico intenso puede atribuirse a la mejor calidad en la dieta (Milera et al., 2014), a pesar de una mayor disponibilidad de forraje. Además, en el período de estrés por calor intenso el tiempo de rumia aumentó en el SPS, en contraste con el CVS.

En el SPS, es posible que un aumento en el tiempo de baño durante la temporada de estrés por calor intenso contribuya a una reducción de las actividades de forrajeo por la tarde.

En resumen, estos resultados (tiempo dedicado a revolcarse, mayor tiempo de pastoreo y de comportamiento termorregulador en el SPS) pueden explicar el papel desempeñado por los árboles distribuidos en los potreros y pueden ser la



explicación de los mejores resultados productivos encontrados por algunos investigadores en los trópicos para los bovinos (López-Vigoa et al., 2019; Ku-Vera et al., 2013; Simón et al., 2012) y los búfalos machos (Iglesias-Gómez et al., 2019).

Estos elementos pueden ser particularmente importantes para entender por qué las búfalas novillas mantienen sus hábitos de baño termorregulador independientemente de la provisión de sombra natural; por lo que, como algunos autores sugieren (Carina et al., 2012; Simón y Galloso 2011), se debe prestar más atención a la sombra para mejorar el bienestar y el rendimiento de los animales.

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

### ***6.1. Experimento 2. ¿Es posible reducir el uso de revolcaderos o baños en búfalos de agua en los sistemas silvopastorales en condiciones de estrés térmico intenso y moderado?.***

El mayor tiempo dedicado a revolcarse y sombreadarse en el sistema convencional en condiciones de estrés térmico intenso sugiere un aumento de las necesidades de termorregulación (Marai y Haebe, 2010). Anteriormente, mediante mediciones de termografía infrarroja, se describió en Brasil que los factores climáticos extremos ( $THI > 80$ ) afectan a los búfalos en forma de estrés por calor (Barros et al., 2016; Sevegnani et al., 2016). Otros estudios en la India (Choudhary y Sirohi, 2019) y Tailandia (Khongdee et al., 2011) también reflejan estas necesidades de termorregulación de los búfalos. Es posible que el aumento de las necesidades de termorregulación reflejado en los diferentes tiempos de baño termorregulador y sombreado, se deba a la estacionalidad del rendimiento reproductivo y productivo de esta especie (Dash et al., 2015; Upadhyay et al., 2007; Da Silva et al., 2014; Yadav et al., 2016), como consecuencia del efecto de la estacionalidad climática existente en Cuba y por extensión en los trópicos (Simón y Galloso, 2011). La disminución del comportamiento termorregulador se asoció con una disminución en el comportamiento de alimentación, que podría estar relacionada con el estrés por calor al que fueron sometidos los animales. Estudios previos han demostrado que, en el estrés por calor intenso, los tiempos dedicados al comportamiento de pastoreo y la rumia disminuyen como resultado de esta incomodidad en el ganado (Giro et al., 2019).

En el sistema convencional, el estrés por calor intenso dio lugar a tiempos de pastoreo más cortos a pesar de la mayor disponibilidad de pastos (Milera et al., 2014; Milera et al., 2016; Iraola et al., 2013). Esto es relevante porque sugiere que, bajo condiciones de estrés por calor intenso, tanto en búfalos como en el ganado

bovino, las necesidades de alimentación son tan importantes como las necesidades de protección frente al calor (Alvarez et al., 2009).

El presente estudio revela que el sistema silvopastoril disminuye el tiempo dedicado al comportamiento de baño termorregulador bajo un estrés térmico intenso. Esto sugiere que este sistema disminuye el estrés por calor en los animales y mejora su bienestar. Estudios anteriores en Cuba atribuyeron estos beneficios al microclima generado por el silvopastoreo al mitigar el estrés por calor (Simón et al., 2012; Milera et al., 2016; Iglesias et al., 2019); lo que se confirma en el presente estudio, cuando se observa que la disminución del baño termorregulador se asocia con un aumento significativo en el tiempo dedicado al sombreado.

Estos resultados de un alto comportamiento de alimentación activa y un menor comportamiento de alimentación pasiva en el SPS en condiciones de estrés térmico podrían atribuirse a la presencia de sombra natural (Penton y Blanco, 1997; Penton, 2000). *L. leucocephala* y otras especies de árboles proporcionan sombra. Además, el sistema silvopastoril contribuye a un aumento del 10 al 30% de la producción de DM en forma de hierba (Simón et al., 2012). La mejora de la alimentación y el comportamiento termorregulador bajo silvopastoreo con su influencia en el bienestar animal ya han sido indicados por otros autores (Tucker et al., 2008; Castro et al., 2008; Silva et al., 2011; Simón y Galloso 2008; Simón y Galloso, 2011; Da Silva et al., 2014; Giro et al., 2019 e Iglesias et al., 2019).

Por otra parte, la disminución de la rumia observada en el sistema silvopastoril podría atribuirse al aumento en el suministro de nitrógeno de los árboles, que aumenta la actividad microbiana ruminal (Delgado et al., 2012; Milera, 2013; Barros-Rodríguez et al., 2013; Molina-Botero et al., 2019).

Es posible que, en situaciones de estrés térmico intenso en condiciones silvopastoriles, la sensación de estrés térmico no esté siendo percibida por los búfalos, debido a la contribución de los árboles al proporcionar sombra y mejorar

el comportamiento alimentario activo (Zhaobing et al., 2016; Pezzopane et al., 2019). Además, la sombra en el sistema SPS mejoró la calidad y cantidad de los pastos en varios estudios (Penton y Blanco, 1997; Simón et al., 2012; López et al., 2017).

En el SPS, en condiciones de estrés térmico moderado, se redujo el tiempo dedicado al consumo de agua. Esto podría ser influenciado por la composición en DM de la hierba que mejora el nivel de saciedad de los animales. Resultados similares reflejaron una reducción del 23% en las visitas a la fuente de agua por el ganado cuando disponía de sombra (Giro et al. 2019). Las similitudes en la ingesta de agua en condiciones de estrés térmico intenso sugieren que las necesidades de agua son más apremiantes que las necesidades de los alimentos; lo que coincide con lo indicado por Dukes (1968) y Alvarez et al. (2009).

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

### **6.3. Experimento 3. ¿Son los búfalos selectivos ante diversos tipos de hojas de árboles de la familia de las leguminosas? ¿Son iguales los aportes de estas ramas cuando se ofrecen a voluntad a los búfalos de agua?**

El consumo de los árboles de la familia de las leguminosas fue mayor en *L. leucocephala*, pero proporcionó menos contenido nutricional (DM, PB, FB) en comparación con *A. lebbeck*. En este estudio, *A. lebbeck* fue la hoja más consumida sobre la base de DM, a excepción de la EB, donde *L. leucocephala* fue la especie que más proporcionó en la dieta.

En una evaluación sobre el comportamiento de ramoneo de bovinos sobre 60 especies de árboles se mostró una preferencia por *L. leucocephala* y *A. lebbeck* (Torral e Iglesias, 2008). Esta evaluación fue repetida con búfalos, que mostraron una preferencia similar por *L. leucocephala* (Torral et al., 2019). Según García et al. (2008), en un estudio con bovinos, *M. oleifera* es una planta moderadamente consumida. *A. lebbeck* y *L. leucocephala* fueron las especies más consumidas probablemente debido a la facilidad de tomar estos ramones de los comederos. *L. leucocephala* tiene hojas muy pequeñas que se lamen fácilmente desde el fondo de los comederos, mientras que *A. lebbeck* y *G. sepium* son más resistentes a este tipo de acción prensil (Santana-Pérez et al., 2019). Sin embargo, se observó que la tasa de marchitamiento de *M. oleifera* impide su consumo por parte de los animales. La diferencia en el consumo y aceptabilidad de las hojas de los árboles podría sugerir un apetito selectivo de los animales (Forbes, 2007; Alvarez et al., 2009). Además, los rumiantes prefieren los tipos de hojas de leguminosas como un suplemento que proporciona rápidamente el nivel más alto de saciedad de nutrientes (Baumont, 1996).

El contenido de DM de los ingredientes de la dieta de los rumiantes es parcialmente responsable de limitar su consumo e ingestión a través de la

regulación a corto plazo junto con la rápida fermentación de los contenidos de carbohidratos (Forbes, 2007; Wanapat y Phesatcha, 2016). Estos resultados son indicativos de la satisfacción de las necesidades del animal y coinciden con lo señalado por Méndez y Lima (2011) que indicaron que el consumo voluntario (expresado en el porcentaje de BW) es del 2,59% - 3,09%) en búfalos; resultados similares a los publicados previamente por Paul y Lai (2010).

Las hojas de los árboles (*L. leucocephala*, *A. lebbeck*, *G. sepium* y *M. oleifera*) contribuyeron con 194,48 g DM a la ingesta diaria de PB. Esto representa el 20,19% de la PB a pesar de que los árboles sólo proporcionaron el 7,95% de la DM en la dieta. El resto de la dieta proporcionó 768,97 g DM/animal y día (79,81% de la dieta). Paul y Lai (2010) indicaron una ingesta diaria de PB de 298 -310 g para búfalos con un peso similar (300 - 350kg BW) y una GMD de 250g/día, mientras que se alimentaron con diferentes proporciones de alimentos en la India. El valor de la proporción de ingestión de PB debida a la ingestión de hojas de árboles en este estudio por parte de los búfalos fue similar a la de estudios con bovinos en Cuba (López et al., 2019; Milera et al., 2016; Careces y González, 2002).

De los cuatro tipos de hojas, las de *A. lebbeck* fueron las que más contribuyeron a las necesidades proteicas de los búfalos y fueron suficientes para cubrir todos los requerimientos de los animales estudiados. Barros-Rodríguez et al. (2014) indican que en la dieta se puede incluir hasta el 50% de *L. leucocephala* y Delgado et al. (2005) informan de una digestibilidad aparente superior al 60% para árboles como *G. sepium* y *L. leucocephala*; lo que podría explicar el consumo a favor de *L. leucocephala*. En este sentido, Albores-Moreno et al. (2020) reportan que bajo pastoreo los factores antinutricionales no interfirieron en la ingestión voluntaria llegando a alcanzar 10,26 - 12,48KgDM/animal/ha.

*G. sepium* y *M. oleifera* apenas fueron consumidas. En particular, la menor ingesta de *M. oleifera* podría estar relacionada con los efectos de esta planta en la flora ruminal, ácidos grasos volátiles y concentración de amonio ruminal (Dey et al.,



2014). Un estudio in vitro con un extracto de hoja de *M. oleifera* como alternativa a la monensina en las dietas de las ovejas encontró efectos similares en los parámetros ruminales (Soltan et al., 2019). Probablemente, el menor consumo de *M. oleifera* también dependa de la concentración de factores anti-nutricionales (Thi et al., 2005) y de la facilidad de este tipo de hojas para marchitarse o de su valor nutricional. Así, hay estudios anteriores que atribuyen la ingesta a la textura, los factores anti-nutricionales y la digestibilidad aparente (Forbes y Kyriazakis, 1995; García y Medina, 2006; García et al., 2008; Molina-Botero et al., 2019) y a la velocidad con la que las ramas pierden sus cualidades tras ser cortadas (Montejo et al., 2017). También, la ingesta podría atribuirse al estado vegetativo o edad de crecimiento (60 días) en el que se recogieron las hojas de las plantas (Wencomo y Ortiz, 2010; Toral e Iglesias, 2012), a condiciones climáticas (Simón et al., 2012; López-Vigoa et al., 2019), a la categoría animal (Forbes y Kyriazakis, 1995), a la cantidad y composición nutricional del recurso arbóreo (Palma et al., 1998) o a su contenido en DM y digestibilidad aparente (González y Cáceres, 2002; Delgado et al., 2007; González et al., 2015). Sin embargo, no parece haber una relación directa entre la composición nutricional y la palatabilidad de las hojas de estos árboles.

La correlación de Pearson fue significativamente negativa entre las dos especies más consumidas (*L. leucocephala* y *A. lebbeck*) y las dos menos consumidas (*G. sepium* y *M. oleifera*). En este sentido, no hubo correspondencia entre lo indicado por Santana-Pérez (2019) sobre las bajas correlaciones de consumo de *A. lebbeck* (tallos con cortezas irregulares) en comparación con *L. leucocephala*, *G. sepium* y *M. oleifera* (tallos lisos) atribuyéndolo a las características físicas de los tallos.

La correlación negativa entre la ingesta de DM de *L. leucocephala* y *M. oleifera* es similar a la encontrada en otros estudios previos (García y Medina, 2006; García

et al., 2008), en los que se observó que *M. oleifera* fue rechazada en comparación con *L. leucocephala* y otros árboles de la familia de las leguminosas.

Santana-Pérez et al. (2019) encontraron diferencias en el consumo voluntario de ovinos y bovinos, atribuyéndolo a diferencias entre los diámetros máximos de los tallos consumidos. *G. sepium*, *L. leucocephala*, *M. oleifera* y *A. lebeck* fueron las hojas más consumidas por las ovejas, pero no consumieron los tallos de *G. sepium*, lo que se atribuyó a algún estímulo aversivo generado por esta planta a nivel de los tallos.

***6.4. Experimento 4. ¿Es posible producir búfalos de agua bajo silvopastoreo sin agua para revolcarse y refrescarse?. ¿Son diferentes el comportamiento y la alimentación de bovinos y búfalos de agua en un sistema de silvopastoreo con pastoreo racional?.***

La GMD obtenida en este estudio para los búfalos es acorde con la de esta especie (0,7 kg) en diferentes sistemas de alimentación con concentrados (Fundora, 2015); no habiendo datos previos sobre su comportamiento productivo en sistemas silvopastoriles sin suplementación. Hasta el momento, se desconocía la GMD en el cebo de búfalos bajo silvopastoreo en Cuba. Es notable este resultado, similar a las explotaciones con altos insumos (concentrados comerciales y suplementación). Lo cual convierte al silvopastoreo en una alternativa promisorias para la Ceba de búfalos en Cuba sin el empleo de concentrados comerciales.

La mayor dedicación a la rumia en búfalos que en bovinos, podría atribuirse al hecho de que el búfalo retiene el material consumido en el retículo-rumen por más tiempo que el bovino (Jorge y Francisco, 2011).

Otro aspecto no menos importante, que pudo influir en este resultado fue el equilibrio homeostático de los animales, ya que la sombra de los sistemas silvopastoriles protege a los animales, principalmente en los búfalos, de la radiación solar directa y facilita los mecanismos de pérdida de calor (Pezzopane et al., 2019). Así, los búfalos pueden dedicar más tiempo a la rumia bajo la copa de los árboles, donde la temperatura del aire puede ser de 2 a 3 °C inferior que a pleno sol, en virtud de la interferencia positiva del follaje sobre el paso de la radiación.

En este sentido, Galloso et al. (2019) encontraron que, independientemente de contar con agua y sombra, los búfalos mantenían las regiones dorsales cubiertas bajo la sombra, aunque estuviesen revolcándose en el agua; lo que pudiera

sugerir que la combinación de ambos métodos de refrescamiento sea preferida por los animales frente a un solo método. Por eso, los sistemas silvopastoriles constituyen una de las principales recomendaciones a implementar en los sistemas ganaderos, tanto en rebaños lecheros, como de carne, ya que el uso de otros sistemas, donde se incluyen métodos artificiales de termorregulación, tales como la nebulización, el consumo de agua fría o la sombra artificial (Barros et al., 2016; Sevegnani et al., 2016; Yadav et al., 2016) pueden provocar reducciones en la temperatura del cuerpo de los animales, pero a un costo que pudiera no ser asequible para los productores.

El comportamiento de inmersión parcial (“artificial”) de la cabeza en el agua de los bebederos, confirma el valor de esta región del cuerpo como zona prioritaria de disipación de calor en los búfalos, cuestión que debe ser valorada en futuras investigaciones sobre determinaciones termográficas.

En adición a lo antes expuesto, cabe recordar que los árboles, además de mejorar el ambiente y el confort, también aportan nutrientes y pueden incrementar el valor nutritivo de la dieta (Wanapat et al., 2016) y la estabilidad alimentaria (Simón y Galloso, 2011); además de favorecer el equilibrio hidrotérmico en las fincas ganaderas (Gu et al., 2016) y el de los componentes del sistema suelo-planta-animal-fauna.

Los tiempos de ingesta son superiores a los encontrados por Fundora et al. (2001), que presentaron 5 horas de ingestión en pastoreo diurno; lo que indica la posibilidad de que, en este horario, tanto los búfalos, como los bovinos, satisfagan la mayor parte de sus necesidades de consumo. Carabaloso et al. (2011) informaron actividad de pastoreo entre 5,7h y 7,7 horas en búfalos criados en condiciones de humedales de la provincia de Ciego de Ávila; pero estos autores señalaron valores menores a los de la presente investigación en la actividad de rumia. Ello pudo estar relacionado con las condiciones edafoclimáticas del lugar, donde los animales necesitaron más tiempo para el desplazamiento e ingesta,

debido a la baja disponibilidad y calidad de los pastos, con el consiguiente incremento de acciones de refrescamiento en los revolcaderos en las horas más calurosas del día.

Con respecto a los bovinos, el patrón de conducta fue similar a lo encontrado por Iraola et al. (2013); lo que corrobora que los patrones de conducta alimentaria se pueden afectar cuando el sistema utilizado es de pastoreo restringido sólo al horario diurno, en el que los animales tratan de suplir su demanda de nutrientes dedicando más tiempo a la actividad de ingestión de pastos (Castellanos, 2010).

Estos resultados coinciden con lo indicado por Galloso et al. (2019), lo que ratifica que la actividad ingestora y la rumia estuvieron influenciadas por las condiciones climáticas imperantes en el área y el sistema de manejo con restricción del pastoreo.

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## **CONCLUSIONES**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*



## **7. Conclusiones.**

Por primera vez se describen el comportamiento alimentario y termorregulador del búfalo de agua en condiciones de silvopastoreo y monocultivo bajo diferentes condiciones de estrés térmico en Cuba. En dichas situaciones con estrés térmico intenso, en el sistema silvopastoril se alcanza un mayor tiempo de pastoreo bajo los árboles y se dedica menos tiempo al baño. Por el contrario, en el sistema convencional (sin árboles) los búfalos dedican más tiempo al baño y menos a la ingesta de pasto.

Los resultados prueban que la disponibilidad de sombra y la posibilidad de ramoneo que proporciona el sistema silvopastoril favorecen el bienestar de esta especie, ya que se le permite mejorar sus condiciones de pastoreo y su comportamiento, posibilitando reducir el uso de áreas de baño y el de otros métodos artificiales de termorregulación, cuyo coste pudiera no ser asequible para los productores. Además, habría que estudiar el beneficio medioambiental y sanitario que supone la eliminación de las zonas de revolcadero o baño, que siempre se presentan estancadas y eutrofizadas.

También por primera vez se cuantifica la selectividad y el aporte de las hojas de cuatro especies de árboles de la familia de las leguminosas para esta especie, ayudando a conocer cuáles son las especies más promisorias para el diseño de sus sistemas silvopastoriles. Así, de acuerdo con los resultados, *L. leucocephala* y *A. lebbeck*, siendo las especies más consumidas, serían los árboles a recomendar.

Por otra parte, se demuestra que, en las condiciones tropicales cubanas, los búfalos en silvopastoreo son más productivos que el bovino cebú en la etapa crecimiento ceba final. Además, los resultados indican que los sistemas silvopastoriles permiten obtener rendimientos y ganancias de peso similares a los de sistemas de alimentación con suplementación.

Finalmente, todo indica que, a pesar de las previsiones de mayor estrés térmico debido al cambio climático en los trópicos, será posible producir búfalos en sistemas silvopastoriles sin necesidad de baños, dado que la sombra de los árboles contribuye a satisfacer las necesidades de termorregulación de esta especie, al tiempo que le permite optimizar su actividad de pastoreo.

## **Conclusions**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## Conclusions

For the first time, the feeding and thermoregulatory behavior of water buffalos is described in silvopastoral and monoculture conditions under different conditions of heat stress in Cuba. In these situations with intense heat stress, in the silvopastoral system a longer grazing time is achieved under the trees and less time is spent bathing. On the contrary, in the conventional system (without trees) buffaloes spend more time bathing and less time consuming grass.

The results prove that the availability of shade and the possibility of browsing that the silvopastoral system provides, favor the well-being of this species, since it allows it to improve its grazing conditions and its behavior, making it possible to reduce the use of bathing areas and that of other artificial methods of thermoregulation, the cost of which may not be affordable for producers. In addition, the environmental and health benefits of eliminating the wallowing or bathing areas, which are always stagnant and eutrophied, should also be studied.

Also for the first time the selectivity and the nutritional contribution of the leaves of four species of trees of the legume family for this species is quantified, demonstrating the most promising species for the design of their silvopastoral systems. Thus, according to the results, *L. leucocephala* and *A. lebbbeck*, are the most consumed species, and the trees to be recommended.

On the other hand, it is demonstrated that, in Cuban tropical conditions, buffaloes in silvopastoral systems are more productive than zebu cattle in the final fattening stage of growth. In addition, the results indicate that silvopastoral systems allow for the obtaining of yields and weight gains similar to those of feeding systems with supplementation.

Finally, everything indicates that, despite the predictions of greater heat stress due to climate change in the tropics, it will be possible to produce buffalo in silvopastoral systems without the need for bathing, since the shade of the trees

will contribute to meeting the thermoregulation needs of this species, while allowing it to optimize its grazing activity.

## **RECOMENDACIONES**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*



## **8. Recomendaciones.**

Con los resultados obtenidos es recomendable continuar estudiando los sistemas silvopastoriles para la explotación bufalina en el trópico, profundizando en los beneficios de la sombra de los árboles sobre la fisiología y la tolerancia al calor de la especie.

Además, habría que realizar una transferencia del conocimiento existente sobre este sistema de manejo del ganado y de la finca, insistiendo en el manejo racional o rotacional de los pastos, tanto donde existan pastos naturales como donde los haya mejorados o se trate de praderas, considerando siempre las variedades de arbóreas y herbáceas de elección que puedan ser más promisorias para las condiciones edafoclimáticas de Cuba o del país tropical al que se quiera adaptar este sistema.

Otra vía en la que avanzar es el estudio de las características nutritivas y el rendimiento de los árboles forrajeros para las condiciones del trópico cálido húmedo, con el objetivo de seleccionar no sólo las más consumidas; sino las de mayor rendimiento y calidad nutricional; incluyendo en este estudio las posibles combinaciones de especies, las densidades (pies/ha), los grados de cobertura (% de área cubierta) y los tratamientos silvícolas (como la tasa y tiempo de reemplazo).

También se requiere evaluar el impacto de los búfalos sobre los árboles, para conocer el tiempo necesario para su establecimiento y la forma de introducción de los búfalos al pastizal.

Aplicar el manejo silvopastoril al búfalo de agua y evaluar sus beneficios a todos los niveles, haciendo hincapié en su rendimiento económico y, por ende, en la sostenibilidad que es fundamental para avanzar en el manejo y desarrollo de esta producción en el trópico, particularizando en Cuba, que es donde se han realizado los estudios experimentales de esta tesis doctoral.

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## **REFERENCIAS**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## 9. Referencias.

1. Aarif, O., Aggarwal, A., 2015. Evaporative cooling in late-gestation Murrah buffaloes potentiates immunity around transition period and overcomes reproductive disorders. *Theriogenology*, 84(7), pp.1197–205.
2. Ademola, IO., Idowu, SO. 2006. Actividad antihelmíntica del extracto de semillas de *Leucaena leucocephala* en larvas infecciosas de *Haemonchus contortus*. *Registro Veterinario* 158, 485-486.
3. Albores-Moreno S., Alayon-Gamboa. J. A., Morón-Ríos. A., Ortiz-Colin P. N., Ventura- et al. 2020. Influence of the composition and diversity of tree fodder grazed on the selection and voluntary intake by cattle in a tropical forest. *Agroforest Syst*:(0123456789, vol: V)
4. Alcântara, P.B., Alcântara, V.B.G. 1996. Evaluation of "feeding intelligence" in Murrah water buffaloes grazing three different tropical grasses. Report of Institut of Zootecnia. Sao Pablo – SAA, R. Heitor Penteado, 56, 13460-000 Nova Odessa/SP–Brazil. ID # 08-01. email: bardauil@izsp.br.
5. Alfredo, M., Pereira, F., Reíssa, A., Vilela, Cristiane, G. Titto, Thays, M. C., Leme-dos-Santos, Ana C. M., Geraldo, J. C., Balieiro, C., Raquel F., Calviello, E. H., Birgel, Junior and Evaldo., A. L. Titto. 2020. Thermoregulatory Responses of Heat Acclimatized Buffaloes to Simulated Heat Waves. *Animals* 2020, 10, 756.
6. Alvarez C. A., Pérez. H., De la Cruz Martín., T. Quincosa J., Sánchez. A. 2009. *Fisiología Animal Aplicada*. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 380 Pág.
7. Alvarez, C. A., Pérez, H., Quincosa, J., De la Cruz, T., Sánchez, A. 2004. *Fisiología animal aplicada*. Edito: Felix Varela; ENPSES- MERCIE GROUP.
8. Ampapon, T., Wanapat, M., Kang, S., 2016. Rumen metabolism of swamp buffaloes fed rice straw supplemented with cassava hay and urea. *Tropical Animal Health and Production*, 48(4), pp.779–784.
9. Angulo R. A., Vargas J. E Jaramillo S., Ordoñez M., Sierra J., Berdugo J. A. 2002. Caracterización productiva del "baby búfalo" en colombia. Segundo Simposio de Búfalos de las Américas.
10. Angulo, R. A., Noguera, R. R., Berdugo, J A. 2005. El búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) un eficiente utilizador de nutrientes: aspectos sobre fermentación y digestión ruminal. *Livestock Research for Rural Development*. Vol. 17, Art. #67.

11. Anil K. S., Thomas, C. K. 1996. Comparative draught performance of cattle and buffaloes. Physiological reactions. Indian Journal of Animal Science, v. 66, n. 4, p. 398-401, 1996.
12. Anon. 1980. Muestreo de Pastos. Taller del IV Seminario Científico. Matanzas: EEPF «Indio Hatuey» (1980).
13. AOAC. 2005. International. Official methods of analysis of AOAC International. 18 th ed. Maryland, USA: AOAC International, 2005.
14. Appleby, M. C., Hughes, B. O. 1997. Animal welfare. Book. Ed. Cabi international.
15. Arbeláez, D., Valencia, L., Ríos, L., Cifuentes, T. y Verdugo J. 2001. Parámetros fisiológicos del Búfalo de Agua (*Bubalus bubalis*) en el Departamento de Córdoba y Antioquia en Colombia. Proceeding of World Buffalo Congress. Maracaibo, Venezuela. CD ISBN 980- 296-839-0. Vol. II. p. 105.
16. Armstrong, D. V. 1994. "Heat Stress Interaction with Shade and Cooling." Journal of Dairy Science 77(7): 2044–50.
17. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official methods of analysis, 16th ed., AOAC: Arlington, VA, USA, 1995.
18. Atháide, L. G., Joset, W.C.L., de Almeida, J. C. F., Pantoja, M. H. Da., Noronha, R. dP., Bezerra, A. S., Barbosa, A.V.C., Martorano LG., da Silva, J.A.R. and Lourenço Júnior, J. dB. 2020. Thermoregulatory and Behavioral Responses of Buffaloes With and Without Direct Sun Exposure During Abnormal Environmental Condition in Marajó Island, Pará, Brazil. Front. Vet. Sci. 7:522551.
19. Baccari, Jr., F. 2001. Manejo Ambiental Da Vaca Leiteira Em Climias Quentes. Londrina: Uel, 2001.
20. Barros, D. V. Silva., L K X. Kahwage., P R. Lourenço Júnior, J B., Sousa, J S. Silva, A G M., Franco, I M., Martorano, L G., Garcia, A. 2016. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography TT- Avaliação de temperaturas superficiais de touros bubalinos (*Bubalus bubalis*) criados em ambiente tropical com uso da termografia infravermelha. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 68(2), pp.422–430.
21. Barros-Rodríguez, A, M., Solorio-Sánchez, A J., Sandoval-Castro, A. C, and Klieve, B. A. V. 2013. "Effects of Two Intake Levels of *Leucaena Leucocephala* on Rumen Function of Sheep." 2013 Proceedings of the 22nd International Grassland Congress. 248–49.
22. Barros-Rodríguez, M., Sandoval-Castro, C. A., Solorio-Sánchez, F. J., Sarmiento-Franco, L. A., Rojas-Herrera, R., Klieve, A. V. 2014. *Leucaena*

- leucocephala in ruminant nutrition. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2014. 17:2. 173-183p. 2014.
23. Baumont, R. 1996. Palatability and feeding behaviour in ruminants. A review. *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 1996, 45 (5), pp.385-400. <hal-00889572>HAL.
  24. Beck, M.R. and Gregorini, P. 2021. Animal Design Through Functional Dietary Diversity for Future Productive Landscapes. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:546581.
  25. Benavides, 1994. árboles y arbustos forrajeros en América Central. *Catie. Serv. Técnico. Informe Técnico. No. 236, Vol. 1 y 2.*
  26. Bergvall, U. A. 2009. Development of feeding selectivity and consistency in food choice over 5 years in fallow deer. *Behavioural Processes, Volume 80, Issue 2, February 2009, Pages 140-146.*
  27. Bernal, A. 1995. Búfalo de agua en Colombia. I congreso internacional de búfalos de agua. La Dorada. Colombia. Octubre 13-16.
  28. Betancourt, A. 1988. Cariotipo del Búfalo de Río. *Revista de Salud Animal.* 10(3):263.
  29. Bilal, M. Q., Suleman, M. and Raziq A. 2006. Buffalo: Black gold of Pakistan. *Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article #128.* Retrieved April 30, 2021.
  30. Blanco Godínez, F., Pentón, G. 2006. Conferencia Maestría: Los Árboles en los Sistemas Ganaderos. Efecto de la sombra del estrato arbóreo sobre la fisiología y la dinámica del pastizal.
  31. Brannan, G.D., Setser, C.S., Kemp, K.E. 2001. Interaction of astringency and taste characteristics *JOURNAL OF SENSORY STUDIES.* Volumen: 16: 2 Páginas: 179-197.
  32. Brcko, C.C., Silva, J. A. R., Martorano, L.G., Vilela, R.A., Nahúm, B. S., Silva, A. G. M., Barbosa, A. V. C., Bezerra, A.S. and Lourenço Júnior J.B. 2020. Infrared Thermography to Assess Thermoregulatory Reactions of Female Buffaloes in a Humid Tropical Environment. *Front. Vet. Sci.* 7:180.
  33. Brito, J., Didonet, H., dos Santos, O., Mara, E., de Fátima, N., Tigusa, S. 2005. Sistema silvipastoril e pastejo rotacionado intensivo na produção leiteira de búfalas na pequena propriedade da amazônia oriental1 *Anais do ZOOTEC'2005 - 24 a 27 de maio de 2005 – Campo Grande-MS* 1.
  34. Broom, D. M. 1988. The Concept of Stress And Welfare. *Recueil De Medecine Vétérinaire*, V.164, N. 10, P. 715-722, 1988.
  35. Broom, D. M. 1997. Welfare Evaluation. *Applied Animal Behaviour Science*, V. 54, P. 21-23.

36. Caceres, O., González-García. E. 2002. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*, 2002, 25, pp.15-20.
37. Caraballoso, A., Borroto, A., Pérez, R. 2011. Conducta de búfalos en pastoreo en humedales de Ciego de Ávila, Cuba Behavior of grazing buffaloes in wetlands of Ciego de Ávila, Cuba. *Pastos y Forrajes*, Vol. 34, No. 2, abril-junio, 211-218, 2011.
38. Carina A. A., Pereira A. M., Gonçalves C. T., Lencioni E. A. 2012. What do Cattle Prefer in a Tropical Climate: Water Immersion or Artificial Shade? *Journal of Life Sciences* 2012, 6, 1356-1362.
39. Castellanos, A. 2010. Manejo de bovinos de doble propósito. <http://wordpress.com//11/25/>, 2010. CENCOP. Análisis de los resultados de la producción lechera del búfalo en Cuba. Décimo Informe. La Habana: Centro Nacional de Control Pecuario, Ministerio de la Agricultura, 2014.
40. Castro, A. C. 2005. Avaliação de sistema silvipastoril a través do desempenho produtivo de búfalos manejados nas condições climáticas de Belém, Pará. 2005. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Curso de Pósgraduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará.
41. Castro, A. C., Lourenco Jr., J. de B., dos Santos, N. de F., Moreira Monteiro, E.M., de Aviz, M.A., Garcia, A.R. 2008. Silvopastoral system in the Amazon region: tool to increase the productive performance of buffaloes. *Cienc. Rural.* /10.1590/S0103-84782008000800050.
42. Choudhary B. B., Sirohi S. 2019. Sensitivity of buffaloes (*Bubalus bubalis*) to heat stress. *J Dairy Res.* 2019. 86:399–405.
43. Corrales Alvarez, J. D. 2016. Prediction of meat yield from in vivo measurements in buffaloes Predicción del rendimiento cárnico a partir de medidas in vivo. In: *Development*, R., Salle, L. In: <http://www.lrrd.org/lrrd28/4/vela28064.htm>.
44. Correa-Castro. A. 2005. Curso de mestrado em ciência animal Anderson Corrêa Castro. Avaliação de sistema silvipastoril através do desempenho produtivo de búfalos manejados nas condições climáticas de Belém, Pará. Tesis. Universidade federal do pará centro de ciências agrárias embrapa amazônia oriental universidade federal rural da amazônia.
45. Corzo, J.A., García L.A., Silva J.J., Pérez. E., Geerken, C. 2004. Regularidades de las influencias ambientales. En: *Zootecnia General, un enfoque ecológico*. La Habana. Ed Félix Varela. p. 46-95.
46. Costa, A., De Marchi, M., Battisti, S., Guarducci, M., Amatiste, S., Bitonti, G., Borghese, A. y Boselli, C. 2020. Efecto del índice de temperatura-



- humedad en la composición de la leche a granel de búfalo y los rasgos de coagulación. *Frontiers in Veterinary Sci.* 7: 577758.
47. Da Silva, J.A., Rodrigues, de Araujo, A., Alencar., Lourenco, J., Brito. J., Nubia. F., Alves., Garcia. A., Oliveira, R. 2015. Thermal comfort indices of female Murrah buffaloes reared in the Eastern Amazon. *International Journal of Biometeorology*, 59(9), pp.1261–1267.
  48. Da Silva, J.A.R., De Araújo, A. A., Lourenço Júnior, J. de B., dos Santos, N. de F.A., Viana, R.B., Garcia, A.R., et al. 2014. Hormonal changes in female buffaloes under shading in tropical climate of eastern Amazon, Brazil. *Rev. Bras. Zootec.* 43, 44–48.
  49. Dash, S., Chakravarty, A., Singh, A., Shivahre, P.R, Upadhyay, A., Sah, V., et al. 2015. Evaluación de los valores de reproducción esperados para los rasgos de fertilidad de los búfalos Murrah en clima subtropical. *Veterinario Mundo* 8: 320.
  50. De la Cruz-Cruz, L. A., Bonilla-Jaime, H., Orozco-Gregorio, H; Vargas-Romero, J. M; Tarazona-Morales, A. M; Estevez-Cabrera, M.M; Roldan-Santiago, P. 2021. Effect of three weaning methods on behavioural, cortisol and weight changes in buffalo calves. *Animal production science*.
  51. Delgado, D., Cairo, J. and Moreira. O. 2005. "Fermentación Ruminal En Búfalos de Río y Cebú Comerciales, Alimentados Con Forraje Integral de Caña de Azúcar." *Rev. cubana. Cienc. Agric.* 39:53-56. (1):53–57.
  52. Delgado, D. C., Rosabal, Y. y Cairo, J. 2005. Degradabilidad ruminal in situ de *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115 en búfalos de río y Cebú comerciales. *Rev. cubana. Cienc. Agric.* 39:187-192.
  53. Dey, A., Paul. S.S., Pandey P and Rathore. R. 2014. Potential of Moringa Oleifera Leaves in Modulating in Vitro Methanogenesis and Fermentation of Wheat Straw in Buffalo Potential of Moringa oleifera leaves in Modulating in Vitro Methanogenesis and Fermentation of Wheat Straw in Buffalo. (April) *Indian Journal of Animal Sciences* 84 (5): 533–538.
  54. Di Palo R., Ariota B., Zicarelli F., De Blasi M., Zicarelli G., Gasparrini B. 2010. Incidence of pregnancy failures in buffaloes with different rearing system January 2010. *Italian Journal of Animal Science*. 2010.8(2s).
  55. Dias Filho, M. B. 2005. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 2.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.
  56. Dias Medeiros, L. F. Y., Helena, D. 1997. *Bioclimatología Animal*. Book. Departamento de reprodução e avaliação animal. Universidade federal rural do rio de janeiro instituto de zootecnia. Brasil.

57. Dos Santos Alves, N., Rodrigues da Silva J. A. 2020. Silvopastoral System Mitigates the Thermal Stress and Benefits Water Buffaloes' Comfort in the Eastern Amazon, Brazil Federal Rural University of Amazon, Brazil (19). Journal of Agricultural Studies ISSN 2166-0379 2020, Vol. 8, No. 4
58. Dos Santos, N., Da Silva, J. A. R., De Araújo, A. A., Viana, R. B., Garcia, A. R., Bezerra, A. S., Nahúm, B. D. S., Lourenço Júnior, J. D. B. 2021. Silvopastoral Systems Contribute to Water Buffalo Welfare. Journal of Agricultural Studies ISSN 2166-0379. 2021, Vol. 9, No. 2.
59. Dukes, H. H. 1968. Fisiología de los Animales Domésticos. Edit. Rev. La Habana, Cuba.
60. Dumont, B., Petit, M. 1995. An Indoor Method for studying the preferences of sheep and cattle at pasture. Appl-Anim-Behav-Sci. Amsterdam, New York Dec. 46 (V2) p 67-80.
61. Dumont, B., Petit, M. 1998. Spatial memory of sheep at pasture. INRA, Laboratoire Adaptation des Herbivores aux Milieux, Centre de Clermont-Fd/Theix, 63122 St. Genès Champanelle, France- Applied Animal Behaviour Science Volume 60, Issue 1, October 1998, Pages 43-53.
62. Duncan, D. B. Multiple range and multiple F-test. Biometrics. 11 (1):1-42, 1955.
63. Espinosa S., Fontes, E., Martínez, S., Pedraza, R., León, M. 2020. Composición química de hojas peciolos de marabú (*Dichrostachys cinerea*) a dos alturas secadas a temperatura ambiente y en estufa a 55° C. Revista de Producción Animal 2020, 32(1).
64. Finch, V. A. 1984. Heat as a stress Factor In Herbivores Under Tropical Conditions. In: Gilchrist, F. M.C., Mackie, R. I. Herbivore Nutrition In The Subtropics And Tropics. Graighall: The Science Press, 1984. P. 89-105.
65. Fischer, H. 1975. The Water Buffalo: A physiological survey of Types and Used. Animal Research and Development. Institute of Tropical Veterinary Medicine, University of Giessen.
66. Forbes, J. M. 2000. "Physiological and Metabolic Aspects of Feed Intake Control." Farm Animal Metabolism and Nutrition 319-34.
67. Forbes, J.M. 1995. Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals. Department of Animal Physiology and Nutrition, University of Leeds. 532 pp. ed Cab. International.
68. Forbes, J. M. 2007. Voluntary Feed Intake and Diet Selection of Farm Animals (2). Wallingford, GB: CAB International, 2007. ProQuest ebrary. Web. 5 February 2017. Copyright © 2007. CAB International.
69. Forbes, J.M., Kyriazakis, I., 1995. Food preferences in farm animals: why don't they choose wisely? Proc. Nutr. Soc. 54, 429-440.

70. Forbes. J. M. 2001. Consequences of feeding for future feeding. Comparative-Biochemistry and Physiology Part A 128. 2001. 463\_470-. Edit: Elsevier Science Inc.
71. Fraser, F. y Broom, M. 1990. Farm Animal Behaviour and Welfare. 3rd. Ed. Bailliere Tindall. London. P:256-279.
72. Frisch, J. E., Vercoe, J. E. 1979. Adaptive and productive features of cattle growth in the tropics: their relevance to buffalo production. Tropical Animal Production 1979, 4(3), 214-222.
73. Fundora O. 2015. Performance of river buffaloes (*Bubalus bubalis*) from Buffalypso breed in feeding systems based on grazing: fifteen years of research in the Instituto de ciencia animal. Cuban Journal of agricultural Science, Vol 49. (2), 2015.
74. Fundora, O., Fernández, D., Sánchez, L., González, M. E. 2016. Rendimiento de carne de pastoreo de búfalos de río (*Bubalus bubalis*). Vol 50, No 3 2016: Revista Cubana de Ciencia Agrícola.
75. Fundora, O. F., Quintana, O. and González, M. E. 2004. "Performance and Carcass Composition in River Buffaloes Fed a Mixture of Star Grass, Natural Pastures and Native Legumes. "Revista de ciencia animal". 38(1).
76. Fundora, O., González, María, E., Lezcano, Orquidea., Montejo, Alba., Pompa, N. y Enríquez, A. V. 2001. Estudio comparativo de la composición y estabilidad de la leche de búfalas de río Murrah y vacas Holstein en pasto estrella. Rev. cubana. Cienc. Agric. 35: 229-234.
77. Fundora, O., Otero, A, González, María. E y Sierra, Yaniris. 2005. Uso del *Penisetum purpureum* (Clon Cuba CT- 115) como banco de biomasa para búfalas de río y su efecto en el control de malezas. 39: 569- 573.
78. Fundora, O., Quintana, F. O y González, M. E. 2004. Comportamiento y composición de la canal de búfalos de río alimentados con una mezcla de pasto estrella, pastos naturales y leguminosas nativas Rev. cubana. Cienc. Agric. 38: 43 -46.
79. Fundora, O., Roque, R., Sánchez, R. 2001. Datos preliminares de la conducta alimentaria de búfalos de río en pastoreo. Rev. cubana Cienc. agríc. 35 (1):15-17, 2001.
80. Fundora, O., Tuero, O., González, María, E., Rivadineira, W., Alonso, F., Zamora, A. et al. 2007. Estudio comparativo de la conducta alimentaria de búfalos de río y vacunos de la raza Siboney de Cuba en la etapa de ceba. Rev. cubana Cienc. agríc. 41 (3):243-247, 2007.
81. Fundora. O. 2015. El rendimiento de los búfalos de río (*Bubalus bubalis*) de Buffalypso raza en los sistemas de alimentación basados en pastoreo:

- quince años de investigaciones en el Instituto de Ciencia Animal. Vol 49, No 2 (2015): Revista Cubana de Ciencia Agrícola.
82. Galloso, M. 2009a. Aceptabilidad de cuatro especies de árboles por búfalos de río en Cuba. Memorias. VIII Taller Internacional Silvopastoril" Los árboles y arbustos en la ganadería". Varadero, Matanzas. Cuba. [cd-rom].
  83. Galloso, M. 2009b. Caracterización del comportamiento alimentario de búfalos de río en crecimiento en un sistema silvopastoril. Memorias. VIII Taller Internacional Silvopastoril" Los árboles y arbustos en la ganadería". Varadero, Matanzas. Cuba. (cd-rom).
  84. Galloso, M. 2010. Informe final de proyecto: "Evaluación del comportamiento y la selectividad de búfalos de río". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 42 p.
  85. Galloso, M. A., Alvarez, A., Soca, M. 2008. Impacto del silvopastoreo en el comportamiento ingestor de novillas Siboney de Cuba. Memorias del I Congreso Latinoamericano de Etología Aplicada. Montevideo. p. 71, 2008.
  86. Galloso, M. A., Rodríguez-Estévez, V., Simón, L., Soca, Mildrey., Alvarez-Diaz, C. A., Dublin, D. et al. 2019. Can trees replace the need for wallowing in river buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics?. Preliminary results. C. Dupraz, M. Gosme and G. Lawson, eds. Book of Abstracts, 4th World Congress on Agroforestry. Montpellier, France: CIRAD, INRA, World Agroforestry, 2019. 933 pages.
  87. Galloso, M., Simón, L. 2008. Impacto del silvopastoreo en la dinámica parasitológica, descomposición de las bostas y el crecimiento de Búfalos de Río. Congreso ICA. 2008. Producción de Rumiantes. PR90. La Habana. Cuba.
  88. Galloso-Hernández, M., Rodríguez-Estévez, V., Alvarez-Díaz, C.A., Soca-Pérez, M., Dublin, D., Iglesias-Gómez, J. M., Simón, L. 2020. Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress. *Frontier Veterinary Science*, 2020, 10.3389. 00393.
  89. Galloso-Hernández. M., Rodríguez- Estevez. V., Simón. L., Alvarez Diaz. C. A. 2018. Comportamiento alimentario y aptitud de búfalos en sistemas arborizados (SSP) y sin arborización (CVS). In VI Congreso de jóvenes Investigadores. Creando Redes Doctorales: La generación del conocimiento. Eds.: Arturo F. Chica Pérez and Julieta Mérida García. Publisher: UCOPress Universidad de Córdoba, Spain, 2018. ISBN: 978-84-9927-239-9.
  90. Galvão L. T. O., Reis G. C., Silva C. C., Pinto A. S., Santos D. M., Lima E. M., Gomes D. I., Oliveira L. R. S., Alves K. S., Santos P. M., Mezzomo R.

2020. Performance of lactating buffaloes in pasture supplemented with palm-kernel cake. *Animal Production Science* 61, 47-54.
91. García, A. R. 2013. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 37, pp.121–130.
92. García, D. E., Medina, M. G., Cova, L.J., Torres, A., Soca, M., Pizzani, P. et al. 2008. Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado de Trujillo, Venezuela. *Pastos y Forrajes*. 31(3):255.
93. García, D.E. and Medina, M.G. 2006. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Tropical*. 24(3): 233.
94. Garcia, R., Andrade, C. M. S. 2001. Sistemas silvipastoris na região Sudeste. In: Carvalho, M.M. et al. *Sistemas agrofloretais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL; FAO, 2001. p.173-187.
95. García, D.E., Wencomo, H.B., Gonzalez. M., Medina M. G., L.J. Cova e Spengler, I. 2008. Evaluación de diecinueve accesiones de *Leucaena leucocephala* basada en la calidad nutritiva del forraje. *Zootecnia Trop.*, 26(1): 9-18. 2008.
96. Giro, A. J., Pezzopane, R. M., Barioni, W. J., De Faria, A.P., Prudêncio, A. et al. 2019. "Behavior and Body Surface Temperature of Beef Cattle in Integrated Crop-Livestock Systems with or without Tree Shading." *Science of the Total Environment* 684:587–96.
97. González, E. and Cáceres, O. 2002. "Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes." *Pastos y Forrajes* 25(1):1–6.
98. González, N., Abdalla, A L., Galindo, J., Santos, M R., Louvandini, P., Louvandini, H. 2016. Effect of five inclusion levels of mulberry (*Morus alba* cv. Cubana) on methanogens and some main cellulolytic populations within rumen liquor of water buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2016. 50:3. 393-402.
99. González, N., Galindo J., Abdalla, A.L. 2015. Effect of four inclusion levels of *Morus alba* L. cv. cubana on microbial populations and fermentative products in river buffalo (*Bubalus bubalis*) rumen liquid. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 49, Number 3, 2015. 34949(3), pp.349–356.
100. Gu, Z., Yang, S., Leng, J., Xu, S., Tang, S., Liu, C. et al. 2016. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 177:1-5, 2016.

101. Gutiérrez Borroto, O. 2015. La fisiología digestiva del rumiante, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal durante cincuenta años. Revista Cubana de Ciencia Agrícola [en línea]. 2015, 49(2), 179-188.
102. Gutiérrez, O., Cairo, J., Ramírez, B., Vasallo, G., Varela, M. 2015. Comparison between two techniques for estimating voluntary intake of female buffaloes under grazing conditions. Technical note. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 49, núm. 3, 2015, pp. 317-320.
103. Hafez, E. S. E. 1973. Adaptación de los animales domésticos. Cáp. V. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, Cuba. p:14-316.
104. Haslam, E. 1989. Plant Polyphenols: Vegetable Tannins Revisited. Front Cover . CUP Archive, Jun 29, 1989- Science - 230 pages.
105. Hernández, K., Arece, J., Simón, L., Hernández, L., Valdés, O. Comportamiento de ixódidos en diferentes genotipos de ganado mayor en silvopastoreo (Nota Técnica) Pastos y Forrajes, vol. 36, núm. 1, enero-marzo, 2013, pp. 72-76.
106. Hess H. D. y Lascano. C. E. 1997. Pastoreo selectivo en novillos tropicales. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5. (Supl. 1): 115-117.
107. Hincapié, J. 2000. Caracterización del comportamiento reproductivo y evolución de la fertilidad en la inseminación artificial de búfalas de agua (*Bubalus bubalis*) bajo condiciones de la República de Honduras. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. UNAH. La Habana, Cuba.153 p.
108. Hovi, M., Sundrum, A., y Thamsborg, S. M. (2003). Animal health and welfare in organic livestock production in Europe: current state and future challenges. Livestock production science, 80(1-2), 41-53.
109. Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F., Rojas, J. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. Pastos y Forrajes, vol. 29, núm. 4, 2006, pp. 383-419.
110. IBM Corp. Released 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
111. Iglesias J. M., García L. y Toral O. C. 2015. Productive performance of different cattle genotypes in a commercial farm. Finishing stage. Pastos y Forrajes, Vol. 38, No. 2, abril-junio, 185-193, 2015.
112. Iglesias, J M., García, L., Toral, O. C. 2014. Performance of different cattle genotypes in a commercial farm. Initial fattening. Pastos y forrajes.37:4. 420-425p. 2014.

113. Iglesias-Gómez, J.M., Galloso-Hernández, MA., Toral-Pérez, O., Aguilar-Hernández, A. 2019. "Comportamiento Productivo y Conducta de Búfalos de Río y Toros Cebú En Silvopastoreo Productive Performance and Behavior of Grazing River Buffaloes and Zebu Bulls in a Silvopastoral System Pastos y forrajes 42(3):223–29.
114. Iglesias, J.M., Simón, L., Lamela, L., Hernández, D., Hernández, I., Milera, M., Castillo, E., Sánchez, T. 2006. Sistemas agroforestales en Cuba: algunos aspectos de la producción animal. Agroforestry systems in Cuba: some aspects of animal production. Pastos y Forrajes, Vol. 29, No. 3:217.
115. INSMET. 2016. El clima de Cuba. Características generales. La Habana: Instituto de Meteorología. <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>. 2016. last acces 26/10/2020.
116. IPCC. 2014. Resumen para responsables de políticas, en Cambio Climático 2014: Mitigación del cambio Climático. Contribución del grupo de trabajo III al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. [Edenhofer, O., R. Pichs- Marruga, Y., Sokona, E., Farahani, S., Kander, K., Seyboth, A., Adler, I., Braum, S., Bruner, P., Eickemeier, B., Kriemann, J., Savolainen, S., Schlomer, C., von Stechow, T., Zwickel y J.C. Minx(eds)]. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido y NY, Estados Unidos de América.
117. Iraola, J., Muñoz, E., García, Y., García, Y., Hernández, J. L., Tuero, O., Moreira, E. 2013. Feeding behavior of male cattle under restricted grazing, supplemented with distiller maize grains during the dry period. Cuban Journal of Agricultural Science 2013, Volume 47, Number 3, 2013, 47(3), pp.255–260.
118. Jackson, M. G. 1977 Review article: The alkali treatment of straws. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 2.
119. Joele, M. R., Lourenço J., De Brito, J., Faturi, C., Garcia, A. R., Nahúm, B. S., Lourenço, L. F. H., Oliveira, K. C. C. 2013. Sistemas silvipastoril e tradicional na Amazônia Oriental – produção e qualidade da carcaça e carne de búfalos. *Ciências Agrárias* 2013, 34(5), p.2457.
120. Jordán, H., Lara, A. 1997. Excreción fecal de vacas en pastoreo racional Voisin, banco de proteína y suplementadas con saccharina húmeda. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 31:259.
121. Jorge, A. M., Francisco, Caroline de L. 2011. Aspectos nutricionales del búfalo. *Tecnología en Marcha.* 24 (5):105-120, 2011.

122. Kelly, C. F., Bond, T. E. 2013. Bioclimatic Factors and Their Measurement. In: A Guide To Environmental Research On Animals. Washington: [S.N.], 1971. P. 7-92.
123. Khongdee, T., Sripoon, S., Vajrabukka, C. 2013. The effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. International journal of biometeorology 2013, 57(3), 349-354.
124. Khongdee, T., Sripoon, S. and Vajrabukka, C. et al. 2011. "The Effects of High Temperature and Wallow on Physiological Responses of Swamp Buffaloes (*Bubalus bubalis*) during Winter Season in Thailand." Journal of Thermal Biology 36(7):417–21.
125. Ku-Vera, C.J., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F. J., Briceño-Poot, E. G., Ruiz-González, A., Piñeiro-Vázquez, A. T, Barros-Rodríguez, M., Soto-Aguilar, A., Espinoza-Hernández, J. C., Albores-Moreno, S., Chay-Canul, A. J., Aguilar-Pérez, C. F. and Ramírez-Avilés, L. 2013. Tropical Tree Foliage and Shrubs as Feed Additives in Ruminant Rations. J. 2013, In: Nutritional Strategies of Animal Feed Additives ISBN: 978-1-62417-000-3 Editor: Abdel Fattah Z. M. Salem © 2013 Nova Science Publishers, Inc.
126. La O. O., Chongo, B., Delgado, D., Valenciaga, D., Pratt, A., Elías, A., Ruiz T. E. and Torres, V. 2003. "Caracterización de La Degradabilidad Ruminal in Situ de Nutrientes y de La Digestibilidad Intestinal in Vitro de Nitrógeno En *Leucaena Leucocephala* cv. CIAT-7929." (4):387–93.
127. Lamela, L; Soto, R. B., Sanchez, T., Ojeda, F., Montejo, I., 2010. Milk production from an association of *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Pennisetum purpureum* CT-115 with irrigation. Pastos y Forrajes, 33 (3): 1-1.
128. Li, M., Hassan, F., Guo, Y., Tang, Z., Liang, X., Xie, F., Peng, L. and Yang, C. 2020. Seasonal Dynamics of Physiological, Oxidative and Metabolic Responses in Non-lactating Nili-Ravi Buffaloes Under Hot and Humid Climate. Front. Vet. Sci. 7:622.
129. Ligda, D. J. 1998. Buffalo population and production in USA. International Livestock Project Development. Disponible en: <http://www.netnico.net/users/djligda/wbuso.htm>. [Consulta: 14 de marzo del 2021].
130. Lima, E.D., Vargas, J.A.C., Gomes, D.I., Maciel, R.P., Alves, K.S., Oliveira, W.F., Aguiar, G.L., Reis, G.D., Oliveira, L.R.S., Mezzomo, R. 2021. Intake, digestibility, and milk yield response in dairy buffaloes fed



- Panicum maximum* cv. Mombasa supplemented with seeds of tropical acai palm. Tropical animal health and production. V: 53. Número: 1: 178.
131. Liu, S., Ye, T., Li, Z., Li, J., Jamil, A.M., Zhou, Y., Hua, G., Liang, A., Deng, T. and Yang, L. 2019. Identifying Hub Genes for Heat Tolerance in Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) Using Transcriptome Data. Front. Genet. 10:209.
  132. López, J. R, Fundora, O y Elias, A. 2005. ¿Por qué el búfalo de agua presenta mayor eficiencia productiva que los vacunos?. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. Vol VI, No 11. Noviembre/ 2005. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n11105.html>.
  133. López-Vigoa, O., Lamela-López, L., Sánchez-Santana, T., Olivera-Castro, Y., García-López, R., González-Ronquillo, M. 2019. Influencia de la época del año sobre el valor nutricional de los forrajes, en un sistema silvopastoril. Pastos y Forrajes 2019, 42(1): 57-67.
  134. López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J. et al. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. Pastos y Forrajes. 40 (2):83- 95, 2017.
  135. Lourenco-Junior, J. B., Garcia, A. R., Costa, N. A., Nahúm, B. S., Silva, M. B. 2010. Effects of silvopastoral systems on the production of buffaloes on Eastern Amazon, Brazil. Chilean Buiatrics Society: Proceedings of 26 World Buiatrics Congress. Santiago de Chile. p. 48-49. 2010.
  136. Lourenco-Junior, J.B. et al. 2002 Alternative systems for feeding buffaloes in Amazon Region. In: Buffalo Symposium of the Américas, 2002, Belém, PA. Proceedings. Belém: Embrapa, 2002. p.31-42. 2402.
  137. Lourenco-Junior, J.B. et al. 2006. Sistema silvipastoril e pastejo rotacionado intensivo na produção leiteira de búfalas na pequena propriedade da Amazônia Oriental. In: Congreso Latinoamericano de agroforesteria para la producción pecuaria sostenible, 4; Simposio sobre Sistemas Silvopastoriles para la producción ganadera sostenible, 3., 2006, Varadero, Cuba. Anales. Varadero: EEPF "Indio Hatuey"/ICA/IGAT/IIF, 2006. p.16-22.
  138. Loyptjra, P., Chaiyabutr, N., Chanpongsang, S., Pichaicharnarong, A. Katti, P. and Johnson, H. 1987. Effect of high ambient temperature on serum cortisol, triiodothyronine, prolactin and growth hormone in swamp buffaloes. Thay J. Vet. Med. 17(3): 289-304.

139. Mahecha, L., Rosales, M., Hernando, C., Molina, E.J. 2005. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*-*Cynodon plectostachyus*-*Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*.
140. Mali, S., Borges, R. M. 2003. Phenolics, fibre, alkaloids, saponins, and cyanogenic glycosides in a seasonal cloud forest in India. *Biochemical systematics and ecology*. Volumen: 31 . Número: 1 Páginas: 1221-124 .
141. Marai, I. F. M., Haeeb, A. A. M. 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livest. Sci.* 127 (2-3):89-109, 2010.
142. Martín, P., Bateson, P. 2000. *Measuring Behaviour. An Introductory guide*. 8th Edition. Edit. Bailliere Tindall, England. p. 147-169.
143. Martínez, J., Milera, M., Remy, V., Yepes, I., Hernández, J. 1990. Un método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*. 1990. 13:101.
144. Martínez, Y., Chongo, B. 2001. Una nota acerca de las concentraciones de tiroxina (T4) y triiodotironina (T3) en vacas lecheras en pastoreo de gramíneas de baja calidad *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 35, núm. 4, 2001, pp. 383-385.
145. Martyn, P., Bateson, P. 2007. *Measuring Behaviour. An Introductory guide*. 3th. Edition. Edit. Bailliere Tindall, England. p. 147-169.
146. Matos, A. D; de Araujo, C.V., Pimentel, C.M.M., Laureano, M.M.M., Marques, L.C., Sales, R.L., Silva, C.S., da Silva, E., Marques, J.R.F. 2020. Production of buffalo milk (*Bubalus bubalis*) in brazil. *Buffalo bulletin*. Volumen: 39. Número: 3. Páginas: 323-329.
147. Mendez, A. J. and Lima, C. 2011. "Aspectos Nutricionales Del Búfalo." *Tecnología en Marcha*, Vol. 24, N. 5, Revista Especial 2011, P. 105-120.
148. Milera, M. 2013. Contribution of silvopastoral systems to production and environment. *Avances en Investigación Agropecuaria*. Aia. 2013. 17(3): 7-24 Issn 0188789-0.
149. Milera. M. C., López, O., Alonso, O. 2014. Principios generados a partir de la evolución del manejo en pastoreo para la producción de leche bovina en Cuba. *Evolution of grazing management for dairy production in Cuba. Generated principles*. *Pastos y Forrajes* 2014, 37(4), pp.382–391.
150. Milera. M.C. et al. 2016. *Recursos Forrajeros Herbáceos y Arbóreos*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Cuba. ISBN: 9789597138051.

151. MINAG, 2014. Conservación de los recursos zoogenéticos (RZG) en animales de granja de la república de Cuba informe de país. Oficina cubana de los recursos zoogenéticos (OCREZ). Disponible en: <http://www.fao.org/3/i4787e/i4787s103b.pdf> consultado: 30/4/2021.
152. Minervino, A.H.H., Zava, M, Vecchio, D., Borghese, A. 2020. *Bubalus bubalis*: A Short Story. Front Vet Sci. 2020 Dec 1; 7:570413.
153. Mitat-Váldez, A. 2009. Búfalos de agua en Cuba. Origen y evolución. *Rev. ACPA*. 3:45.2009.
154. Mitat-Váldez, A. 2011. Antecedentes y perspectivas de la actividad bufalina en el trópico. *Tecnología en Marcha*, Vol. 24, N.º 5, Revista Especial 2011, P. 121.
155. Molina-Botero, I. C., Arroyave-Jaramillo J., Valencia-Salazar S., Barahona-Rosales, R., Aguilar-Pérez, C.F., et al. 2019. "Effects of Tannins and Saponins Contained in Foliage of *Gliricidia Sepium* and Pods of *Enterolobium Cyclocarpum* on Fermentation, Methane Emissions and Rumen Microbial Population in Crossbred Heifers." *Animal Feed Science and Technology* 251(January):1–11.
156. Montejo-Sierra, I., Lamela-López, L., López-Vigoa, O. 2018. Deshidratación del follaje, al sol y a la sombra, de tres plantas forrajeras proteicas. *Pastos Forrajes*. 41:21–9.
157. Moraes Júnior, R.J., Garcia, A. R., Santos, N.F. A., Nahúm, B.S, Lourenço Junior, J.B, Araújo, C., Da Costa, N.A. 2010. Conforto ambiental de bezerros bubalinos (*Bubalus bubalis* Linnaeus, 1758) em sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica* 2010, 40(4), pp.629–640.
158. Moraes Júnior, R.J., Alexandre Rossetto Garcia, A.R., Santos, N.F.A., Lourenço Júnior, J.B., Nahúm, B.S., 2010. Effects of the silvopastoral systems in the environmental comfort of buffalo calves (*Bubalus bubalis*) in the Eastern Amazon. *Rev. Vet.*
159. Mórales. M., Milanés, M. 1998. Efecto de la sombra y la radiación solar directa en el fisiologismo de terneros Holstein y 5/8H-3/8C.: I, Respuesta termorreguladora y Características morfológicas de la piel. *Rev. Salud Anim.* (1991):13.
160. Mota-Rojas, D., Napolitano, F., Braghieri, A; Guerrero-Legarreta, I., Bertoni, A, Martínez-Burnes, J., Cruz-Monterrosa, R., Gómez, J., Ramírez-Briebesca, E., Barrios-García, H., José, N., Álvarez, A., Mora-Medina, P., Orihuela, A. 2021. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 9:1.

161. Moura Carvalho, L.O.D., Lourenço Júnior, J. B., Teixeira Neto, J. F., Costa, N. A., Baena, A. R. C. 2002. Buffalo Milk and Meat Production Systems On A Small Farm In Amazon. In: Vale, W.G., Lourenço Júnior, J.B., Ohashi, O.M. (Eds). Buffalo Symposium of the Americas, 1, 2002, Belém. Proceedings Belém: Embrapa/ Abcb. 2002. P. 83-93.
162. Moura Carvalho, L.O.D., Lourenço Junior, J.B; Teixeira Neto, J.F. 1997. Programa De Soerguimento Da Bubalinocultura No Estado Do Pará. Belém: Associação Paraense De Criadores De Búfalos, 1997. 8p.
163. Murgueitio, E., Barahona, R., Xochilt, M., Chará, J.D. J., Rivera, J. 2016. Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Ceiba. Vol. 54, Núm. 1: 23-30. 2016.
164. Murgueitio, E. Barahona, R., Flores, M X., Mauricio, R M., Molina, J J. 2015. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to climatic change in animal husbandry Los Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina alternativa sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. Cuban Journal of Agricultural Science (2015). Volume:49, Issue:4, Pages:541-554.
165. Napolitano F., Pacelli C., Grasso F., Braghieri A., De Rosa, G. 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. Animal. 2013, 7:10, pp 1704–1713, The Animal Consortium 2013.
166. Napolitano, F., Mota-Rojas, D., Guerrero Legarreta, I., Orihuela, A. (2020). El búfalo de agua en las américas/ river buffalo in the americas. 3<sup>th</sup>. Eds. Napolitano F. BMEDITORES. 2020.
167. Nguyen, T.T., Wanapat, M., Phesatcha, K., Kang, S. 2016. Efecto de la inclusión de diferentes niveles de Leucaena ensilado sobre la población microbiana del rumen y la síntesis de proteína microbiana en novillos alimentados con leche paja de arroz. Asia-Australians J Anim Sci.2017 Feb; 30 (2): 181-186.doi: 10.5713 / ajas.15.0948. Epub 2016 Abr 22.
168. ONEI, 2019. Anuario nacional de estadística enero-diciembre 2019. Disponible en <http://www.onei.gob.cu> Last Access: 3/5/2021.
169. Palma, J.M., Román, L., Morales, A., Aguirre, M.A. 1998. Comportamiento productivo y composición químico-nutricional de cuatro especies arbóreas. Memorias: III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y arbustos en la ganadería. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. P: 45-47.

170. Paul, S.S. and Lai, D. 2010. Nutrient Requirements of Buffaloes. ISBN No, 81-89304-76-3, Satish Serial Publishing House, Delhi and CIRB, Hisar.
171. Pentón, G., Blanco, F. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos. Pastos y Forrajes 1997, 20, pp.101–110.
172. Pentón, G. 2000. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis de Maestría. EEPF “Indio Hatuey”, Universidad de Matanzas, 66 p.
173. Pérez, H., Mendoza, E., Alvarez J.L., y Fernández, O. 1997. Efecto del índice temperatura humedad sobre la secreción de hormonas tiroideas en novillas Holsteins. Rev. Salud Anim. Vol. 19 No. 2, 1997: 131-135.
174. Petit, M. 1972. Emploi du Temps des Troupeaux de Vaches-Mères et de Leurs Veaux sur les Pâturages D’altitude de L’aubrac. Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences 1972, 21 (1), pp.5-27. hal-00887147. HAL.
175. Pezo, D., Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvipastoriles. Costa Rica: CATIE, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1998. 12p. (Materialies de Enseñanza/CATIE, 40).
176. Pezzopane, J. R. M., Nicodemo, M. L. F., Bosi, C., García, A. R., Lulu, J. 2018. Animal thermal com fort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. J. Therm. Biol. 79:103-111, 2019.
177. Pineda, P. S., Flores, E.B., Herrera, J.R.V. and Low, W. Y. 2021. Opportunities and Challenges for Improving the Productivity of Swamp Buffaloes in Southeastern Asia. Front. Genet. 12:629861.
178. Piñeiro-Vazquez, A.T; Canul-Solísa, J.R, Alayón-Gamboa, J.A, Chay-Canul, A.J, Ayala-Burgosa, A.J., Aguilar-Pérez, C.F, Solorio-Sánchez, F.J, Ku-Vera, J.C. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. Arch. Med. Vet. 2015, vol.47, n.3, pp.263-272. ISSN 0301-732X.
179. Planas, T. *Bubalus bubalis*, una especie salvajemente dócil y útil. Revista ACPA: 1:41. 2005.
180. Provenza, F. D. 1995. Postingestive feedback as an elementary preference and intake in ruminants. Journal of Range Management, 48(1), 2–17.
181. Putu, G., Fletcher, I. and Runding, G. 1983. Effect of nutrition on ovarian activity in Indonesian Swamp buffalo cows. Buffalo bulletin. 2(3): 7-8.

182. Quincosa, J., Alvarez, A., Senra, A. 2005. Ingestive behavior in Siboney de Cuba calves during the rainy and dry seasons. 2005. Cuban journal of agricultural science. 39: 4. Pp: 535-541.
183. Ramírez, J., Castañeda, G., Vallejo, N., Arango, P., Aubad, S., Balvin, W., Rúa, A. Berdugo. 2000. Desempeño productivo de búfalos de agua en dos hatos del norte de Colombia. The Buffalo: a Alternative for animal agriculture in third millennium. VI World Buffalo Congresso.
184. Ramseyer, A., Boissy, A. Dumon, B. Thierry, B. 2009. Decision making in group departures of sheep is a continuous process. Animal Behaviour 78: (71–78).
185. Ramseyer A., Thierry B, Boissy A. y Dumont B., 2009. Decision-making Processes in Group Departures of Cattle. Ethology 115. 2009. 948–957 <sup>a</sup> 2009 Blackwell Verlag GmbH.
186. Reyes, F., D. Hernández, M. C., González, A., Sánchez, T., y Lamela, L. 2014. Presión de pastoreo en un sistema multiestrato Efecto de la presión de pastoreo en la estabilidad del estrato herbáceo en un sistema multiestrato. Pastos y Forrajes, Vol. 37, No. 3, julio-septiembre, 264-269.
187. Richter, C. 1947. Biology of drive. The Journal of comparative and physiological psychology, 40 (1947), pp. 129-139.
188. Rodríguez, R., González, Niurca., Chongo, Bertha., Aldama, Ana. I y Galindo, Juana. 2003. Efecto de tres suplementos energéticos en indicadores de la fermentación ruminal del *Penisetum purpureum* (Cuba CT- 115) en búfalos de río. Rev. cubana. Cienc. Agric. 37: 283- 286.
189. Rovelli, G., Ceccobelli, S., Perini, F., Demir, E., Mastrangelo, S., Conte, G., Abeni, F., Marletta, D., Ciampolini R., Cassandro M., Bernabucci U. y Lasagna E. 2020 The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: a review, Italian Journal of Animal Science, 19:1, 997-1014.
190. Sabia, E., Napolitano, F., Claps, S., De Rosa, G., Barile, Vittoria L., Braghieri, Ada et al. 2018. Environmental impact of dairy buffalo heifers kept on pasture or in confinement. Agric. Syst. 159:42-49, 2018.
191. Sadie. R. Paul C., Cross. Ohn Wt., Wayne M. Getz. 2012. Habitat Relations the Utility of Normalized Difference Vegetation Index for Predicting African Buffalo Forage Quality. The Journal of Wildlife El Journal of Wildlife Management Volumen 76. Número 7, páginas 1499-1508, September 2012.
192. Salazar, D. 2000. Algunos parámetros reproductivos de un rebaño bufalino. Resúmenes I Congreso Internacional sobre mejoramiento animal. La Habana. Cuba. pp 296.

193. Sánchez T., Lamela L., López Y.O. 2007. Caracterización de la comunidad vegetal en una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. cunningham characterization of the plant community in an association of improved grasses and *Leucaena leucocephala* cv cunningham. *Pastos y Forrajes*. 2007, 30(1), pp:455.
194. Sánchez, T., Esperance, Y., Lamela, L., López, O., Benítez, M. 2016. Efecto de la suplementación de un preparado de maíz y afrecho enriquecido con levadura *torula* en la dieta de toros en ceba final en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 2016, 39 (4):265-270.
195. Santana-Pérez, A. A., Borrás-Sandoval, L. M., Cheng, L., Verdecia-Acosta, D. M., Iglesias-Gómez, J. M., Vega-Albi, A. M., Ramírez-de-la-Ribera, J. L. 2019. Influencia de las dimensiones de las ramas de árboles forrajeros en el aprovechamiento por rumiantes. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 25-38.
196. Scannone, P. 1997. Consideraciones en el manejo de búfalos. II Jornadas de actualización en medicina y producción de rumiantes. Maracay, Venezuela, (19) (PDF) A comparative study of milk composition and stability of Murrah river buffaloes and Holstein cows grazing star grass. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/279541551\\_A\\_comparative\\_study\\_of\\_milk\\_composition\\_and\\_stability\\_of\\_Murrah\\_river\\_buffaloes\\_and\\_Holstein\\_cows\\_grazing\\_star\\_grass](https://www.researchgate.net/publication/279541551_A_comparative_study_of_milk_composition_and_stability_of_Murrah_river_buffaloes_and_Holstein_cows_grazing_star_grass) [accessed May 31 2021].
197. Searle, A. G. 1968. Comparative genetics of coat colour of mammals. Logos Press.
198. Senra, A. 1982. Estudio sobre el número de cuartones por grupo para vacas lecheras en pastoreo. La Habana: ICA – ISCAH, 1982. 192p.
199. Sevegnani, K.B. Priscila, D.F, Bueno. M., Silvia H., A. 2013. Efeito da aspersão de água, do sombreamento e do banho de imersão na capacidade termorregulatória e no ganho de peso de bubalinos capacity and weight gain of buffaloes. *Revista na Agricultura*. ISSN: 1808-8757. 28. 2007., pp.25–32.
200. Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P.B., Modenese-Gorla Da Silva, S.H. 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Eng. Agric*. 36, 1–12
201. Shafie, M. M. 1985. Physiological responses and adaptation of water buffalo. In Yousef MK (ed.), *Stress Physiology in Livestock*, 2, Ungulates, Florida, USA: CRC, 67.
202. Shafie, M.M. 1992 Biological adaptation of Buffaloes to climatic conditions. In *Prospects of buffalo production in the Mediterranean and*

- the Middle East; International Center for Agriculture: Doki (Cairo), Egypt, 1992; pp. 176–185. 11.
203. Silanikove, N. 1992. Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Production Science*, v. 30, p. 175-194, 1992.
204. Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. Volume 67, Issues 1–2, December 2000, Pages 1-18.
205. Silva, J. A. R., Araújo, A.A., Lourenço, J.B., Santos, N. F. A. Garcia, A. Rossetto, N., Benjamim, S. 2011. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 2011, 46(10), pp.1364–1371.
206. Silva, R.G. 2000. *Introdução À Bioclimatologia Animal*. São Paulo: Nobel, 2000.
207. Simón, L. 2012. Del monocultivo de pastos al silvopastoreo: La experiencia de la EEPF Indio Hatuey. En: L. Simón, ed. *Silvopastoreo. Un nuevo concepto de pastizal*. Matanzas, Cuba. EEPF: Indio Hatuey. p. 11-24, 2012.
208. Simón, L. and Galloso, M.A. 2008. Efecto de la arborización en la crianza de búfalos de río. *Zootecnia Tropical*. 26(3):399-401. 2008.
209. Simón, L., Galloso, M. 2008. Evaluación del comportamiento productivo de búfalos de río en sistema arborizado y en monocultivo de gramíneas Evaluation of the productive performance of river buffaloes in system with trees and grass monocrop. *Revista pastos y Forrajes*. Vol.31-2. pp:173-179.
210. Simón, L., Hernández, I., Ojeda, F., Toral, O., González, Y., Matías, C., Pérez, A., Navarro, M., Corbea, L.A., Blanco, F., Pentón, G., Hernández, M. Sanchez, S., Crespo, G., Alonso, O., Lezcano, J.C., Sánchez, T., López, O., Pedraza, R., Iglesias, J. M., Hernández, D., Lamela, L., Esperance, M., Soca, M., Reyes, F., Galloso, M. 2012. *Silvopastoreo un nuevo concepto de pastizal*. ISBN: 978-959-7138-07-5 © 2012, EEPF “Indio Hatuey”. Central España Republicana CP 44280. Matanzas, Cuba.
211. Simón, L., and Galloso, M. 2011. Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba Presence and perspective of buffaloes in Cuban. *Pastos y Forrajes*,34(1), 3–20.
212. SISTEBUF, 2009. *Manual de crianza de búfalo en cuba*. Editado por: MINAG.
213. Smith, T., Mlambo, V., Sikosana, J. L. N., Maphosa, V., Mueller-Harvey, I., Owen, E. 2005. *Dichrostachys cinerea* and *Acacia nilotica* fruits



- as dry season feed supplements for goats in a semi-arid environment: Summary of a DFID funded project in Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology*, 122(1–2), 149–157.
214. Smothin, Revange, Doll 2008. World Development Report. 2004. The environment wather stress indicator the total water use in relation to water avality. Reporte del Programa de Naciones Unidas para el desarrollo en el año 2006.
215. Soares, A. M dos Santos., Alves de Araújo, S., Gomes Lopes, S., Martins L. C. J., Martins dos Santos Soares, A., et al. 2015. "Anthelmintic Activity of *Leucaena Leucocephala* Protein Extracts on *Haemonchus Contortus*." *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 24(4):396–401.
216. Soca, M., y Simón, L., y Roque, E. 2007. "Árboles y nemátodos gastrointestinales en bovinos jóvenes: Un nuevo enfoque de las investigaciones." *Pastos y Forrajes*, vol. 30, no. , 2007, pp.
217. Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Hashem, N.M., Sallam, S.M.A. 2019. Impact of supplementary *Moringa Oleifera* leaf extract on ruminal nutrient degradation and mitigation methane formation in vitro Egyptian. *J Nutr Feeds*. 2019. 22:55–62.
218. Souza, A. D., Lencioni titto E. A., Franco Pereira, A. D., Gonçalves titto, C. y Da Cunha, M. 2007. Comportamiento de búfalos en pastoreo con disponibilidad de sobra y agua para inmersión. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 2, p. 167-175, abr./jun. 2007. Universidad de Sao Pablo Brasil.
219. Souza de Abreu, M. H. 2002. Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Thesis. CATIE, Turrialba, CR.
220. Suryanto, B., Arifin, M. and Rianto, E. 2002. Potential of swamp buffalo development in central java, indonesia. *Buffalo Bulletin* (March 2002) Vol.21 No. 1 3.
221. Thi, M., Van Binh, D., and Ørskov, E. R. 2005. "Effect of Foliages Containing Condensed Tannins and on Gastrointestinal Parasites." 121:77–87.
222. Thorhallsdottir, A.G., et al.1987. *App. Anim. Behav. Sci.* 18:327-340.
223. Titto, E. A. L., Velloso, L., Zanetti, M.A., Cresta, A., Toledo, L.R.A., Martins, J. H. 1998. Teste da tolerância ao calor em novilhos nelore e marchigiana. *Revista Portuguesa de Zootecnia Zootecnia*, v. 5, n. 1, p. 67-70, 1998.
224. Titto, E. A. L., Russo, H.G., Lima C.G. 1996. Efeito do banho de água sobre o conforto térmico de bubalinos. In: Congresso de zootecnia, 6., 1996. *Actas. Évora*, 1996. v. 1, p. 15-18.

225. Titto, E. A. L. 1998. Clima – Influência na produção de leite: ambiência na produção de leite em clima quente. Piracicaba: FEALQ, 1998.
226. Toral, O.C. and J. M. Iglesias. 2012. "Evaluation of forage tree and shrub accessions during the establishment period." *Pastos y Forrajes* 35(1):17–28.
227. Toral, O. C., Iglesias, J. M. 2008. Selectividad de especies arbóreas potencialmente útiles para sistemas de producción ganaderos. *Zootecnia Tropical*. 26(3):197-200.
228. Toral-Pérez, O.C., Iglesias-Gómez, J.M., Aguilar, A. 2019. Selectividad de especies arbóreas por búfalos en pastoreo Avances en Investigación Agropecuaria Aia. 2019. 23(3): 41-54.
229. Tucker, C.B., Rogers, A.R., Schütz, K.E. 2008. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Applied Animal Behavior Science* 2008:03.015.
230. Tulloch, D. G. 1992. Behaviour of non-domesticated swamp buffaloes in Australia. In:TULLOH, N. M., HOLMES, J.H.G. Buffalo production. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 247-270. (World Animal Science, C6).
231. Upadhyay, R.C., Singh, S. V., Kumar, A., Gupta, S.K., Ashutosh, A., 2007. Impact of Climate change on Milk production of Murrah buffaloes. *Ital. J. Anim. Sci.* s2.132.
232. Valenciaga, D., López, J.R., Chongo, B., Saliba, E., La O, O., Cairo, J.G. 2007. Consumo y digestibilidad aparente de nutrientes en búfalas de río (*Bubalus bubalis*) alimentadas con Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3),249-252.
233. Varlyakov, I. K., Sivkova, H. Trufchev, 1997. Diet change influence on feeding behaviour of buffalo-calves and calves. V World Buffalo Congress, Caserta, Italy, 13-16 December 1997, 354-357.
234. Varlyakov, I., Sivkova, K., Trufchev, H., Tzankova, M. 1994. Influence of structure of the diet on feeding behaviour of buffalo calves and calves. Proc. IV World Buffalo Congr. Brazil, pp. 260.
235. Waghela, C. R., Parnerkar, S., Barbadikar, M. 2016. Effect of Feeding Bypass Protein Feed on Milk Production, Composition and Return over Feed Cost from Buffaloes of Tribal Areas in Panchmahal and Vadodara Districts. *International Journal of Livestock Research*, 6 (2), 63- 70.
236. Wanapat, M., Phesatcha, K., Kang S. 2016. Rumen adaptation of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) by high level of urea supplementation when fed on rice straw-based diet. *Trop Anim Health Prod* (2016) 48:1135–1140.

237. Wang, X., Bjerg, B. S., Choi, C. Y., Zong, C., Zhang, G. 2018. A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. *J. Therm. Biol.* 77:24-37, 2018.
238. Wencomo, H. B. 2002. Nota Técnica: Aceptabilidad Y Capacidad De Rebrote. *Pastos y forrajes.*25:3. 161-169p. 2002.
239. Wencomo, H. B., Ortiz, R. 2012. Comportamiento de la disponibilidad de biomasa y la composición química en 23 accesiones de *Leucaena* spp. *Pastos y forrajes.* 35:1. 43-56p. 2012.
240. Wencomo, Hilda B., R. Ortiz. 2010. "Phenological Performance of 23 *Leucaena* spp. Accessions. "Pastos y Forrajes": 33(4):1-12.
241. Yadav, B., Pandey, V., Yadav, S., Singh, Y., Kumar, V., Sirohi, R. 2016. Effect of misting and wallowing cooling systems on milk yield, blood and physiological variables during heat stress in lactating Murrah buffalo. *Journal of Animal Science and Technology* 2016, 58:2.
242. Yáñez-Pizaña, A., de la Cruz-Cruz, L. A., Tarazona-Morales, A., Roldan-Santiago, P., Ballesteros-Rodea, G., Pineda-Reyes, R., Orozco-Gregorio, H. 2020. Physiological and Behavioral Changes of Water Buffalo in Hot and Cold Systems. *Journal of Buffalo Science* 2020, 9, 110-120.
243. Yousef, MK. 1985. *Stress Physiology in Livestock, 2, Ungulates*, Florida, USA: (ed.). CRC, 67.
244. Zhaobing, Gu., Shuli, Y., Jing L., Shaohong X., Shoukun T., Chuanbin L., Gao Y., Huanming M. 2016. Impacts of shade on physiological and behavioral patten of Dehong buffalo calves under high temperature. *Applied Animal Behaviour Science.* Volumen 177, Abril 2016, pp 1-5.
245. Zicarelli, L. 1994. *Water buffalo. II.* Trai. Cour. Biot. Reprod. Buff. Sao Paulo. Brasil.





*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## **Publicaciones indexadas.**

*Potential of silvopastoral systems for water buffalo production in tropical environment.*

## Article

# Thermoregulatory and Feeding Behavior under Different Management and Heat Stress Conditions in Heifer Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) in the Tropics

Maykel Andrés Galloso-Hernández <sup>1,\*</sup>, Mildrey Soca-Pérez <sup>2</sup>, Devon Dublin <sup>3</sup>, Carlos Armando Alvarez-Díaz <sup>4</sup>, Jesús Iglesias-Gómez <sup>2</sup>, Cipriano Díaz-Gaona <sup>1</sup> and Vicente Rodríguez-Estévez <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Production, Veterinary of Faculty, Córdoba University, 14071 Córdoba, Spain; pa2digac@uco.es (C.D.-G.); pa2roesv@uco.es (V.R.-E.)

<sup>2</sup> Experimental Station: “Indio Hatuey”, Central España Republicana, Matanzas 44280, Cuba; mildrey@ihatuey.cu (M.S.-P.); iglesias@ihatuey.cu (J.I.-G.)

<sup>3</sup> Language Department, Hokkaido University of Education, Program Advisor, Sapporo 060-8611, Japan; devdub@yahoo.com

<sup>4</sup> Academic Unit of Agrarian Science (UACA), University Technician of Machala, El Oro 070211, Ecuador; arma25cu@yahoo.com

\* Correspondence: z62gahea@uco.es



**Citation:** Galloso-Hernández, M.A.; Soca-Pérez, M.; Dublin, D.; Alvarez-Díaz, C.A.; Iglesias-Gómez, J.; Díaz-Gaona, C.; Rodríguez-Estévez, V. Thermoregulatory and Feeding Behavior under Different Management and Heat Stress Conditions in Heifer Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) in the Tropics. *Animals* **2021**, *11*, 1162. <https://doi.org/10.3390/ani11041162>

Academic Editors: Alfredo Paucullo and Gianfranco Cosenza

Received: 5 March 2021

Accepted: 13 April 2021

Published: 18 April 2021

**Publisher’s Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Simple Summary:** Silvopastoral systems can modulate the thermoregulatory behavior of buffaloes decreasing the heat stress and improving the animal welfare in the tropics. The objective of this study was to compare the behavior of heifer buffaloes in a silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* trees and a conventional system without trees under two heat stress condition (intense heat stress and moderate heat stress) in Cuba. The results show that despite intense heat stress conditions, the animals spent more time feeding in the silvopastoral system than in the conventional system. Besides, the silvopastoral system reduced the use of water in the wallowing areas. We conclude that pastures with trees increase fodder offer while improve grazing behavior and animal welfare for buffalo farming in tropical conditions.

**Abstract:** In the wake of climate change and global warming, the production systems of water buffaloes (*Bubalus bubalis*) are receiving increasing attention in the tropics, where the silvopastoral systems can improve animal welfare and production conditions. The objective of this study was to characterize the behavior of heifer buffaloes in a silvopastoral system (SPS) with *Leucaena leucocephala* (600 trees/ha) and in a conventional system (CVS), under intense heat stress and moderate heat stress in Cuba. We observed nine animals, with an average weight of 167.9 kg at the beginning of the study, during the daylight period, from 6:00 to 18:00 h, at 10 min intervals, for 12 days. Activities recorded were grazing, ingestion of tree leaves, rumination, water intake, walking, lying, standing, sheltering in the shade of trees, and wallowing. Sheltering in the shade of trees and wallowing were collectively considered as thermoregulatory behavior (TB). TB was different in both systems and conditions of heat stress ( $p < 0.05$ ), with 4.06 in CVS and 3.81 h in SPS in the intense heat stress period, while it was 2.91 and 1.08 h for SPS and CVS, respectively, during the moderate heat stress period. The wallowing activity showed statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in the intense heat stress season with 1.18 and 2.35 h for SPS and CVS, respectively. Time spent on feeding behavior was highest in the SPS system ( $p < 0.05$ ). Longer times of thermoregulatory and feeding behavior indicate the importance of trees in animal welfare for this species in tropical conditions, thus supporting avoided deforestation and the replanting of trees in existing production systems and landscapes.

**Keywords:** feeding behavior; grazing; browsing; wallowing; animal welfare; silvopastoral system; heat stress

## 1. Introduction

The water buffalo (*Bubalus bubalis*) is a species that has been recently introduced in Cuba [1–3] and other tropical countries in the Americas such as Brazil and Colombia [4], where they are managed in grazing systems with the provision of shade [4–6].

With the increase in solar radiation, and the increase in temperature because of climate change [7], animals are forced to change their habits during the daylight period, when the stressors of climate have a higher influence on their behavior [8]. Heat stress affects animal behavior, causes production losses, and can impair animal welfare.

Alternatives such as the use of trees, changes in management and grazing schedules, and the genetic improvement of species more in line with the new climatic conditions are some of the strategies considered to address this issue [9].

Housing systems and pastoral systems with different forest arrangements for buffaloes are known in Latin American countries [10–12]. For example, buffaloes housed with artificial shade and water sprinklers for cooling in a monocropping natural grass system are observed in the wallowing area to release excess heat [5,6]. In this regard, Simon and Galloso [6] found a better milk production per hectare and a better daily weight gain of buffaloes reared in silvopastoral systems (SPSs) in comparison with conventional systems (CVSs). Recently, a higher daily weight gain was reported for buffaloes compared to bovine males during the growing phase in a silvopastoral system [2].

However, the effect of trees on the grazing behavior of buffaloes in hot-humid conditions has not been studied in depth, and it is not known whether the presence of trees can help their thermoregulatory behavior and increase grazing activity while simultaneously reducing wallowing time.

Hence, the objective of this research was to characterize foraging activity and thermoregulatory behavior of heifer buffaloes in the tropics in SPSs and CVSs, comparing both in the intense heat stress and moderate heat stress conditions in Cuba.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Study Site and Animals

The study was conducted in Périco, Matanzas, Cuba, located at 22°48'7" latitude north and 81°1' longitude west (19.01 msm), in hydrated red ferralitic soil under climatic conditions [2] that were previously described by Galloso-Hernández et al. [11]. Buffaloes used were heifers of 12–18 months of age with an average weight of 167.9 kg (at the beginning of the experimental period) and subjected to the management regime outlined by Galloso-Hernández et al. [11]. The animals engaged in grazing pasture during the day and were taken to a paddock at night. In the grazing area, they had access to a wallowing area, natural shade under trees (*Dichrostachys cinerea*), while drinking water and mineral salts were provided ad libitum.

### 2.2. Experimental Design and Description of Production Systems

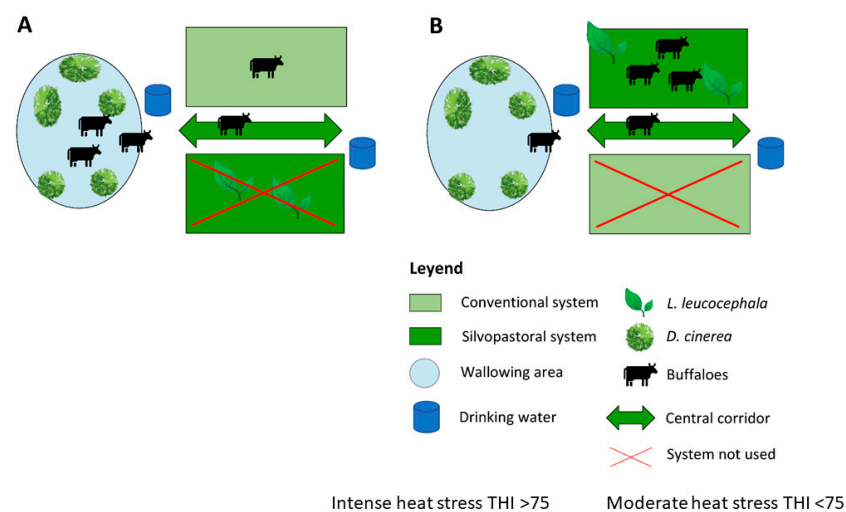
We studied the influence of different heat stress conditions on the thermoregulatory and feeding behavior of heifer buffaloes in two production systems. The experimental design followed a longitudinal analysis method in the same group of animals under four different experimental conditions previously described [11] and shown in Table 1. This method was used because it sought to minimize individual variability, reduce agonistic behaviors, and monitor the influence of experimental conditions over time.



**Table 1.** Outline of experimental conditions.

Treatments	Description	Month of Measurement	Total Number of Observations	Frequency (minutes)	Days of Evaluation	Number of Observation Cycles	Hours of Observation
T1	Conventional system in intense thermal stress	May	875	10	3	216	36
T2	Conventional system in moderate heat stress	November	875	10	3	216	36
T3	Silvopastoral system in moderate thermal stress	May	875	10	3	216	36
T4	Silvopastoral system in intense thermal stress	November	875	10	3	216	36

Measurements were made in 12 h day cycles for three consecutive days in each experimental condition (T1, T2, T3, and T4), totaling 12 days. Animals were first placed in Experimental Condition 1 followed by Experimental Conditions 4, 2, and 3, respectively. Between Treatments 1 and 4 and between Treatments 2 and 3, there was an adaptation time of 15 days where they were subjected to the same management and adaptation recommended by Martyn and Bateson [12]. This adaptation period ensured that the previous experimental condition did not influence the next experimental condition to which they were subjected. The experimental area of study (i.e., conventional system (CVS) only pastures, Figure 1A) and the silvopastoral system (SPS)(i.e., pastures combined with trees, Figure 1B); under two conditions of heat stress, moderate (THI < 75) and intense (THI > 75 is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Description and classification of site of study. conventional system (CVS) only pastures, Figure 1A, pastures combined with trees, Figure 1B.

### 2.3. Temperature and Humidity Index

We measured the temperature-humidity index (THI) [13], which was calculated using the formula  $THI = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)]$ , where T is the air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and RH is the relative humidity (%).

We determined heat stress to be intense (THI > 75) and moderate (THI < 75), as was reported by Pérez et al. [8] when describing the conditions of intense heat stress in Cuba (from May to October) and the conditions of moderate heat stress (from November to April). The experimental measurements were made at the beginning of each season, in the months of May and November, respectively (Table 1). The environmental temperature and relative humidity of the site was measured for each system under moderate heat stress and intense heat stress at the height of the withers in animals, as was reported previously [11].

### 2.4. Behavioral Observations

Feeding and thermoregulatory behaviors of buffaloes were measured using the direct observation method [11,14]. The number of animals for each activity between each measurement interval was recorded. The time spent was calculated based on the application of the equation as proposed by [14,15]. Each observation cycle consisted of 72 observations made over three days with a 10 min interval between observations from 6:00 to 18:00 h (Table 1). We then grouped the related variables. Active feeding behavior was calculated as the sum of grazing and browsing. Feeding behavior was determined as the sum of active grazing behavior, rumination, and water consumption. Thermoregulatory behavior was considered as the sum of wallowing and shading behavior (Table 2).

**Table 2.** Description of recorded activities.

Behavioral Activity	Description
<b>Active feeding behavior</b>	
Grazing	Time spent eating grass in the paddocks
Browsing	Time spent browsing, i.e., the process of consuming the tips of branches and tree leaves.
<b>Passive feeding behavior</b>	
Rumination	Time spent on rumination, i.e., the process of regurgitating previously ingested food and masticating it a second time.
Water intake	Time spent on water intake, i.e., consuming water in the central corridor.
<b>Thermoregulatory behavior</b>	
Shading	Performing any activity under the trees (in the systems without trees, it was possible in the wallowing area).
Wallowing	Time spent wallowing, i.e., having a bath in the pond of water to cool.
<b>Others</b>	
Walking	Moving from one place to the next
Lying down	Lying, resting, or ruminating in a decubitus position *
Standing	Standing without any other activity or ruminating *

\* This activity can be simultaneous with other activities.

### 2.5. Statistical Analysis

The SPSS<sup>®</sup> software version 25 was used for statistical analysis (IBM Corp<sup>®</sup>, accessed on 15 April 2021). An analysis of variance (ANOVA) was applied to find the differences between the behaviors, considering the levels of intense and moderate heat stress and the type of system (silvopastoral or conventional). We determined the analysis of variance after checking the distribution of normality of the times dedicated to each activity by utilizing the Kolmogorov–Smirnov test. The average time dedicated to each activity was compared by stress levels and systems with Duncan’s multiple range comparison test [16] in order to detect the inequalities between the means.

## 3. Results

### 3.1. Environmental Conditions

During the moderate heat stress period, temperature (T) and relative humidity (RH) did not show significant differences between the CVS and the SPS. However, in the intense heat stress period, when the values of temperature increased exponentially as daylight hours advanced, temperature was always 2 °C lower in the SPS around midday (Table 3).

**Table 3.** Temperature and relative humidity values registered for each system (with or without trees) and season of rain (light or heavy) in the research area.

	Definition	N	Temperature (°C)	Relative Humidity	Temperature–Humidity Index
T1	Conventional system under intense heat stress	875	33.01 (±7.63) <sup>b</sup>	53.41 (±20.98) <sup>a</sup>	81.75 (±18.53) <sup>b</sup>
T2	Conventional system under moderate heat stress	875	29.31 (±12.80) <sup>a</sup>	51.07 (±25.44) <sup>a</sup>	76.12 (±16.79) <sup>a</sup>
T3	Silvopastoral system under moderate heat stress	875	28.97 (±7.78) <sup>a</sup>	51.63 (±21.95) <sup>a</sup>	76.40 (±8.61) <sup>a</sup>
T4	Silvopastoral system under intense heat stress	875	31.00 (±5.86) <sup>a,b</sup>	59.31 (±18.60) <sup>b</sup>	79.98 (±6.34) <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Means in the same column with different superscripts differ significantly ( $p < 0.05$ ). N: number of observations.

The RH was higher in the SPS in the intense heat season. According to Penton and Blanco [17], this is explained because this humidity is introduced into the system by the tree cover and the effect of accumulative humidity in the grass.

### 3.2. Grazing and Feeding Behaviors

The highest and the lowest fodder availability for the SPS during the intense heat stress season and the CVS during the moderate heat stress season were 6.68 and 2.19 Ton (DM) Dry Matter/(ha) hectare and per rotation, respectively (Table 4). Moreover, the highest and the lowest grazing pressures during the intense heat stress period for the SPS and CVS were 23.07 and 8.52 Kg DM/100 kg BW, respectively.

**Table 4.** Fodder offer and grazing pressure.

Treatment	System and Season	Availability of Fodder in Dry Matter/ha and Per Rotation	Grazing Pressure
T1	Conventional system; intense heat stress	4.27 Ton/ha	8.52 Kg DM/100 kg body weight
T2	Conventional system; moderate heat stress	2.19 Ton/ha	14.8 Kg DM/100 kg body weight
T3	Silvopastoral system; moderate heat stress	3.92 Ton/ha	17.16 Kg DM/100 body weight
T4	Silvopastoral system; intense heat stress	6.68 Ton/ha	23.07 Kg DM/100 Kg body weight

DM (Dry matter).

The time spent on each activity is shown in Tables 5 and 6. During the intense heat stress season, the water intake was higher in the SPS than in the CVS with 0.35 vs. 0.07 h, respectively (Table 5).

During the intense heat stress period, there were significant statistical differences for the ingestion of leaves from trees; this was higher in the SPS than in the CVS ( $p < 0.05$ ), with 0.31 vs. 0.21 h dedicated to this activity, respectively. During the moderate heat stress period, the animals dedicated 0.71 vs. 0.10 h for the ingestion of leaves from trees in the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ) (Table 5). Ingestion of leaves in the CVS basically was executed in the wallowing plot browsing *D. cinerea*.

The feeding behavior showed significant differences between moderate and intense heat stress condition and systems ( $p < 0.05$ ), with the most time spent on these activities in the SPS during the intense heat stress (10.47 h) and the least time in the SPS during the moderate heat stress period (6.84 h) (Table 5).

During the moderate heat stress period, the grazing behavior did not show statistically significant differences between both systems, with an average of 4.82 h. However, this behavior was significantly different during the intense heat stress period, with 7.49 vs. 5.96 h, respectively, in the SPS and the CVS ( $p < 0.05$ ) (Table 5).

### 3.3. Thermoregulatory Behavior and Other Activities

During the intense heat stress period, the animals spent 1.18 vs. 2.35 h on wallowing for the SPS and the CVS systems, respectively ( $p < 0.05$ ). In addition, during this season, the animals were sheltering in the shade of trees during 2.62 vs. 1.71 h in the SPS and in the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ) (Table 6).

Sheltering in the shade of trees had remarkable differences in the moderate heat stress condition with 1.99 vs. 0.61 h for the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ) (Table 6).

**Table 5.** Comparison of the grazing behavior of the water buffaloes depending on the pastoral system and the season: mean number of animals doing the activity (standard error) and time in hours.

Treatment	Definition	Grazing (G)		Rumination (R)		Water Intake (D)		Ingestion of Leaves from Trees (B)		G + B		Feeding behavior (FB) (G + R + D + B)	
		Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)
T1	Conventional system under intense heat stress	5.22 <sup>a</sup> ± 1.07	4.31 <sup>a</sup>	2.62 <sup>b</sup> ± 0.99	4.40 <sup>b</sup>	0.33 <sup>a</sup> ± 0.24	0.07 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup> ± 0.37	0.21 <sup>a</sup>	5.36 <sup>b</sup> ± 0.74	5.96 <sup>b</sup>	8.17 <sup>c</sup> ± 0.44	9.08 <sup>c</sup>
T2	Conventional system under moderate heat stress	4.97 <sup>a</sup> ± 1.18	5.52 <sup>a</sup>	2.72 <sup>b</sup> ± 1.14	3.02 <sup>b</sup>	0.23 <sup>a</sup> ± 0.22	0.25 <sup>a</sup>	0.10 <sup>ab</sup> ± 0.31	0.1 <sup>ab</sup>	4.47 <sup>a</sup> ± 0.83	4.95 <sup>a</sup>	6.83 <sup>b</sup> ± 0.44	7.61 <sup>b</sup>
T3	Silvopastoral system under moderate heat stress	5.54 <sup>a</sup> ± 1.15	6.15 <sup>a</sup>	3.01 <sup>b</sup> ± 1.12	3.44 <sup>b</sup>	0.24 <sup>a</sup> ± 0.26	0.26 <sup>a</sup>	0.64 <sup>c</sup> ± 0.64	0.71 <sup>c</sup>	4.23 <sup>a</sup> ± 0.83	4.70 <sup>a</sup>	6.16 <sup>a</sup> ± 0.44	6.84 <sup>a</sup>
T4	Silvopastoral system under intense heat stress	5.5 <sup>a</sup> ± 1.04	6.56 <sup>a</sup>	2.40 <sup>b</sup> ± 1.07	3.0 <sup>b</sup>	0.28 <sup>a</sup> ± 0.24	0.35 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b</sup> ± 0.57	0.31 <sup>b</sup>	6.74 <sup>c</sup> ± 0.82	7.49 <sup>c</sup>	9.42 <sup>d</sup> ± 0.44	10.47 <sup>d</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Averages in the same column with different superscripts differ significantly for the level  $p < 0.05$ . Feeding behavior (FB); Time in hours (h).

**Table 6.** Comparison of the thermoregulatory behavior and other activities of water buffaloes depending on the pastoral system and the season: mean number of animals (standard error) and time in hours.

Treatment	Definition	Lying Down		Standing		Walking		Shading		Wallowing		Thermoregulatory Behavior	
		Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)	Number of Animals	Time (h)
T1	Conventional system under intense heat stress	2.49 <sup>a</sup> ± 0.48	2.24 <sup>a</sup>	3.63 <sup>ab</sup> ± 0.53	3.26 <sup>ab</sup>	4.75 <sup>a</sup> ± 0.54	4.27 <sup>a</sup>	1.90 <sup>b</sup> ± 1.02	1.71 <sup>b</sup>	2.62 <sup>c</sup> ± 1.02	2.35 <sup>c</sup>	4.52 <sup>cd</sup> ± 0.92	4.06 <sup>cd</sup>
T2	Conventional system under moderate heat stress	2.10 <sup>a</sup> ± 0.46	1.89 <sup>a</sup>	3.41 <sup>a</sup> ± 0.51	3.06 <sup>a</sup>	4.42 <sup>a</sup> ± 0.5	3.97 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup> ± 0.94	0.61 <sup>a</sup>	0.52 <sup>a</sup> ± 0.94	0.46 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup> ± 0.84	1.08 <sup>a</sup>
T3	Silvopastoral system under moderate heat stress	2.26 <sup>a</sup> ± 0.48	2.03 <sup>a</sup>	4.07 <sup>b</sup> ± 0.5	3.66 <sup>b</sup>	4.77 <sup>a</sup> ± 0.5	4.29 <sup>a</sup>	2.22 <sup>b</sup> ± 1.01	1.99 <sup>b</sup>	0.77 <sup>ab</sup> ± 1.01	0.69 <sup>ab</sup>	2.99 <sup>b</sup> ± 0.80	2.91 <sup>b</sup>
T4	Silvopastoral system under intense heat stress	2.27 <sup>a</sup> ± 0.48	2.04 <sup>a</sup>	3.08 <sup>a</sup> ± 0.52	2.77 <sup>a</sup>	4.44 <sup>a</sup> ± 0.53	3.99 <sup>a</sup>	2.92 <sup>c</sup> ± 1.10	2.62 <sup>c</sup>	1.32 <sup>b</sup> ± 1.10	1.18 <sup>b</sup>	4.24 <sup>c</sup> ± 0.97	3.81 <sup>c</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Averages in the same column with different superscripts differ significantly for the level  $p < 0.05$ . Time in hours (h).

The sum of wallowing and sheltering, considered as thermoregulatory behavior, showed significant differences between the systems depending on the heat stress level. Under moderate heat stress, it was 2.91 h vs. 1.08 h in the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ); in the intense heat stress period, this thermoregulatory was 4.06 vs. 3.81 h for the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ) (Table 6).

It was found that there were no statistically significant differences between lying down and walking under both heat stress conditions, but figures were higher in the CVS system (Table 6).

During the moderate heat stress period, the animals spent 3.66 vs. 3.06 h standing for the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ); under the intense heat stress, they spent 2.77 vs. 3.26 h standing for the SPS and the CVS, respectively ( $p < 0.05$ ) (Table 5).

### 3.4. Correlations between Grouping Variables of Behaviour

The analysis of correlations of Pearson between grouping variables showed that the grazing and feeding behaviors have significant correlation ( $r = 0.608$ ;  $p < 0.01$ ), while the feeding and thermoregulatory behaviors showed a high correlation ( $r = 0.83$ ;  $p < 0.01$ ).

## 4. Discussion

The dry season in Cuba coincides with moderate temperatures, which is favorable for animal welfare; however, a harsher season, with higher temperatures, would have a negative effect on animal welfare [9,11,18,19]. The HR season is the period of the year when animals developed intense heat stress and spent more time in the wallowing area, which is attributed to the higher temperature regime in that period, above 35 °C. Regardless of the expected comfort in the SPS, the animals were motivated to enter the water for immersion, although it is important to consider that the animals also had shade available in the wallowing area, where there were trees around the pond [20]. Frisch and Vercoe [21] indicated that this species has only one-sixth of the number of sweat glands of cattle (*Bos indicus*) and is sparsely covered with hairs. In addition, its dark skin, thick epidermis, and less dense sweat glands make it difficult for these animals to resist high temperatures and a dry environment [22]; hence, buffaloes tend to suffer heat stress when they are exposed to solar radiation [21] and seek water for immersion to avoid this stressful environmental condition [23]. It is important to consider that this species is well adapted to swamps and areas subject to flooding [24].

One of the limitations of this study was the reduced number of animals used, which in turn helped improve the effectiveness of behavioral records by reducing agonistic behaviors [12]. The longitudinal design additionally contributed to the robustness of the subsequent analyses in this study. This contributed to the understanding of the evolution of the behavior of these animals subjected to different conditions of thermal stress under shade and in the CVS, in accordance with what was previously described by Galloso [11].

The differences in time spent in the shade of trees in the moderate heat stress season between the SPS and the CVS are because, during this season, the paddocks had lower grass availability and were dryer, especially in the CVS system; hence, the animals of the SPS tried to satisfy their need for fodder grazing under the trees.

The relation established (animals, wallowing, and tree shade) is more complex than is simply observed when only wallowing is considered. While wallowing allows for cooling with water or mud, this cannot be considered as enough for animal welfare, because radiation in the head and spine is not avoided [11,20]. It would be interesting to have data on how radiation influences the temperature in different areas of the body, as was done under infrared thermography, through which microvascular changes in the head were previously studied, particularly in the area of the eye orbits and in the muscles of the spine, scrotum, or mammary gland [24,25], both while in and out the water, and with or without tree shade [26].

When buffaloes are more affected by stress factors (solar radiation, heat stress, and excess temperatures) [27,28], they prefer to eat in the shade [11,20,27]. This has been

described in other species; i.e., in cattle breeds of the tropics where time spent in the shade has been positively correlated with mean radiant temperature and solar radiation [29].

The statistical differences found (thermoregulatory behavior, wallowing, and browsing), particularly in the SPS during the intense heat stress season, have also been reported for grazing cattle in SPSs [2,10].

The differences in sheltering behavior during the intense heat stress season are probably influenced by the low nutritional values of the pastures in the CVS [26,30], which forces the animals to return earlier to the grazing paddock in order to satisfy their nutritional requirements.

Similar results for the thermoregulatory behavior in favor of silvopastoralism were reported by Yadav et al. [31] when comparing the influence of different methods of cooling down on productivity, and metabolic and blood profiles; they found that nebulization or wallowing favors blood indicators. In periods of greater heat stress, the silvopastoral environment reduces the temperature by 1.5 °C in comparison to direct sunlight [28]. Other cooling systems (showers and artificial shade) have been reported by Barros et al. [26] and Sevegnani et al. [29], and, with the use of infrared thermography, it was proven that the buffalo body temperature is reduced by around 2 °C.

An element to be considered on buffalo farms is that trees provide a better environment and assure more welfare in the tropics. Trees have advantages for hygrothermal stability in the farm [28] and food stability [1] and must be considered as important handling alternatives for the welfare of the species [6].

The results found of longer feeding behavior in the SPS could be attributed to the filter shade values, as was found by Penton and Blanco [17], who observed that trees such as *L. leucocephala* and other legume species offer filterable radiation in SPSs in the tropics and reported between 10% and 30% more production of dry matter of grass in SPSs compared with monoculture pastures [30,32].

It is known that SPSs (pastures, trees, and animals) contribute to improving the condition of the grass (more nutritional values) and animal welfare [18,30,33]; this is also the case in other latitudes, species, and agroforestry systems [34].

The time spent ingesting tree leaves was always higher in the SPS, which is quite obvious, although the consumption of tree branches was also possible when the animals were in the wallowing area in both systems. This means an additional effort is required to browse this resource in the CVS, because this fodder was only available there while they wallowed under the *D. cinerea* canopy.

These observations confirm the importance of feeding ruminants with branches or tree fodders as a nutritional complement of the ration. It is known that the ingestion of leaves from trees favors the uptake of nitrogen, and this could be the cause of the increase in its consumption, helping the ruminal microflora, as reported by Wanapat and Phesatcha [35]. Hence, it is important to consider the role of trees in increasing the supply of nitrogen in a diet at times when pastures are not meeting the requirements of animals [36]. Different authors [18,32,33] reported that, when SPSs have high edible biomass availability (higher than 30 Ton DM/ha and year), of which pasture represents 75–90% of the fresh diet intake and tree foliage represents 10–25% of the fresh fodder, animals improve their performance.

*Leucaena* produces between 14.2 and 18.0 Ton DM/ha a year with irrigation (whole plant) and between 7 and 14 Ton DM/ha a year under rain-fed conditions [32,33]. Its contents of DM (24–27%), protein (20–24.26%), DAF (30%), Ca (0.83–2.0%), and P (0.29–0.38%) fluctuate.

*D. cinerea* is an invasive species in Cuba and its nutritional composition is 44.2% DM, 14.7% protein, and 30.3% DNF [37].

The sum of activities included in grazing behavior (grazing and ingestion of tree leaves) showed a significant correlation with the sum of activities included in feeding behavior (grazing, rumination, the ingestion of tree leaves, and water intake). Furthermore, the thermoregulation behavior (wallowing and sheltering in the tree shade) showed an interesting correlation and corroborates how important the thermoregulation activities are in these conditions of intense heat stress.

Hence, tree shade is necessary because wallowing areas alone are not enough. Therefore, these animals need tree shade to complement their cooling needs.

In the CVS, the longer time spent wallowing under intense heat stress conditions, with 2.35 h, and the time positioned under the shade of the *D. cinerea* trees in the wallowing area, with 1.71 h, reflects the greater need for cooling in this season.

In the SPS during the intense heat stress season, the elevated combination of wallowing and shading, 1.18 h and 2.62 h, equivalent at 3.81 h in thermoregulatory behavior, suggests that the animals spend more time in the shade of trees to forage comfortably. However, wallowing does not seem to be as important under moderate heat stress conditions under SPS.

Obviously, there was sheltering under the shade of trees for a longer time in the SPS. Part of this time was spent positioned under the trees in order to browse tree leaves.

The less time spent in the shade of *D. cinerea* in the CVS and the wallowing behavior suggest that the animals replaced the activities of cooling for collecting food in the CVS paddock.

During the diurnal period, grazing is reduced by the influence of stressors, such as high temperature, and modifies some metabolic indicators related to animal welfare, such as thyroid hormones, respiratory rate, and rectal temperature [8,26]. In this regard, the highest index of consumption in the SPS in both stress conditions can be considered proof that grazing time increases when animals are less stressed [8].

The rumination reduction in intense heat stress conditions can be attributed to the better quality in the diet [30], despite a greater availability of fodder (Table 4). Furthermore, in the intense heat stress period, the rumination time increased in the SPS, in contrast to the CVS.

In the SPS, it is possible that an increase in bathing time during the intense heat stress season contributes to a reduction of foraging activities in the afternoon.

In short, these results (regarding time spent wallowing, grazing, and engaging in thermoregulatory behavior in the SPS) can explain the role played by trees distributed in the paddocks and can explain the most productive results found by some researchers in bovine [18,19,32] and in male buffaloes [2] in the tropics, with 0.775 kg/d of daily weight gain and 4.32 Ton DM/ha per rotation during 180 days of growth period for this species in the last studies to which we referred.

These elements can be particularly important to understanding why heifer buffaloes maintain their wallowing habits independently of the provision of natural shade, particularly because, as some authors suggest [6,38–40], more attention should be paid to shade to improve animal welfare and performance.

## 5. Conclusions

The feeding behavior of buffaloes is favored in silvopastoral systems, with a special influence on the ingestion of tree leaves. Furthermore, silvopastoralism is an alternative that can improve the management of different heat stress conditions and welfare of buffaloes in the tropics and could reduce the use or need for wallowing areas.

Further studies should determine the influence of shade on the temperature of different parts of the body in silvopastoral systems, and these systems with wallowing areas should be studied to determine whether this species can adapt to dry agroforestry systems. It would be convenient to introduce the use of the black globe temperature–humidity index (BGTHI) and employ infrared thermography cameras to increase the sensitivity in future research measurements.

In any case, everything shows that more attention should be paid to shade for animal welfare and to improve buffalo production in the tropics as a means of counteracting the effects of increased temperature due to climate change.



**Author Contributions:** Conceptualization and methodology, M.A.G.-H. and C.A.A.-D.; validation, M.A.G.-H., M.S.-P., and V.R.-E.; formal analysis, M.A.G.-H., J.I.-G., and C.A.A.-D.; investigation, M.A.G.-H.; resources, M.A.G.-H., M.S.-P., J.I.-G., C.D.-G., and V.R.-E.; data curation, M.A.G.-H., C.A.A.-D., and D.D.; writing—original draft preparation, M.A.G.-H., C.A.A.-D., D.D., C.D.-G., and V.R.-E.; writing—review and editing, C.D.-G., D.D., M.A.G.-H., and V.R.-E.; visualization, M.A.G.-H. and V.R.-E.; supervision, V.R.-E.; project administration, M.A.G.-H. and M.S.-P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the BIOMAS-CUBA project of the Swiss Cooperation Office in Cuba, the Ministry of Agriculture of the Republic of Cuba (COSUDE), the Experimental Station Indio Hatuey (MES, Cuba), and the Ministry of Agriculture of the Republic of Cuba (MINAG).

**Institutional Review Board Statement:** The experiment received the approval of the Scientific Council and the Ethics Committee of the “Indio Hatuey” Grass and Forage Experimental Station, Matanzas, Cuba. This was an observational study that did not involve any harm or cruelty to animals.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

**Acknowledgments:** We thank Alejandro Cabezas-Cruz (INRA, Paris, France), Luis Castañeda Pimienta, Felix Ramirez, Felix Ojeda García, Ramón Guirola, Carlos Mendoza, and María Guadalupe Pérez Rubalcaba (Grass and Forage Experimental Station: “Indio Hatuey”, Cuba) for their contribution in the measurements of these studies with heifer buffaloes, and we are also grateful for the contribution of Eliel González-García (INRA, Montpellier, France). Special recognition is due to Leonel Simón Guelmes who initiated the investigations with buffaloes in silvopastoral systems and conducted varying research related to this study at EEPFIH.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Simón, L.; Galloso, M. Evaluación del comportamiento productivo de búfalos de río en sistema arborizado y en mon-ocultivo de gramíneas. Evaluation of the productive performance of river buffaloes in system with trees and grass monocrop. *Rev. Pastos Forrajes* **2008**, *31*, 173–179. (In Spanish)
2. Iglesias-Gómez, J.; Galloso-Hernández, M.; Toral-Pérez, O.; Aguilar, A. Comportamiento Productivo y Conducta de Búfalos de Río y Toros Cebú En Silvopastoreo Productive Performance and Behavior of Grazing River Buffaloes and Zebu Bulls in a Silvopastoral System. *Pastos Forrajes* **2019**, *42*, 223–229.
3. Iraola, J.; Muñoz, E.; García, Y.; García, Y.; Hernández, J.L.; Tuero, O.; Moreira, E. Feeding behavior of male cattle under restricted grazing, supplemented with distiller maize grains during the dry period. *Cuba. J. Agric. Sci.* **2013**, *47*, 255–260.
4. Fundora, O. Performance of river buffaloes (*Bubalus bubalis*) from Buffalypso breed in feeding systems based on grazing: Fifteen years of research in the Instituto de ciencia animal. *Cuba. J. Agric. Sci.* **2015**, *49*. Available online: <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/issue/view/35> (accessed on 15 April 2021).
5. Minervino, A.H.H.; Zava, M.; Vecchio, D.; Borghese, A. *Bubalus bubalis*: A Short Story. *Front. Veter. Sci.* **2020**, *7*. [CrossRef]
6. Simón, L.; Galloso, M. Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba Presence and perspective of buffaloes in Cuba. *Pastos Forrajes* **2011**, *34*, 3–20.
7. Thornton, P.; Van De Steeg, J.; Notenbaert, A.; Herrero, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agric. Syst.* **2009**, *101*, 113–127. [CrossRef]
8. Pérez, H.; Mendoza, E.; Alvarez, J.L.; Fernández, O. Efecto del índice temperatura humedad sobre la secreción de hormonas tiroideas en novillas Holstein. *Rev. Salud Anim.* **1997**, *19*, 131–135.
9. Murgueitio, E.; Barahona, R.; Xochilt, M.; Chará, J.D.J.; Rivera, J. Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba* **2016**, *54*, 23–30. Available online: <http://www.lamjol.info/index.php/CEIBA/article/view/2774/2523> (accessed on 15 April 2021). [CrossRef]
10. Da Silva, J.A.R.; De Araujo, A.A.; Júnior, J.D.B.L.; Santos, N.D.F.A.D.; Garcia, A.R.; De Oliveira, R.P. Thermal comfort indices of female Murrah buffaloes reared in the Eastern Amazon. *Int. J. Biometeorol.* **2015**, *59*, 1261–1267. [CrossRef] [PubMed]
11. Galloso-Hernández, M.A.; Rodríguez-Estévez, V.; Alvarez-Díaz, C.A.; Soca-Pérez, M.; Dublin, D.; Iglesias-Gómez, J.; Guelmes, L.S. Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress. *Front. Veter. Sci.* **2020**, *7*, 393. [CrossRef]
12. Martyn, P.; Bateson, P. *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*, 3rd ed.; Tindall, B., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007; pp. 147–169.
13. Tucker, C.B.; Rogers, A.R.; Schütz, K.E. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2008**, *109*, 141–154. [CrossRef]

14. Petit, M. Emploi du Temps des Troupeaux de Vaches-Mères et de Leurs Veaux sur les Pâturages D'altitude de L'aubrac. *Ann. Zootech. INRA/EDP Sciences* **1972**, *21*, 5–27. [[CrossRef](#)]
15. Dumont, B.; Petit, M. An indoor method for studying the preferences of sheep and cattle at pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **1995**, *46*, 67–80. [[CrossRef](#)]
16. Duncan, D.B. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics* **1955**, *11*, 1. [[CrossRef](#)]
17. Pentón, G.; Blanco, F. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos. *Pastos Forrajes* **1997**, *20*, 101–110.
18. López-Vigoa, O.; Lamela-López, L.; Sánchez-Santana, T.; Olivera-Castro, Y.; García-López, R.; González-Ronquillo, M. Influencia de la época del año sobre el valor nutricional de los forrajes, en un sistema silvopastoril. *Pastos Forrajes* **2019**, *42*, 57–67.
19. Ku-Vera, J.C.; Ayala-Burgos, F.J.; Solorio-Sánchez, E.G.; Briceño-Poot, A.; Ruiz-González, A.T.; Piñeiro-Vázquez, M.; Barros-Rodríguez, A.; Soto-Aguilar, J.C.; Espinoza-Hernández, S.; Albores-Moreno, A.J.; et al. Tropical Tree Foliage and Shrubs as Feed Additives in Ruminant Rations. In *Nutritional Strategies of Animal Feed Additives*; Abdel Fattah, Z., Salem, M., Eds.; Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA, 2013; ISBN 978-1-62417-000-3.
20. Galloso-Hernández, M.; Rodríguez-Estevez, V.; Simón, L.; Alvarez Diaz, C.A. Comportamiento alimentario y aptitud de búfalos en sistemas arborizados (SSP) y sin arborización (SSA). In *Proceedings of the VI Congreso de jóvenes Investigadores. Creando Redes Doctorales: La generación del conocimiento*; Chica Pérez, A.F., Mérida García, J., Eds.; UCO Press Universidad de Córdoba: Córdoba, Spain, 2018; ISBN 978-84-9927-239-9.
21. Frisch, J.E.; Vercoe, J.E. Adaptive and productive features of cattle growth in the tropics: Their relevance to buffalo production. *Trop. Anim. Prod.* **1979**, *4*, 214–222.
22. Khongdee, T.; Sripoon, S.; Vajrabukka, C. The effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *Int. J. Biometeorol.* **2012**, *57*, 349–354. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Borghese, A.; Rasmussen, M.; Thomas, C.S. Milking management of dairy buffalo. *Ital. J. Anim. Sci.* **2007**, *6*, 39–50. [[CrossRef](#)]
24. Ariadna, Y.Á.; de la Cruz-Cruz, L.A.; Tarazona-Morales, A.; Roldan-Santiago, P.; Ballesteros-Rodea, G.; Pineda-Reyes, R. Physiological and Behavioral Changes of Water Buffalo in Hot and Cold Systems: Review. *J. Buffalo Sci.* **2020**, *9*, 110–120. [[CrossRef](#)]
25. Mota-Rojas, D.; Napolitano, F.; Braghieri, A.; Guerrero-Legarreta, I.; Bertoni, A.; Martínez-Burnes, J.; Cruz-Monterrosa, R.; Gómez, J.; Ramírez-Bribiesca, E.; Barrios-García, H.; et al. Thermal biology in river buffalo in the humid tropics: Neurophysiological and behavioral responses assessed by infrared thermography. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* **2021**, *9*, 2102. [[CrossRef](#)]
26. Gu, Z.; Yang, S.; Leng, J.; Xu, S.; Tang, S.; Liu, C.; Gao, Y.; Mao, H. Impacts of shade on physiological and behavioural pattern of Dehong buffalo calves under high temperature. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2016**, *177*, 1–5. [[CrossRef](#)]
27. Barros, D.; Silva, L.; Kahwage, P.; Júnior, J.L.; Sousa, J.; Silva, A.; Franco, I.; Martorano, L.; Garcia, A. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* **2016**, *68*, 422–430. [[CrossRef](#)]
28. Silva, J.A.R.D.; Araújo, A.A.D.; Lourenço Júnior, J.D.B.; Santos, N.D.F.A.D.; Garcia, A.R.; Nahúm, B.D.S. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2011**, *46*, 1364–1371. [[CrossRef](#)]
29. Sevegnani, K.B.; Fernandes, D.P.B.; Da Silva, S.H.M.-G. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Eng. Agrícola* **2016**, *36*, 1–12. [[CrossRef](#)]
30. Milera, M.C.; López, O.; Alonso, O. Principios generados a partir de la evolución del manejo en pastoreo para la producción de leche bovina en Cuba. Evolution of grazing management for dairy production in Cuba. Generated principles. *Pastos Forrajes* **2014**, *37*, 382–391.
31. Yadav, B.; Pandey, V.; Yadav, S.; Singh, Y.; Kumar, V.; Sirohi, R. Effect of misting and wallowing cooling systems on milk yield, blood and physiological variables during heat stress in lactating Murrah buffalo. *J. Anim. Sci. Technol.* **2016**, *58*, 1–10. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Simón, L.; Hernández, I.; Ojeda, F.; Toral, O.; González, Y.; Matías, C.; Pérez, A.; Navarro, M.; Corbea, L.A.; Blanco, F.; et al. *Silvopastoreo, un Nuevo Concepto de Pastizal.*, ed: EEPF “Indio Hatuey”; Central España Republicana CP: Matanzas, Cuba, 2012; ISBN 978-959-7138-07-5.
33. Milera, M.C. *Recursos Forrageros Herbáceos y Arbóreos*, 3rd ed.; Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio: Hatuey, Cuba, 2006; ISBN 9789597138051.
34. Moreno, G.; Moreno, G.; Pulido, F.J.; Pulido, F.J. The Functioning, Management and Persistence of Dehesas. In *Advances in Agroforestry*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 127–160.
35. Wanapat, M.; Phesatcha, K.; Kang, S. Rumen adaptation of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) by high level of urea supplementation when fed on rice straw-based diet. *Trop. Anim. Heal. Prod.* **2016**, *48*, 1135–1140. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Joele, M.R.S.P.; Júnior, J.D.B.L.; Faturi, C.; Garcia, A.R.; Nahúm, B.S.; Lourenço, L.F.H.; Oliveira, K.C.C. Sistemas silvipastoril e tradicional na Amazônia Oriental—produção e qualidade da carcaça e carne de búfalos. *Semin. Ciências Agrárias* **2013**, *34*, 2457. [[CrossRef](#)]
37. Espinosa, S.; Fontes, E.; Martínez, S.; Pedraza, R.; León, M. Composición química de hojas peciolos de marabú (*Dichrostachys cinerea*) a dos alturas secadas a temperatura ambiente y en estufa a 55 °C. *Rev. Prod. Anim.* **2020**, *32*, 68–72.
38. Carina, A.A.; Pereira, A.M.; Gonçalves, C.T.; Lencioni, E.A. What do Cattle Prefer in a Tropical Climate: Water Immersion or Artificial Shade? *J. Life Sci.* **2012**, *6*, 1356–1362.

- 
39. Brcko, C.C.; Da Silva, J.A.R.; Martorano, L.G.; Vilela, R.A.; Nahúm, B.D.S.; Silva, A.G.M.; Barbosa, A.V.C.; Bezerra, A.S.; Júnior, J.D.B.L. Infrared Thermography to Assess Thermoregulatory Reactions of Female Buffaloes in a Humid Tropical Environment. *Front. Veter. Sci.* **2020**, *7*, 180. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
  40. Moraes, R.J., Jr.; Garcia, A.R.; Santos, N.F.A.; Nahúm, B.S.; Lourenço, J.B., Jr.; Araújo, C.; Da Costa, N.A. Conforto ambiental de bezerros bubalinos (*Bubalus bubalis* Linnaeus, 1758) em sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. *Acta Amaz.* **2010**, *40*, 629–640. [[CrossRef](#)]





# Effect of Silvopastoral Systems in the Thermoregulatory and Feeding Behaviors of Water Buffaloes Under Different Conditions of Heat Stress

Maykel A. Galloso-Hernández<sup>1\*</sup>, Vicente Rodríguez-Estévez<sup>1</sup>, Carlos A. Alvarez-Díaz<sup>2</sup>, Mildrey Soca-Pérez<sup>3</sup>, Devon Dublin<sup>4</sup>, Jesús Iglesias-Gómez<sup>3</sup> and Leonel Simon Guelmes<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Production, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain, <sup>2</sup> Department of Basic Sciences, UACA Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador, <sup>3</sup> Department of Sustainable Systems, EEPF: Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, <sup>4</sup> Global Education Leadership Program, Hokkaido University of Education, Kushiro, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

André Mendes Jorge,  
São Paulo State University, Brazil

### Reviewed by:

Eva Voslarova,  
University of Veterinary and  
Pharmaceutical Sciences  
Brno, Czechia  
Yosra Ahmed Soltan,  
Alexandria University, Egypt

### \*Correspondence:

Maykel A. Galloso-Hernández  
z62gahea@uco.es

### †ORCID:

Maykel A. Galloso-Hernández  
orcid.org/0000-0002-4247-4840

### Specialty section:

This article was submitted to  
Animal Nutrition and Metabolism,  
a section of the journal  
Frontiers in Veterinary Science

**Received:** 23 March 2020

**Accepted:** 02 June 2020

**Published:** 17 July 2020

### Citation:

Galloso-Hernández MA,  
Rodríguez-Estévez V, Alvarez-Díaz CA,  
Soca-Pérez M, Dublin D,  
Iglesias-Gómez J and Simon  
Guelmes L (2020) Effect of  
Silvopastoral Systems in the  
Thermoregulatory and Feeding  
Behaviors of Water Buffaloes Under  
Different Conditions of Heat Stress.  
*Front. Vet. Sci.* 7:393.  
doi: 10.3389/fvets.2020.00393

Buffaloes use wallowing behavior to release excess heat in tropical conditions. The aim of this study was to evaluate the impact of silvopastoral systems in the feeding and thermoregulatory behavior of water buffaloes under moderate and intense heat stress. The behavior of water buffaloes was evaluated in two different production systems. The conventional system with Guinea grass (*Megathyrus maximus*) only, and the silvopastoral system with Guinea grass and *Leucaena leucocephala* trees. The relation between the frequency of animal activities and the length of time the animals engaged in each activity was measured during the day time (6:00–18:00 h) by visual observations at 10-min intervals. The results obtained suggest that buffaloes use tree shade to partially supplement wallowing. Feeding behavior increased under intense heat stress in the silvopastoral system indicating that it can be a promising alternative to improve the buffaloes rearing conditions in the tropics.

**Keywords:** buffaloes, silvopastoral system, feeding behavior, thermoregulatory behavior, *Leucaena*

## INTRODUCTION

The thermoregulatory behavior of water buffaloes in the tropics includes wallowing in water and shading (1, 2). The reduction in water reservoirs due to climate change can have a negative impact on buffalo production systems where wallowing is essential for thermoregulation (3). Heat stress reduces grazing and as a consequence, a reduction in the productive and reproductive indicators in water buffaloes (4). Previous studies in tropical environments revealed that silvopastoral systems influence the productivity of animals and their response to heat stress (5–7). The combination of leguminous trees and pastures increases 3-fold buffalo production per hectare when compared to systems that do not include trees (8). Trees increase the availability of food (pasture and tree leaves) (9), the nutritional value of grass, and improve soil characteristics by contributing to nitrogen fixation (10, 11). In addition, the inclusion of trees in grasslands has been linked to a decrease in parasitic diseases. For example, the inclusion of *Leucaena* trees reduces infection by *Haemonchus* and *Ostertagia* in buffaloes (12, 13) due to the presence of condensed tannins and polyphenols with antiparasitic effect in these trees (14).

It was suggested, that the use of leguminous trees in silvopastoral systems can replace the need for bathing water, thus becoming a promising alternative in tropical conditions where water is a limiting factor (8, 15, 16). A comparative study showed that a silvopastoral system based on *Leucaena* increased the weight of buffaloes in the early growing stage, a result that was not observed with bovines (17). Furthermore, Iglesias et al. (18) found better average daily weight gain rates for buffaloes in silvopastoralism, without including water for wallowing. This suggests that silvopastoral systems can reduce the need to provide water intended for wallowing to address heat stress.

The thermoregulatory physiology of buffaloes is limited due to the low number of sweat glands per square centimeter and the dark color of their skin that prevents them from thermoregulating efficiently (1, 19, 20). As an evolutionary adaptation, buffaloes express thermoregulatory behavior that includes wallowing in mud or water in flooded zones, or lying down under tree shade (21). Other observations include the movement toward higher quality pasture located near river banks (22) and adjustments of their grazing hours to night hours (23, 24). Research conducted to evaluate alternatives meant to improve thermoregulatory behavior of buffaloes under different conditions, shows that the provision of shade is important (2, 8, 15, 16).

Despite these recent advances, the influence of silvopastoral systems on the feeding and thermoregulatory behavior of buffaloes in tropical conditions under moderate and intense heat stress remains unknown. We hypothesized that the use of trees in silvopastoral systems can reduce wallowing as a thermoregulatory behavior and positively influence feeding behavior. To answer this hypothesis, in this study we examined the influence of the presence of trees on the thermoregulatory behavior of buffaloes under conditions of intense and moderate heat stress. The results show that the use of trees decreases the expression of wallowing as a thermoregulatory behavior and increases the time spent on food consumption.

## MATERIALS AND METHODS

### Ethics Statement

The experiment received the approval of the Scientific Council and the Ethics Committee of the “Indio Hatuey” Grass and Forage Experimental Station, Matanzas, Cuba. This study did not involve any harm or cruelty to the animals.

### Study Site and Animals

The study was conducted from 2007 to 2009 in the municipality of Périco, Matanzas, Cuba located at 22° 48'7" of latitude north and 81° 1' of longitude west and 19.01 meters above sea level. The experimental phase was carried out on hydrated red ferrallitic soil (25). This soil is moderately acidic [5.60 pH (KCl)], low in phosphorus content (2.43 mg/100 g), contains 0.18% total nitrogen and 3.20% organic matter. Among the exchangeable cations, calcium predominates (11.84 meq/100 g); while the cation exchange capacity (CEC) is slightly low (19.21 meq/100 g), therefore it is considered as having medium fertility. The climate of the region is tropical, seasonally humid, with an annual average

temperature between 24.3 and 33.4°C, and a relative humidity of 80%. The annual rainfall was 1,331 mm, where 79.8% of it occurs between May and October (26). Nine female water buffaloes (*Bubalus bubalis*) with an average weight of 167.9 kg and 12 months of age were used for the study. These animals were heifers in 2007, impregnated in 2008 and were lactating in 2009. The animals remained in the pasture during the day and were taken to a paddock at night. In the pasture area, access to water was provided for wallowing. Natural shade by *Dichrostachys cinerea* (Marabú) was available in the wallowing areas. Drinking water and mineral salts were provided *ad-libitum*.

## Experimental Design

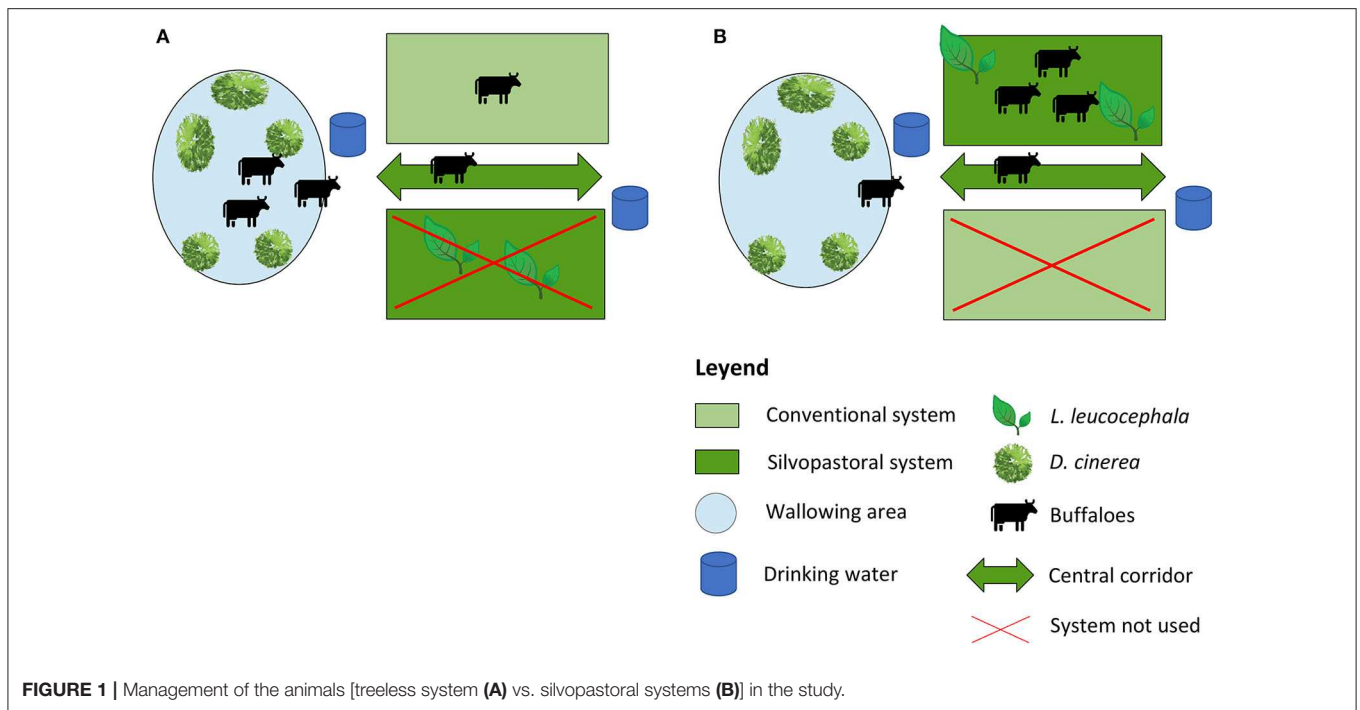
In this study, the influence of two production systems and different heat stress conditions on the thermoregulatory and feeding behavior of buffaloes were evaluated. The behavior of the animals in two productive systems was compared, the conventional one (i.e., only pastures without the presence of trees, **Figure 1A**) and the silvopastoral (i.e., pastures combined with trees, **Figure 1B**); under two conditions of heat stress, moderate (THI < 75) and intense (THI > 75). The experiment followed the longitudinal analysis method in which thermoregulatory and dietary behaviors were observed in the same group of animals under four different experimental conditions (**Table 1**). Measurements were made in 12-h day cycles for three consecutive days in each experimental condition (T1, T2, T3, and T4). Before each measurement cycle, the botanical composition and pasture availability were analyzed. An adaptation period was included between each 36-h measurement cycle where no measurements were made on the animals for 24 days. At all times, the animals had access to water for wallowing. The total area was 7.33 ha divided into 12 paddocks of an average 0.54 hectare (ha, 10,000 m<sup>2</sup>) each. The layout of the experimental area is shown in **Figure 1**.

## Description of Production Systems

The conventional system was based on grazing Guinea grass (*Megathyrsus maximus*). The silvopastoral system included Guinea grass and 600 *Leucaena leucocephala* trees per ha. The height of the *L. leucocephala* trees was between 1.7 and 2 m allowing the animals access to the branches as a food supplement. The animals had free access to drinking water and the wallowing area through a central corridor (**Figure 1**).

## Determination of Botanical Composition and Pasture Availability

The determination of the botanical composition was done using the step method described by Anon (27) and Sánchez et al. (28), which consisted of walking along the diagonals in each paddock, classifying for every three steps, the species of grass that coincided with the toe of the shoe. The grass with the highest predominance in the system (82–93% of vegetal cover) was *M. maximus*. Other less represented grasses were of the genera *Dichantrium* and *Brachiaria*. The botanical composition and grass availability were determined in order to calculate the grazing pressure [i.e., kg dry mater (DM)/100 kg body weight (BW)] and food offered (i.e., ton DM/ha). The DM of the grass was determined in the laboratory



**FIGURE 1** | Management of the animals [treeless system (A) vs. silvopastoral systems (B)] in the study.

**TABLE 1** | Outline of experimental conditions.

Treatments	Definition	Number of observations	Frequency (min)	Total time observed (hours)	Number of days	Number of observation cycles
T1	Treeless system in intense thermal stress	1,872	10	312.0	29.0	9.6
T2	Treeless system in moderate heat stress	1,067	10	177.8	16.5	5.5
T3	Silvopastoral system in intense thermal stress	1,361	10	226.8	21.0	7.0
T4	Silvopastoral system in moderate thermal stress	1,226	10	204.3	19.0	6.0

of the Indio Hatuey Grass and Forage Experimental Station. To estimate the DM content, 500 g of the homogenized grass samples was dried in a forced air oven at 60°C for 24 h. The weight was determined before and after the dehydration process (29) using an analytical balance of sensibility 0.001 kg.

The availability of the herbaceous stratum was determined by the visual estimation method using a 0.25 m frame according to the description by Martínez et al. (30). Eighty (80) measurements of grass height were taken in the grazing areas, at random, with a graduated ruler. After the average grass height was obtained, two frames were cut at approximately that height. The following equation was used to calculate availability:  $DC = (Dm \times AA/AM) \times 40$  where DC: paddock availability, Dm: mean frame availability, AA: mean area height, AM: average height of the frames and factor 40 is the pasture availability within the frame. The initial values of grass availability were homogenized to 2.5 ton DM/ha by slash cutting the area 35 days before the animals entered the paddock.

The density of *L. leucocephala* was determined at the two periods of the year (rainy and dry). The plants encountered in three rows (each row measuring a distance of 30 m) were counted

and an average per row was taken. The distance between each row was 10 m. The average number of plants in 30 m was multiplied by the distance between the rows giving rise to the average number of plants per 300 m<sup>2</sup>. This was used to determine the density of plants per ha.

### Temperature and Humidity Index

The temperature index (ITH) (31) was calculated using the formula (32):  $THI = (1.8 \times T + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26)]$  where T is the air temperature (°C) and RH the relative humidity (%). Heat stress was classified as intense (THI > 75) and moderate (THI < 75), as reported by Pérez et al. (33) for the conditions of Cuba. The conditions of intense heat stress in Cuba appear between the months of May to October and the conditions of moderate heat stress between the months of November to April. The environmental temperature and relative humidity of the site was measured for each treatment under the conditions of moderate heat stress and intense heat stress at the height of the withers in animals (1.7 m).

**TABLE 2** | Description of recorded activities.

Behavior activity	Definition
<b>Active feeding behavior</b>	
Grazing	Time spent eating grass in the paddocks.
Browsing	Time spent in browsing understood as the process of consuming the tips of branches and tree leaves.
<b>Passive feeding behavior</b>	
Rumination	Time spent in rumination understood as the process of regurgitating previously ingested food and masticating it a second time.
<b>Thermoregulatory behavior</b>	
Wallowing	Time spent in wallowing understood as having a bath in the pond of water to cool.
Shading	Performing any activity under the trees (in the systems without trees it was possible in the wallowing area).
<b>Others</b>	
Water intake	Time spent in water intake understood consuming water in the central corridor.

## Behavioral Observations

Measurements of feeding and thermoregulatory behaviors of buffaloes were performed using the direct observation method (34). The number of animals in each activity between each measurement interval was recorded. Each observation cycle consisted of 72 observations made over 3 days with a 10-min interval between observations from 6:00 to 18:00 h (Table 1). The animals were observed by an experienced observer, who maintained a secure distance which did not influence the behavior of the animals. Several activities were recorded, corresponding to grazing, browsing, rumination, water intake, shading (being positioned in the shade of trees) and wallowing (Table 2). The frequency of animals in each behavior per observation was recorded in an Excel database and the time spent on each activity was estimated. The time spent was calculated based on the application of Dumont and Petit (34) equation: Time spent in each activity =  $\sum (a_i \times n) / A$  where  $a_i$  is the number of animals that perform the activity,  $n$  the time between two successive observations and  $A$  the total number of animals. We then grouped the related variables. Active feeding behavior was considered as the sum of grazing and browsing. Feeding behavior was considered as the sum of active grazing behavior, rumination and water intake. Thermoregulatory behavior was considered as the sum of wallowing behavior and shading behavior (Table 2). For more comprehensive, we show in Table 3, the fodder offered and grazing pressure in Silvopastoral system and conventional system.

## Statistical Analysis

The software SPSS® version 25 was used for statistical analysis (IBM Corp®). An analysis of variance (ANOVA) was applied to find the differences between the behaviors, taking into account the levels of intense and moderate heat stress and the type of system (silvopastoral and conventional). The analysis of variance was performed after checking the distribution of normality of the times dedicated to each activity with the Kolmogorov Smirnov test. The average time dedicated to each activity was

**TABLE 3** | Fodder offered and grazing pressure in Silvopastoral system and conventional system.

Treatment	Offer of fodder (Dry Matter/ha) per rotation*	Grazing pressure**
T1	4.27 Ton/ha	8.52 kg
T2	2.19 Ton/ha	14.8 kg
T3	6.68 Ton/ha	23.07 kg
T4	3.92 Ton/ha	17.16 kg

\*Rotation.

\*\*DM/100 kg body weight.

compared by stress levels and systems with Duncan's multiple range comparison test, in order to detect the inequalities between the means.

## RESULTS

### Conditions of Intense Heat Stress Increase Thermoregulatory Behavior and Decrease Feeding Behavior in Conventional Systems

The wallowing time in the conventional system under conditions of intense heat stress was significantly higher compared to the time of wallowing under conditions of moderate heat stress ( $P < 0.05$ ). In the conventional system, the shading time under intense heat stress differed significantly from the conventional system under moderate heat stress conditions ( $P < 0.05$ ). The grazing time under intense heat stress in the conventional system was significantly less compared to the conventional system under moderate heat stress conditions ( $P < 0.05$ ). The rumination time in intense heat stress was significantly reduced compared to the conventional system under moderate heat stress ( $P < 0.05$ ). Under conditions of intense and moderate heat stress in the conventional grazing system, the time of thermoregulatory behavior is longer under conditions of intense heat stress and differed under conditions of moderate stress. However, water intake, feeding behavior, and active feeding behavior did not differ significantly under conditions of intense and moderate heat stress in the conventional system (Table 4). The browsing behavior was not remarkable because in the treeless system they only had occasional contact with some branches of *D. cinerea*, so this behavior did not differ in the conventional grazing system.

### The Silvopastoral System Does Not Affect the Global Thermoregulatory Behavior Under Intense Heat Stress

In this study, global thermoregulatory behavior was defined as the sum of time spent in shading and in wallowing and it was measured under conditions of moderate heat stress and intense heat stress. Under moderate heat stress conditions, the shading time did not show significant differences between the silvopastoral system and the conventional grazing system. However, under intense heat stress, differences were found in the time dedicated to shading. Specifically, under conditions of intense heat stress, the time spent dedicated to shading in the



silvopastoral system was higher than the conventional grazing system (ANOVA,  $P < 0.05$ ) (Table 5).

Regarding wallowing, under moderate heat stress conditions, no significant differences were found between the silvopastoral system and the conventional grazing system (Table 5). However, under conditions of intense heat stress, the wallowing time in the conventional grazing system was significantly longer than in the silvopastoral system (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

Overall, the time spent on thermoregulatory behavior under moderate heat stress was greater in the silvopastoral system compared to the conventional system (ANOVA,  $P < 0.05$ ).

In contrast, the thermoregulatory behavior of animals in these grazing systems did not differ significantly under conditions of intense heat stress (Table 5).

### The Silvopastoral System Increases Active Feeding Behavior Under Intense Heat Stress

The silvopastoral system influenced the time spent on grazing under the two conditions of heat stress. Under moderate heat stress conditions, the time the animals spent grazing was less than in the silvopastoral system compared to the conventional system (ANOVA,  $P < 0.05$ ). In contrast, under conditions of intense heat stress, the grazing time was longer in the silvopastoral system than in the conventional system ( $P < 0.05$ ) (Table 6).

The inclusion of *Leucaena* trees in the silvopastoral system increased browsing activity under moderate heat stress and intense heat stress compared to the conventional system where time dedicated to this activity was marginal ( $P < 0.05$ ) (Table 6).

In this study, active feeding behavior was considered as the sum of the time spent on grazing and browsing. Under intense heat stress, the animals in the silvopastoral system had significant differences in the active feeding behavior when compared with the conventional system ( $P < 0.05$ ). However, under moderate heat stress conditions, no differences were found between the silvopastoral system and the conventional system (Table 6).

Under moderate heat stress conditions, water intake in the silvopastoral system differed from the conventional system ( $P$

**TABLE 4 |** Thermoregulatory and feeding behavior in system without trees.

	T1		T2	
	Mean (h)	SD*	Mean (h)	SD*
Thermoregulatory behavior	3.94 <sup>c</sup>	6.01	1.14 <sup>a</sup>	3.36
Wallowing	1.69 <sup>c</sup>	3.08	0.81 <sup>a</sup>	2.10
Shading	2.77 <sup>b</sup>	3.77	1.61 <sup>a</sup>	3.22
Active feeding behavior***	4.80 <sup>a</sup>	3.92	5.06 <sup>ab</sup>	3.71
Feeding behavior	7.78 <sup>a</sup>	2.84	7.59	2.13
Grazing	5.28 <sup>a</sup>	3.63	6.12 <sup>c</sup>	3.18
Browsing	0.08 <sup>a</sup>	0.55	0.01 <sup>a</sup>	0.26
Rumination	3.05 <sup>b</sup>	3.55	3.70 <sup>c</sup>	3.67
Water intake	0.33 <sup>b</sup>	1.13	0.32 <sup>b</sup>	1.08

<sup>a,b,c</sup>Mean with different superscripts in same row differs significantly for  $P < 0.05$ .

\*Standard deviation.

\*\*\*Active Feeding behavior.

**TABLE 5 |** Time spent in thermoregulatory behavior, wallowing and shading.

Treatment	Thermoregulatory behavior			Wallowing			Shading		
	Mean (h)	SD*	EE**	Mean (h)	SD*	EE**	Mean (h)	SD*	EE**
T1	3.94 <sup>c</sup>	6.01	0.13	1.69 <sup>c</sup>	3.08	0.07	2.77 <sup>b</sup>	3.77	0.09
T2	1.14 <sup>a</sup>	3.36	0.10	0.81 <sup>a</sup>	2.10	0.09	1.61 <sup>a</sup>	3.22	0.14
T3	3.78 <sup>c</sup>	5.66	0.15	1.39 <sup>b</sup>	2.92	0.08	3.17 <sup>c</sup>	3.83	0.11
T4	1.83 <sup>b</sup>	4.02	0.11	0.71 <sup>a</sup>	1.96	0.06	1.90 <sup>a</sup>	3.34	0.11

<sup>a,b,c</sup>Mean with different superscripts in same column differs significantly for  $P < 0.05$ .

\*Standard deviation.

\*\*Standard error.

**TABLE 6 |** Time spent in active feeding behaviors.

Treatment	Active feeding behavior*			Grazing			Browsing		
	Mean (h)	SD**	EE***	Mean (h)	SD**	EE***	Mean (h)	SD**	EE***
T1	4.80 <sup>a</sup>	3.92	0.09	5.28 <sup>a</sup>	3.69	0.09	0.08 <sup>a</sup>	0.55	0.01
T2	5.06 <sup>ab</sup>	3.71	0.11	6.12 <sup>c</sup>	3.18	0.10	0.01 <sup>a</sup>	0.26	0.01
T3	5.64 <sup>c</sup>	4.05	0.1	5.60 <sup>b</sup>	3.63	0.10	0.39 <sup>b</sup>	1.04	0.03
T4	5.12 <sup>a</sup>	3.94	0.11	5.54 <sup>ab</sup>	3.48	0.10	0.47 <sup>b</sup>	1.37	0.04

<sup>a,b,c</sup>Mean with different superscripts in same column differs significantly for  $P < 0.05$ .

\*Active feeding behavior is the sum of grazing and browsing.

\*\*Standard deviation.

\*\*\*Standard error.

**TABLE 7** | Time spent in different feeding behavior.

Treatment	Feeding behavior***			Rumination			Water intake		
	Mean (h)	SD*	EE**	Mean (h)	SD*	EE**	Mean (h)	SD*	EE**
T1	7.78 <sup>a</sup>	2.84	0.06	3.05 <sup>b</sup>	3.55	0.08	0.33 <sup>b</sup>	1.13	0.02
T2	7.59 <sup>a</sup>	2.13	0.06	3.70 <sup>c</sup>	3.67	0.14	0.32 <sup>b</sup>	1.08	0.04
T3	8.22 <sup>c</sup>	2.33	0.06	2.58 <sup>a</sup>	3.58	0.10	0.38 <sup>b</sup>	1.18	0.03
T4	7.84 <sup>b</sup>	2.25	0.06	3.31 <sup>b</sup>	3.74	0.12	0.20 <sup>a</sup>	0.87	0.03

<sup>a,b,c</sup>Mean with different superscripts in same column differs significantly for  $P < 0.05$ .

\*Standard deviation.

\*\*Standard error.

\*\*\*Feeding behavior is the sum of grazing behavior, rumination and water intake.

$< 0.05$ ). However, under conditions of intense heat stress, no differences were found between the silvopastoral system and the conventional system (Table 7).

Feeding behavior generally showed significant differences under intense heat stress between the silvopastoral system and the conventional treatment. The values found in the active feeding behavior under moderate heat stress conditions also differed significantly between the silvopastoral system and the conventional system ( $P < 0.05$ ) (Table 7).

## The Silvopastoral System Reduces Rumination Time Under Intense and Moderate Heat Stress

The time spent on rumination in the silvopastoral system under conditions of intense heat stress was significantly different from the conventional system ( $P < 0.05$ ). Significant differences were found for rumination behavior under moderate heat stress between the conventional system and the silvopastoral system ( $P < 0.05$ ) (Table 7).

## DISCUSSION

Animal behavior studies with water buffaloes in production conditions are scarce and especially important in the tropics. Buffaloes have limited thermoregulatory capacity due to their low number of sweat glands and dark skin which makes them especially sensitive to heat stress (1, 35). In this study, we compared the thermoregulatory and feeding behavior of water buffaloes subjected to intense and moderate heat stress under silvopastoral and conventional systems. In particular, we were interested in evaluating how silvopastoralism influences the behavior of buffaloes under intense heat stress. Describing behavior in the same group of animals in a longitudinal study has as its main strength, the reduction of the individual effect as well as reducing the antagonistic behaviors that occur in the regrouping of the experimental groups in behavior studies (36, 37). However, one limitation of our work is the low number of animals used ( $n = 9$ ).

The greater time spent on wallowing and shading in the conventional system under conditions of intense heat stress suggests an increase in thermoregulation needs (20). It was previously described in Brazil, through infrared thermography measurements, that extreme weather factors ( $\text{THI} > 80$ ) affect

buffaloes in the form of heat stress (35, 38). Other studies in India (1) and Thailand (21) also reflect these thermoregulation needs of buffaloes. It is possible that an increase in the thermoregulation needs reflected in the different wallowing and shading times, was due to the seasonality of the reproductive and productive performance of this species (4, 39, 40), as a consequence of the effect of the climatic seasonality present in Cuba and by extension the tropics (8). The decrease in thermoregulatory behavior was associated with a decrease in feeding behavior, which could be related to the heat stress to which the animals were subjected. Previous studies have shown that in intense heat stress, the times dedicated to grazing behavior and rumination decrease as a result of this discomfort in cattle (41).

In the conventional system, intense heat stress resulted in shorter grazing times despite the greater availability of pastures (6, 7, 42). This is relevant because it suggests that under intense heat stress conditions in buffaloes as well as cattle, feeding needs are just as important as heat defense needs (37). This shorter grazing time could also be related to the negative productive results reported in buffaloes in the tropics.

Remarkably, our study revealed that the silvopastoral system decreased the time dedicated to wallowing behavior under intense heat stress. This suggests that the silvopastoral system decreases heat stress in animals and improves their welfare. Previous studies in Cuba attributed these benefits to the microclimate generated under silvopastoralism by mitigating heat stress (5, 6, 18, 43). This was confirmed in our study when it was observed that the decrease in wallowing was associated with a significant increase in the time spent shading.

These results of high active feeding behavior and less passive feeding behavior in the silvopastoral system in heat stress conditions could be attributed to the presence of natural shade (10, 44). *L. leucocephala* and other tree species offer filterable radiation (natural shade). Additionally, the silvopastoral system contributes to a 10–30% increase of dry matter production in the form of grass (5). The different results reported in the productive yield per ha under silvopastoralism and the improvement of animal welfare could be related to those we found in our study. These are, the increase in feeding and thermoregulatory behavior under silvopastoralism and its influence on animal welfare (8, 15, 16, 18, 31, 41, 45, 46); and the decrease in rumination that we observed in the silvopastoral system attributed to the increase in nitrogen supply of the trees that increases ruminal

microbial activity (11, 47), which was reported to be related to an improvement in ruminal function (48, 49).

It is possible that under situations of intense heat stress in silvopastoral conditions, the sensation of heat stress is not being perceived by the buffaloes, due to the contribution of trees in providing shade and improving active feeding behavior (50, 51). In the same way, shade in the silvopastoral system improved pasture quality and quantity in several studies (5, 10, 52).

In the silvopastoral system, under conditions of moderate thermal stress, the time spent on water consumption was reduced. This could be influenced by the composition of the grass (DM) that generate a level of satiety in the animals. Similar results reflected a 23% reduction in visits to the drinking source in cattle provided with shade (41). The similarities in water ingestion under conditions of intense heat stress suggest that the needs for water are more pressing than those for food, coinciding with Dukas (53) and Alvarez et al. (37).

## CONCLUSIONS

The silvopastoral system improved the thermoregulatory and feeding behavior under conditions of intense heat stress. This was reflected in the times spent shading and the increased grazing time in comparison with the conventional system where the wallowing time was greater. In the conventional system, the increase in grazing, rumination and wallowing under conditions of moderate heat stress, is a reflection of a greater difficulty to satisfy the thermal and food needs of water buffaloes. In the future, the effect that it would have on the thermoregulatory and feeding behavior of buffaloes without wallowing zones should be evaluated, under silvopastoral conditions.

## REFERENCES

- Choudhary BB, Sirohi S. Sensitivity of buffaloes (*Bubalus bubalis*) to heat stress. *J Dairy Res.* (2019) 86:399–405. doi: 10.1017/S0022029919100773
- Moraes Junior RJ, Alexandre Rossetto Garcia AR, Santos NFA, Lourenço JB, Nahúm BS. Effects of the silvopastoral systems in the environmental comfort of buffalo calves (*Bubalus bubalis*) in the Eastern Amazon. *Rev. Vet.* (2010) 21
- Escarcha JF, Lassa JA, Palacpac EP, and Zander, KK. Understanding climate change impacts on water buffalo production through farmers' perceptions. *Clim Risk Manage.* (2018) 20:50–63. doi: 10.1016/j.crm.2018.03.003
- Dash S, Chakravarty A, Singh A, Shivahre PR, Upadhyay A, Sah V, et al. Evaluación de los valores de reproducción esperados para los rasgos de fertilidad de los búfalos Murrah en clima subtropical. *Vet Mundo.* 8:320. doi: 10.14202/vetworld.2015.320-325
- Simón L, Hernández I, Ojeda F, Toral O, González L, et al. *Silvopastoreo un Nuevo Concepto de Pastizal.* Matanzas: EEPF "Indio Hatuey" (2012).
- Milera MC. Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. In: Milera MC, editor. *Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey.* La Habana (2016).
- Milera M, de la C, López O, Alonso O. Principios generados a partir de la evolución del manejo en pastoreo para la producción de leche bovina en Cuba Evolution of grazing management for dairy production in Cuban. *Pastos y Forrajes.* (2014) 37:382–91.
- Simón L, Gallos M. Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba Presence and perspective of buffaloes in Cuba. *Pastos y Forrajes.* (2011) 34:3–20.
- Iraola J, Muñoz E, García Y, García Y, Hernández JL, Tuero O, et al. Conducta alimentaria de bovinos machos en pastoreo restringido, suplementados con granos de destilería de maíz durante el período poco lluvioso. *Rev Cub Ciencia*

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

## ETHICS STATEMENT

The animal study was reviewed and approved by the Ethics Committee of Experimental Station: Indio Hatuey, University of Matanzas, Cuba. Written informed consent was obtained from the owners for the participation of their animals in this study.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

MG-H and LS: conceptualization and methodology. MG-H, MS-P, and JI-G: validation. CA-D, VR-E, and MG-H: formal analysis. MG-H, JI-G, MS-P, and LS: investigation. LS, MG-H, and MS-P: resources. MG-H, VR-E, MS-P, and DD: data curation and writing original draft preparation. DD, VR-E, and MG-H: writing—review and editing. MG-H and VR-E: visualization. VR-E and CA-D: supervision. MG-H and LS: project administration. All authors: read and agreed to the published version of the manuscript.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Alejandro Cabezas Cruz for his assistance in the redaction and organization of the paper and its concept. We also thank the Indio Hatuey Grass and Forage Experimental Station for its help in the introduction of the buffaloes into silvopastoral systems and in the design of the investigation.

*Agríc.* (2013) 47:255–60. Available online at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193029230006>

- Pentón G, Blanco F. Influencia de la sombra de los arboles en la composición química y el eendimiento de los pastos. *Pastos Y Forrajes.* (1997) 20:101–10.
- Milera M. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Av En Investig Agropecu.* (2013) 17:7–24.
- Ademola IO, Idowu SO. Actividad antihelmíntica del extracto de semillas de *Leucaena leucocephala* en larvas infeciosas de *Haemonchus contortus*. *Registro Veterinario.* (2006) 158:485–6. doi: 10.1136/vr.158.14.485
- Soares AMDS, Araújo SAD, Lopes SG, Costa Junior LM. Anthelmintic activity of *Leucaena Leucocephala* protein extracts on *Haemonchus contortus*. *Rev Bras Parasitol Vet.* (2015) 24:396–401. doi: 10.1590/S1984-29612015072
- García DE, Medina MG. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootec Trop.* (2006) 24, 233–250.
- Castro AC, Lourenco Jr J, de B, dos Santos N, de F, Moreira Monteiro EM, et al. Silvopastoral system in the amazon region: tool to increase the productive performance of buffaloes. *Cienc. Rural.* (2008) 38:2395–402. doi: 10.1590/S0103-84782008000800050
- Silva JARD, Araújo AAD, Lourenço Júnior JDB, Santos NDFAD, Garcia AR, Nahúm BDS. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na amazônia oriental. *Pesqui. Agropecu. Bras.* (2011) 46:1364–71. doi: 10.1590/S0100-204X2011001000033
- Fundora O. Comportamiento de búfalos (*Bubalus bubalis*) de la raza Buffalypso en sistemas de alimentación basados en pastoreo: quince años de investigaciones. *Rev Cubana de Ciencia Agrícola.* (2015) 49:161–71.
- Iglesias JM, Gallos-Hernández MA, Toral-Pérez O, Aguilar-Hernández A. Comportamiento productivo y conducta de búfalos de río y toros cebú en

- silvopastoreo productive performance and behavior of grazing river buffaloes and zebu bulls in a silvopastoral system. *Pastos Forrajes*. (2019) 42:223–9.
19. Shafie MM. Physiological responses and adaptation of water buffalo. In: Yousef MK, editor. *Stress Physiology in Livestock*. El Cairo: CRC (1985). p. 67.
  20. Marai IFM, Haebe AAM. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — a review. *Livest Sci*. (2010) 127:89–109. doi: 10.1016/j.livsci.2009.08.001
  21. Khongdee T, Sripoon S, Vajrabukka C, et al. The effects of high temperature and wallow on physiological responses of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) during winter season in Thailand. *J Therm Biol*. (2011) 36:417–21. doi: 10.1016/j.jtherbio.2011.07.006
  22. Pringle RM. Upgrading protected areas to conserve wild biodiversity. *Nature*. (2017) 546:91–9. doi: 10.1038/nature22902
  23. Caraballoso A, Borroto A, Pérez R. Conducta de búfalos en pastoreo en humedales de ciego de ávila, cuba behavior of grazing buffaloes in wetlands of ciego de ávila, Cuba. *Pastos y Forrajes*. (2011) 34:211–8.
  24. Fundora O, Quintana FO, González ME. Performance and carcass composition in river buffaloes fed a mixture of star grass, natural pastures and native legumes. *Rev Ciencia Anim*. (2004) 38, 41–4.
  25. Hernández A, Ascanio M, Morales M, León A. Diferentes etapas en la clasificación de suelos en Cuba. In: Hernández A, Ascanio MO, editors. *La Historia de la Clasificación de Los Suelos en Cuba*. La Habana: Editorial Félix Varela (2006). p. 11–56.
  26. INSMET. *El clima de Cuba. Características generales*. La Habana: Instituto de Meteorología. (2016) Available Online at: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm> (accessed June 26, 2020).
  27. Anon. *Muestreo de Pastos. Taller del IV Seminario Científico*. Matanzas: EEPF «Indio Hatuey» (1980).
  28. Sánchez T, Lamela L, López YO. Caracterización de la comunidad vegetal en una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. cuningham characterization of the plant community in an association of improved grasses and *Leucaena leucocephala* cv cuningham. *Pastos y Forrajes*. 30:455.
  29. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis*. 16th edition. Arlington: VA: AOAC (1995).
  30. Martínez J, Milera M, Remy V, Yepes I, Hernández J. Un método ágil para estimar la disponibilidad de pasto en una vaquería comercial. *Pastos y Forrajes*. (1990) 13:101
  31. Tucker CB, Rogers AR, Schutz KE. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl Anim Behav Sci*. (2008) 109:141–54. doi: 10.1016/j.applanim.2007.03.015
  32. Armstrong DV. Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci*. (1994) 77:2044–50. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6
  33. Pérez H, Mendoza E, Alvarez JL, Fernández YO. Efecto del índice temperatura humedad sobre la secreción de hormonas tiroideas en novillas holsteins. *Rev Salud Anim*. (1997) 19:131–5.
  34. Dumont B, Petit M. An indoor method for studying the preferences of sheep and cattle at pasture. *Appl-Anim-Behav-Sci*. (1995) 46:67–80. doi: 10.1016/0168-1591(96)81085-9
  35. Barros DV, Silva LKX, Kahwage PR, Lourenço Júnior JB, Sousa JS, Silva AGM, et al. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography TT- Avaliação de temperaturas superficiais de touros bubalinos (*Bubalus bubalis*) criados em ambiente tropical com uso da termografia infravermelha. *Arq Bras Med Vet Zoo*. (2016) 68:422–30. Available at: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-09352016000200422&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352016000200422&lang=pt) doi: 10.1590/1678-4162-8327
  36. Martyn P, Bateson P. *Measuring Behaviour. An Introductory Guide*, 3rd ed. Tindall B, editor. (2007). p. 147–69. doi: 10.1017/CBO97800511810893
  37. Alvarez A, Pérez H, Quincosa J, De la Cruz T, Sánchez A. *Fisiología Animal Aplicada*. La Habana: ENPSES-Mercie Group (2004). p. 646–52.
  38. Sevegnani KB, Fernandes DPB, Modenese-Gorla Da Silva SH. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Eng Agric*. (2016) 36:1–12. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p1-12/2016
  39. Upadhyay RC, Singh SV, Kumar A, Gupta SK, Ashutosh A. Impact of climate change on milk production of murrha buffaloes. *Ital J Anim Sci*. (2007) 6:1329–32. doi: 10.4081/ijas.2007.s2.1329
  40. Yadav B, Pandey V, Yadav S, Singh Y, Kumar V, Sirohi R. Effect of misting and wallowing cooling systems on milk yield, blood and physiological variables during heat stress in lactating murrha buffalo. *J Anim Sci Technol*. (2016) 58:2. doi: 10.1186/s40781-015-0082-0
  41. Giro AJ, Pezzopane RM, Barioni WJ, De Faria AP, Prudêncio A, et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Sci Total Environ*. (2019) 684:587–96. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.377
  42. Iraola J, Muñoz E, García Y, García Y, Hernández JL, Tuero, et al. (2013). Feeding behavior of male cattle under restricted grazing. Supplemented with distiller maize grains during the dry period. *J Agric Sci*. 47:255–60.
  43. Gallosó M, Rodríguez-Estévez V, Simon L, Soca M, Alvarez-Díaz CA, Dublin D, et al. (2019). Can trees replace the need for wallowing in river buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics? Preliminary results. In: *4th World Congress on Agroforestry. Agroforestry: Strengthening Links Between Science, Society and Policy* (Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry). p. 933.
  44. Pentón G. *Efectos de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural* (Tesis en opción al título académico de Máster en Pastos y Forrajes), Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba (2000).
  45. Simón L, Gallosó M. Efecto de la Arborización En La Crianza de Los Búfalos de Río. *Zoo Trop*. (2008) 26:399–401.
  46. Da Silva JAR, De Araújo AA, Lourenço Júnior J, de B, dos Santos N, de FA, et al. Hormonal changes in female buffaloes under shading in tropical climate of eastern Amazon. *Brazil Rev Bras Zootec*. (2014) 43:44–8. doi: 10.1590/S1516-35982014000100007
  47. Delgado D, Cairo J, Moreira O. Fermentación ruminal en búfalos de río y cebú comerciales, alimentados con forraje integral de caña de azúcar. *Rev Cubana de Cienc Agrícola*. (2005) 39:53–7.
  48. Barros-Rodríguez AM, Solorio-Sánchez AJ, Sandoval-Castro AC, Klieve BAV. Effects of two intake levels of leucaena leucocephala on rumen function of sheep. *Trop Grasslands-Forrajes Trop*. (2013) 1:55–7. doi: 10.17138/TGFT(1)55-57
  49. Molina-Botero IC, Arroyave-Jaramillo J, Valencia-Salazar S, Barahona-Rosales R, Aguilar-Pérez CF, et al. Effects of tannins and saponins contained in foliage of *gliciridia sepium* and pods of *enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Anim Feed Sci Technol*. (2019) 251:1–11. doi: 10.1016/j.anifeeds.2019.01.011
  50. Gu Z, Yang S, Leng J, Xu S, Tang S, Liu C, et al. Impacts of shade on physiological and behavioral pattern of dehong buffalo calves under high temperature. *Appl Anim Behav Sci*. (2016) 177:1–5. doi: 10.1016/j.applanim.2016.01.024
  51. Pezzopane JRM, Nicodemo MLE, Bosi C, Garcia AR, Lulu J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *J Therm Biol*. (2019) 79:103–11. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.12.015
  52. López-Vigoa O, Sánchez-Santana T, Iglesias-Gómez JM, Lamela-López L, Soca-Pérez M, et al. Silvopastoral systems as alternative for sustainable animal production in the current context of tropical livestock production. *Pastos y Forrajes*. (2017) 40:83–95.
  53. Dukes, H. H. (1968). *Fisiología de los Animales Domésticos*. Edit. Rev. La Habana, Cuba.

**Conflict of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2020 Gallosó-Hernández, Rodríguez-Estévez, Alvarez-Díaz, Soca-Pérez, Dublin, Iglesias-Gómez and Simon Guelmes. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.



# Selectivity of Leguminous Trees by Water Buffaloes in Semi-intensive Systems

Maykel Andrés Galloso-Hernández<sup>1\*</sup>, Vicente Rodríguez-Estévez<sup>1</sup>, Carlos Armando Alvarez-Díaz<sup>2</sup>, Mildrey Soca-Perez<sup>3</sup>, Devon Ronald Dublin<sup>4</sup>, Jesús Iglesias-Gómez<sup>3</sup> and Leonel Simon Guelmes<sup>3†</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Production, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain, <sup>2</sup> Department of Basic Science, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, <sup>3</sup> Department of Research, Sustainable Systems of Animal Production, Experimental Station of Pastures and Forrage: Indio Hatuey, Matanzas, Cuba, <sup>4</sup> Language Department, Hokkaido University of Education, Sapporo, Japan

## OPEN ACCESS

### Edited by:

André Mendes Jorge,  
São Paulo State University, Brazil

### Reviewed by:

Octavio Alonso Castelán-Ortega,  
Universidad Autónoma del Estado de  
México, Mexico  
Yosra Ahmed Soltan,  
Alexandria University, Egypt

### \*Correspondence:

Maykel Andrés Galloso-Hernández  
z62gahea@uco.es  
orcid.org/0000-0002-4247-4840

<sup>†</sup>Deceased, 6 August 2016.

Contribution: Research Design

### Specialty section:

This article was submitted to  
Animal Nutrition and Metabolism,  
a section of the journal  
Frontiers in Veterinary Science

**Received:** 12 March 2020

**Accepted:** 16 September 2020

**Published:** 24 November 2020

### Citation:

Galloso-Hernández MA,  
Rodríguez-Estévez V, Alvarez-Díaz CA,  
Soca-Perez M, Dublin DR,  
Iglesias-Gómez J and Guelmes LS  
(2020) Selectivity of Leguminous Trees  
by Water Buffaloes in Semi-intensive  
Systems. *Front. Vet. Sci.* 7:542338.  
doi: 10.3389/fvets.2020.542338

Water buffaloes (*Bubalus bubalis*) manifest different levels of selectivity for different pastures and forages. Knowledge of feed selectivity is important to facilitate the design of efficient production systems that take into account optimal animal welfare. In this study, the selectivity of nine 18-month old female water buffaloes for *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbbeck*, *Gliricidia sepium*, and *Moringa oleifera* was evaluated. After 12 h of grazing *Megathyrus maximum*, the animals were housed in individual shelters and 1.2 kg of leaves from each of the four tree species were offered to the animals simultaneously. The selectivity, measured as the intake of dry matter (DM), was highest for *A. lebbbeck* (mean = 0.34 kgDM, SD = 0.05 kg), followed by *L. leucocephala* (mean = 0.30 kgDM, SD = 0.03 kg), *M. oleifera* (mean = 0.11 kgDM, SD = 0.05 kg), and *G. sepium* (mean = 0.10 kgDM, SD = 0.02 kg) ( $P < 0.01$ ). The crude protein intake was highest for *A. lebbbeck* and *L. leucocephala*. Notably, the less selected leaves were those of *G. sepium* and *M. oleifera*. This study suggests that the inclusion of *A. lebbbeck* and *L. leucocephala* in silvopastoral systems may increase both the consumption and well-being of water buffaloes in the tropics.

**Keywords:** selectivity, feeding behavior, buffaloes (*Bubalus bubalis*), consumption, trees leaves, semi-intensive system

## INTRODUCTION

The importance of buffaloes (*Bubalus bubalis*) as a productive species has increased worldwide by 2% in recent years with a total population of 202 million (1). For example, Cuba has a population of  $6 \times 10^4$  buffaloes (2, 3) with an annual increase of 13.7% and comparatively less than Brazil with  $3 \times 10^6$  buffaloes (4). In Argentina, the population amounts to  $8.5 \times 10^4$  with an annual growth of 13.1% (5).

The advantages of using buffaloes in tropical environments are the resistance to heat stress under shade (6, 7), and the fact that it allows this species to maintain birth rates above 80%, which is higher than cattle in similar conditions (8). However, the milk production per hectare (ha) is lower than cattle due to the low stocking rates (0.6–0.8 animals/ha) currently used to breed buffaloes (8, 9). The capacity of buffaloes to digest highly fibrous diets (10, 11) makes the use of trees an attractive strategy for the incorporation of proteins in the diet of these animals (12–15).

Tropical tree species are included in pastures in the form of silvopastoral systems. The incorporation of *Leucaena leucocephala* (13), *Albizia lebeck* (16), *Gliricidia sepium*, and *Moringa oleifera* (17, 18) in silvopastoral systems improves the quality of feed for ruminants and decreases the impact of environmental stressors on the animals (6). The use of trees as a source of feed for ruminants has been ignored due to the limited understanding of their positive impact on production systems (19). Leguminous trees are a source of feed in sustainable livestock farming in the dry season (19–22). A good selection of trees maximizes the benefits of agroforestry systems (13, 23, 24). Leguminous trees (*L. leucocephala*, *A. lebeck*, *G. sepium*, and *M. oleifera*) have perennial leaves and fruits with high nutritional value. Ruminal evaluations showed that diets comprised of pasture and tree leaves have a higher rate of degradation (i.e., organic material, dry matter, crude protein, gross energy). *Leucaena* trees, for example, have the highest rumen by-pass protein supply. This digestibility of the protein is 63% in *L. leucocephala* and around 60% in other tree species (25–28), which decreases the amount of commercial concentrates being used (21, 29, 30). According to Ku Vera et al. (26), we need to deepen our understanding through the manipulation of different diets in ruminants including the use of leguminous trees and grasses in tropical conditions. The branches of leguminous trees also contain condensed tannins with antiparasitic properties (31) that could reduce enteric CH<sub>4</sub> emissions (32).

The productivity of buffaloes has been evaluated in silvopastoral systems in tropical countries including Cuba (8, 22, 33), and Brazil (34). Silvopastoral systems, combined with rusticity and high productive indexes (13, 21), improve the productive performance of buffaloes per ha by increasing the daily weight gain and milk production when compared to conventional systems (35). Previous studies have tested the effect of individual leguminous trees on ruminant metabolism (12, 25, 36). However, in natural conditions, animals select a mixture of foliage from different trees. The aim of this study was to evaluate the selectivity of water buffaloes for four tree species (*L. leucocephala*, *A. lebeck*, *G. sepium*, *M. oleifera*) that are commonly used in silvopastoral systems as demonstrated in the aforementioned studies.

## MATERIALS AND METHODS

### Ethics Statement

The experiment received the approval of the Scientific Council and the Ethics Committee of the “Indio Hatuey” Grass and Forage Experimental Station, Matanzas, Cuba. This was an observational study that did not involve any harm or cruelty to animals.

### Animals and Study Site

Clinically healthy 18-month old female water buffaloes ( $n = 9$ ), with an average body weight of 373.77 kg, and daily weight gain of 362 g were used in the study. Before being included in the experiment, the animals were treated with ivermectin (1

μg/kg, Labiomec, Labiofam, Habana, Cuba) to ensure that their consumption behavior is not affected by intestinal parasites.

The study was conducted between August and September of 2008 in the municipality of Périco, Matanzas, Cuba, located at 22°48'7" of latitude north and 81°1' of longitude west and 19.01 m above sea level. The experimental phase was carried out on hydrated red ferralitic soil with medium fertility, moderately acidic (pH 5.60), low in phosphorus content (2.43 mg/100 g), and containing 0.18% total nitrogen, 3.2 % organic matter, calcium predominates (11.84 mEq/100 g) among the exchangeable cations and the cation exchange capacity was slightly low (19.21 mEq/100 g) as previously described (37). The climate of the region is tropical, seasonally humid, with an annual average temperature between 24.3°C and 33.4°C, and relative humidity of 80%. The annual rainfall is 1,331 mm, where 79.8% of it occurs between May and October (38).

Twelve paddocks, each measuring 0.54 ha, were used through a rotation of 3 days of occupation and 42 days of rest. In the morning, the animals were moved to the paddocks, where the availability of feed was 2.45 Ton/ha of dry matter (DM), and from 18:00 h the animals had access to the leaves of the four species in the feeders (**Figure 1**). Grass availability was determined by the visual estimation method and the botanical composition was measured as previously described (6, 39). During the experiment, we collected five grass samples and one sample per tree leaf type. The feeding regime included the grazing of *Megathyrus maximum* in paddocks and nocturnal supplementation with *Saccharum officinarum* (sugar cane) (0.52 kg DM/animal) and the PCN002 commercial feed for growing animals (MINAG, Habana, Cuba) (**Table 1**) (0.44 Kg DM/animal). In the grazing area (**Figure 1A**), free access to water for wallowing and natural shade by *Dichrostachys cinerea* (Marabú) was available in the wallowing areas. Drinking water and mineral salts were provided *ad libitum*.

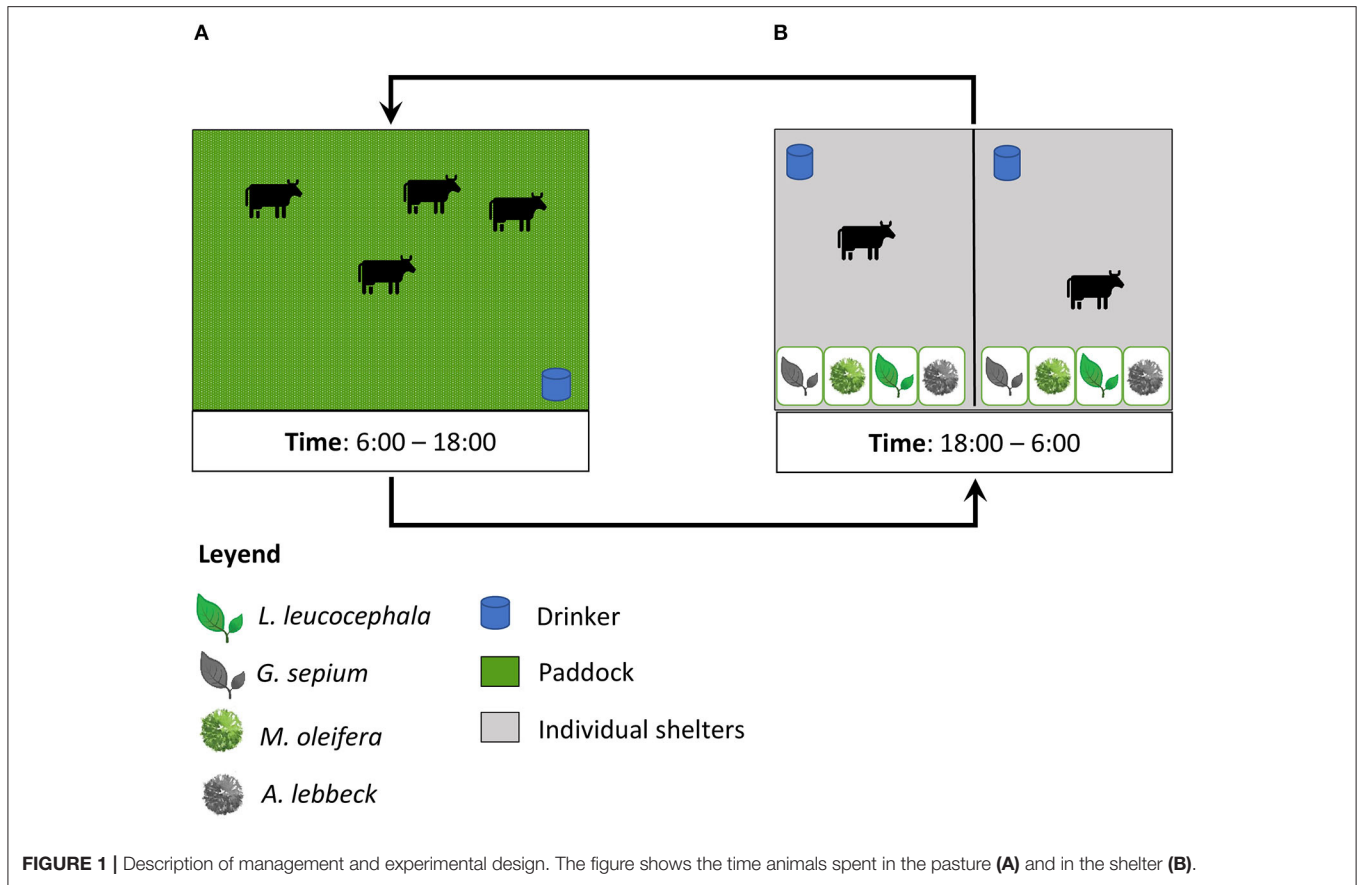
### Experimental Design

In this study, the preference and consumption of fresh tree leaves were determined in a group of water buffaloes. *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebeck*, *Gliricidia sepium*, and *Moringa oleifera* were offered simultaneously (1.2 kg/animal of each fresh leaf type) to the animals. The buffaloes had no previous consumption experiences of the leguminous tree species studied. The trees were pruned and only the leaves that sprouted after 60 days were used in the experiment. Leaves of the trees were cut at a height of 1.7 meters, and the pods and stems were excluded. Fresh leaves were collected daily between the hours of 9:00–11:00. The trees were not irrigated nor treated with agrochemicals.

The animals were fed for 15 days with tree leaves and a base diet (**Table 1**). Experimental measurements were made daily from day 16 to day 32. After returning from the paddock, the animals were separated into individual shelters and each type of leaf was randomly placed separately in one of four feeders (each feeder measured 50 × 90 × 30 cm).

We used the repeated measured model shown in equation (1) below:

$$Y_{ijklm} = \mu + T_i + P_j + A_j + e_{ijklm}$$



**TABLE 1 |** Chemical composition of ingredients in the diet.

	DM* %	CP (g/kg)	CF (g/kg)	GE Mcal/kg DM	Ca (g/kg)	P (g/kg)
Chopped Sugar cane (3 mm)	26	28	240	2.19	0.6	0.1
<i>S. officinarum</i>						
Comercial feed	88	110	430	2.55	1.7	0.2
<i>M. maximus</i>	23	80	180	1.81	1.2	0.1
<i>L. leucocephala</i>	26.02	205	282	2.25	2.3	2.5
<i>A. lebeck</i>	32.68	236	327.6	2.41	0.88	1.49
<i>G. sepium</i>	28.79	246	283	2.53	1.7	2.1
<i>M. Oleifera</i>	28.7	265.6	324.8	1.63	0.44	2.59

\*Dry matter (DM %), crude protein (CP, g/ KgDM), crude fiber (CF, g/ kgDM), Gross Energy (gross energy, Mcal/kgDM), calcium (Ca, g/kg DM), and phosphorous (P, g/kg DM).

where:

$Y_{ijklm}$  = represented the m-n measurement made in the l-n square the j-n period in the i-n treatment in the k-n sampling within the j-n period.

m = population means or general intercept.

$T_i$  = fixed effect of the i-n treatment (i = 1: LL, 2: AL, 3: Gs, 4: Mo).

$P_j$  = fixed effect of the i-n day (i = 1, ..., 16).

$A_i$  = fixed effect of the i-n animal (i = 1, 2, 3...9)

$e_{ijklm}$  = random residual associated with the m- n measurement.  $\sim N(0, s^2)$ .

### Analysis of Consumption and Chemical Composition of Fodder

The consumption of each leaf type was measured by subtracting the amount left in the feeders from the initial amount of leaves placed. For the weighing of fresh leaves, a digital scale with a sensitivity of 0.01 kg was used. Laboratory analysis was

carried out at the beginning of the experiment to determine the DM, crude protein (CP), crude fiber (CF), and gross energy (GE). All procedures of feed analysis were performed as described in the manual “Official methods of analysis of AOAC international” (40).

The DM content of the leaves was determined individually in the laboratory of the Indio Hatuey Grass and Forage Experimental Station as described previously (41). To estimate the DM content, 500 g of homogenized grass samples were dried in a forced-air oven at 60°C for 48 h. The weight of each leaf sample was determined before and after the dehydration process (40) using an analytical balance of sensitivity 0.001 kg. After dehydration, the leaves were ground to a size of 2 mm and stored in amber glass jars.

The CP was calculated by the Kjeldahl method (42). CF was estimated by the Van Soest method (43, 44) briefly described by Garcia et al. (17). The GE was calculated with calorimetric methods using benzoic acid as the internal standard (45). This analytical procedure was performed with an adiabatic calorimetric pump (Model 1341EB, Parr instrument, Illinois, United States).

## Statistical Analysis

The results were analyzed using the SPSS program version 22 (IBM Corp, New York, United States). An analysis of variance (ANOVA) was applied to determine whether there were any

statistically significant differences between the measurements. Each buffalo was considered as an experimental unit (9) during the experimental period of 16 days. The weight of the feed (leaves and other supplements) before and after its placement in the feeders was evaluated individually. A Pearson correlation test was performed for the consumption of dry matter for the four leaf types.

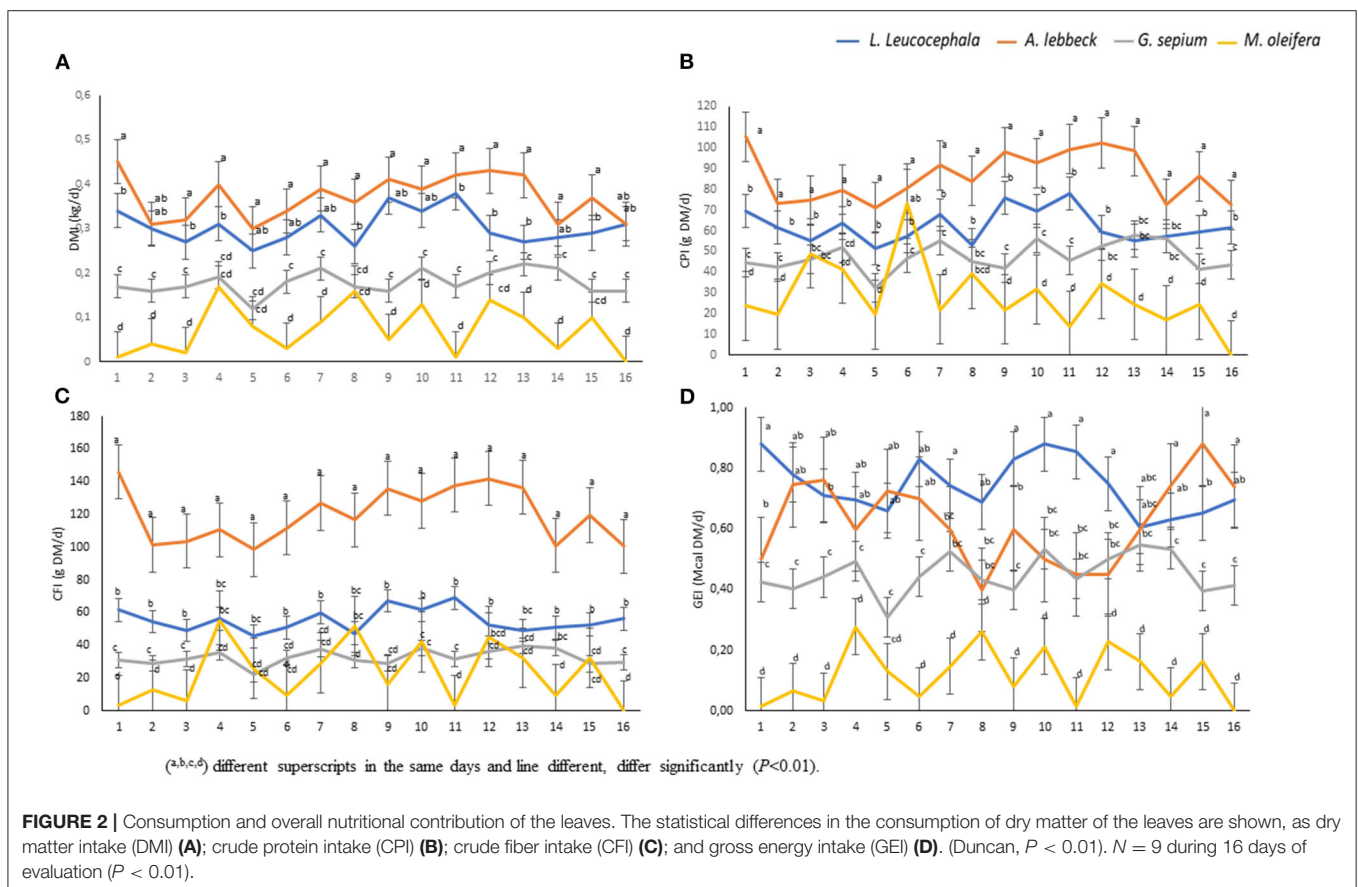
## RESULTS

### Water Buffaloes Leaf Type Preferences

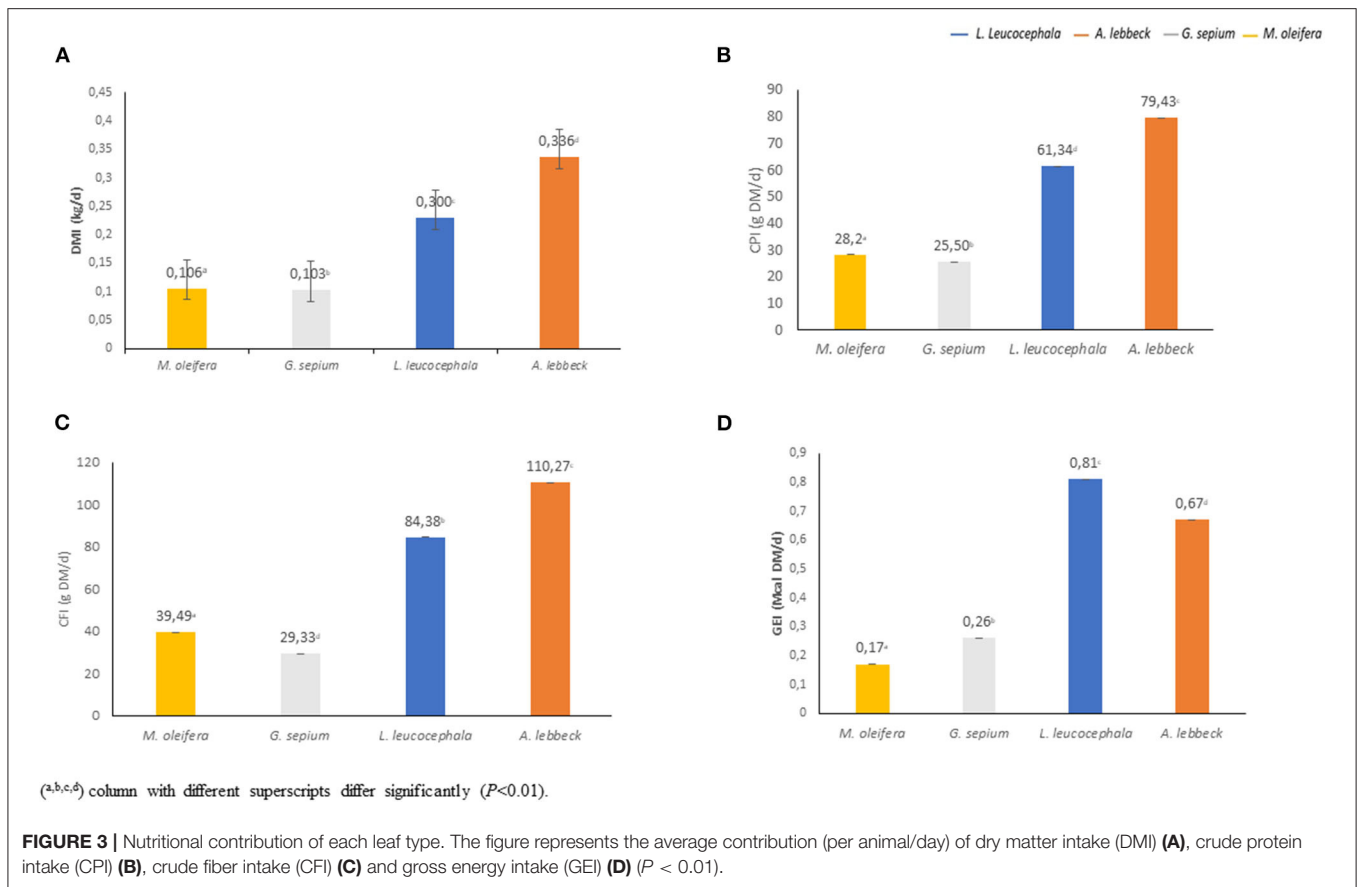
There was a daily variation in the consumption of the four types of leaves studied (Figure 2A). The leaves of *A. lebeck* (0.34 kgDM) and *L. leucocephala* (0.30 kgDM) were the most consumed, respectively, while the leaves of *M. oleifera* (0.11 kgDM) and *G. sepium* (0.10 kgDM) were the least consumed (Figures 2A, 3A). Each animal consumed 0.85 kg of DM of leaves daily ( $P < 0.01$ ). The consumption of *A. lebeck* and *L. leucocephala* was always the most consumed, but it was observed that this amount reduced when the buffaloes consumed higher quantities of *G. sepium* and *M. oleifera*.

### Contribution of Legumes to the Buffalo Diet

The analysis of the chemical composition revealed differences between the evaluated species (Table 1). The DM content was







lower in *M. oleifera* and *G. sepium*. Notably, *M. oleifera* had the lowest GE values. *L. leucocephala* and *M. oleifera* were the species with the lowest and highest CP, respectively. CF content was lower in *G. sepium* and *L. leucocephala* but higher in *M. oleifera* and *A. lebeck* (Table 1). The contribution of each of the species in terms of feed intake was different (Table 2 and Figures 2A–D). Of the leaves consumed, DM content differed between the four tree species during the period evaluated (Figure 2A). The CPI was highest in *A. lebeck* and *L. leucocephala* followed by *M. oleifera* and *G. sepium* ( $P < 0.01$ ; Figures 2B, 3B). The CFI was different between treatments. *A. lebeck* had the highest CF content followed by *L. leucocephala*, *M. oleifera*, and *G. sepium*, respectively ( $P < 0.01$ ; Figures 2C, 3C). However, the consumption of GE was highest in *A. lebeck* followed by *L. leucocephala*, *G. sepium*, and *M. oleifera*, respectively ( $P < 0.01$ ; Figures 2D, 3D). No differences were found in the consumption of calcium, phosphorous, and organic material present in the four types of leaves.

The average intake of fresh leaves was 2.91 kg/day and represents a daily DM consumption of 0.85 kg in this study (Table 2). The CPI of leaves was 194.48 g/animal/d; CFI was 258.48 g/animal/d and GEI was 1.92 Mcal/animal/d.

The total DM Intake (leaves + *M. maximum* + *S. officinarum* + commercial feed) in this study was 10.62 KgDM/animal corresponding to 2.83 % body weight, and 936.45 g of

CPI/animal, CFI = 2,160.99 g/animal; GEI 20.15 Mcal /animal, Ca = 12,86 g/animal and phosphorous = 2,76 g/animal (Table 2).

The DMI between *L. leucocephala* and *A. lebeck* showed significant correlation (Pearson  $r = 0.54$ ,  $P < 0.01$ ); DM consumption of *G. sepium* and *M. oleifera* showed a positive correlation (Pearson  $r = 0.26$ ;  $P < 0.01$ ). Notably, the correlation of DMI between *L. leucocephala* and *M. oleifera* was negative (Pearson  $r = -0.28$ ;  $P < 0.01$ ); *A. lebeck* and *G. sepium* had a value of  $r = 0.32$ . DMI of the most preferred and least preferred legume leaves (*L. leucocephala* + *A. lebeck* vs. *G. sepium* + *M. oleifera*) showed a negative correlation (Pearson  $r = -0.43$ ;  $P < 0.01$ ).

## DISCUSSION

Consumption of the leguminous trees was higher in *L. leucocephala* but provided less DM, CP and CF when compared to *A. lebeck*. In this study, *A. lebeck* was the leaf most consumed on the basis of DM, except for GE, where *L. leucocephala* was the most consumed species in the diet.

Previously, an evaluation in the paddock was conducted on bovine browsing behavior in an arboretum of 60 tree species. The findings showed a preference for *L. leucocephala* and *A. lebeck* in cattle (46). This evaluation was repeated with buffaloes resulting in a similar preference for *L. leucocephala* (24). According to

**TABLE 2** | Principal nutrient composition in the diet.

	Nutrient intake of the diet*							
	Quantity(kg)	DMI (kg/d)	CPI (g DM/d)	CFI (g DM/d)	GEI (Mcal DM/d)	GEI (Mcal DM/kg)	Cal(g DM/d)	PI(g DM/d)
Chopped Sugar cane (3mm) <i>S. officinarum</i>	2.00	0.52	14.56	124.80	1.14	2.19	0.31	0.05
Comercial feed	0.50	0.44	48.40	189.20	1.12	2.54	0.75	0.09
<i>M. Maximus</i>	38.37	8.83	706.01	1,588.52	15.97	1.80	10.59	0.88
Subtotal		9.79	768.97	1,902.52	18.23		11.65	1.02
%		92.05	79.81	88.04	90.47		90.61	36.98
<i>L. Leucocephala</i>	1.15	0.30	61.34	84.38	0.67	2.23	0.69	0.75
<i>A. lebbeck</i>	1.03	0.34	79.44	110.27	0.81	2.38	0.30	0.50
<i>G. Sepium</i>	0.36	0.10	25.50	29.33	0.26	2.60	0.18	0.22
<i>M. Oleifera</i>	0.37	0.11	28.20	34.49	0.17	1.54	0.05	0.28
Subtotal		0.85	194.48	258.48	1.92		1.21	1.74
%		7.95	20.19	11.96	9.53		9.39	63.02
Total	43.78	10.63	963.45	2,160.99	20.15		12.86	2.76

\*Quantity (kg), dry matter intake (DMI, Kg/d), crude protein intake (CPI, g DM/d), crude fiber intake (CFI, g DM/d), gross energy intake (GEI, Mcal DM/d), gross energy intake per kg(GEI, Mcal DM/kg) calcium intake (Cal, g DM/d), and phosphorous intake (PI, g DM/d).

García et al. (18), *M. oleifera* was a moderately-consumed plant. *A. lebbeck* and *L. leucocephala* was the most consumed species, probably due to the ease of collecting these branches in the feeders. *L. leucocephala* has very small leaves which are easily licked from the bottom of the feeders while *A. lebbeck* and *G. sepium* are more resistant to this type of action (47). However, it was observed that the rate of wilting of *M. oleifera*, prevents its consumption by the animals. We could attribute the preference for *L. leucocephala* and *A. lebbeck* to the “feeding memory” (i.e., the tendency of animals to remember the information of feed for up to 3 years) effect, reported in sheep (48) and buffaloes (49). The difference in the consumption and acceptability of the tree leaves could be suggestive of the satisfaction of the needs of the appetite and not that of “hunger” (50, 51). Additionally, ruminants prefer leaf types as a supplement that rapidly provides the highest satiety level of nutrients (52, 53).

The DM content of the feed in ruminants is partially responsible for limiting its consumption and ingestion through short-term regulation along with the fast fermentation of the carbohydrate contents (10, 50). These results are indicative of the satisfaction of the animal’s needs and coincide with what was reported by Mendez and Lima (54) who indicated that the voluntary consumption (expressed in the percentage of body weight) is 2.59–3.09% in buffalos. Similar results were previously published by Paul and Lai (55).

Tree leaves (*L. leucocephala*, *A. lebbeck*, *G. sepium*, and *M. oleifera*) contributed 194.48g DM to the daily CPI. This represents 20.19% of the protein even though the trees only provided 7.95% of the DM in the diet. The rest of the diet provided 768.97g CPI/animal/day (79.81% of diet). Paul and Lai (55) reported a daily CPI of 298–310g in the diet of female buffaloes with a similar body weight of 300–350kg and daily weight gain of 250 g/day, while being fed with different

proportions of feed in India. The value of the proportion of CPI due to the ingestion of tree leaves in this study was similar to a study in bovines in Cuba (21, 45, 56). Of the four types of leaves, *A. lebbeck* was the one that contributed the most to the protein needs of buffaloes and was sufficient to cover all the requirements of the animals used. Valenciaga et al. (25, 57) estimated in Cuba that a DM intake of 9.95 and 10.25 kg DM in buffaloes with 600 kg of BW was needed.

Delgado et al. (12) reported an apparent digestibility above 60% for trees such as *G. sepium* and *L. leucocephala* in similar conditions in Cuba. In this sense, Albores-Moreno et al. (58) reported high voluntary consumption in cattle (10.26–12.48 kg of D/animal/day) of legumes and found that the secondary metabolite content of plants did not interfere with the voluntary intake. Additionally, Barros-Rodríguez et al. (28) report that up to 50% of *L. leucocephala* can be included in the diet. These criteria could explain the favorable consumption in favor of *L. leucocephala* and *A. lebbeck*, in the same way, that it can be attributed to the digestibility as reported by Delgado et al. (12). However, they do not explain why *G. sepium* and *M. oleifera* were scarcely consumed.

Notably, the lower intake of *M. oleifera* could be related to the effects of this plant on the ruminal flora, volatile fatty acids, and ruminal ammonium concentration (59). This legume is low in fiber with higher degradability, gas production, short chain fatty acids production, and lower methane emissions as compared to wheat straw.

An *in vitro* study with an *M. oleifera* leaf extract as an alternative to monensin in sheep diets, found similar effects on the ruminal parameters (ruminal degradability, ammonia concentrations, and gas production) (60). The lower consumption of *M. oleifera* could also depend on the concentration of anti-nutritional factors (condensed tannin,

tannins which are precipitants of proteins, terpenoids, and total sterols) (18, 31) and the ability of this leaf type to wilt, rather than its nutritional value. Previous studies attributed the texture, anti-nutritional factors and the apparent digestibility (17, 18, 32, 48) to the speed with which the branches lose qualities after being cut (61). It could also be attributed to the vegetative state or age (60- days-old) in which the leaves of the plants were collected (62, 63), climatic conditions (13, 56), the animal category (48), the amount and nutritional composition of the tree resource (64), DM content and apparent digestibility (32, 65–67). However, there does not seem to be a direct relationship between the nutritional composition and the palatability of the leaves of leguminous trees, and the leaves of *L. leucocephala* and *A. lebeck* may generate similar stimuli in animals, meaning they are consumed more.

Pearson's correlation was significantly negative between the two most consumed species (*L. leucocephala* and *A. lebeck*) and the two least consumed (*G. sepium* and *M. oleifera*). In this sense, there was no correspondence between what was reported by Santana-Perez et al. (47) regarding the low correlations of consumption of *A. lebeck* (stems with irregular barks) compared to *L. leucocephala*, *G. sepium*, and *M. oleifera* (smooth stems), attributing it to the physical characteristics of the stems.

Analysis showed a negative correlation between *L. leucocephala* and *M. oleifera* in the DM intake, similar results were obtained previously (17, 18) where during grazing they observed *M. oleifera* being rejected in comparison with *L. leucocephala* and other leguminous trees. Santana-Perez et al. (47) found differences in voluntary consumption in sheep and cattle, attributing it to the differences between the maximum diameters of the stems consumed. With *G. sepium*, *L. leucocephala*, *M. oleifera*, and *A. lebeck* being the most consumed, respectively, the sheep did not consume the stems of *G. sepium*, attributing this phenomenon to the aversive stimulus generated by this plant.

## REFERENCES

1. FAOSTAT. FAOSTAT. *Agriculture Database*. (2010). Available online at: <http://apps.fao.org/page/collections?Sub-sety=agriculture> (accessed October 24, 2020).
2. MINAG. *Conservación de los Recursos zoogenéticos (rzg) en Animales de Granja de la República de Cuba*. (2014). Available online at: <http://www.fao.org/3/i4787e/i4787s103b.pdf> consulted (accessed July 7, 2018).
3. López JR. Perspectivas de La crianza del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) en la amazonía ecuatoriana. *Rev Amazon Ciencia Tecnol*. (2013) 2:19–29.
4. Brcko CC, Silva JAR, Martorano LG, Vilela RA, Nahúm BS, Silva AGM, et al. Infrared thermography to assess thermoregulatory reactions of female buffaloes in a humid tropical environment. *Front Vet Sci*. (2020) 7:180. doi: 10.3389/fvets.2020.00180
5. Crudeli GÁ. Fisiología reproductiva del búfalo. *Produc Argent Tecnol Marcha*. (2011) 24:74–81.
6. Gallosó-Hernández MA, Rodríguez-Estévez V, Alvarez-Díaz CA, Soca-Pérez M, Dublin D, Iglesias-Gómez J, et al. Effect of silvopastoral systems in the thermoregulatory and feeding behaviors of water buffaloes under different conditions of heat stress. *Front Vet Sci*. (2020) 7:393. doi: 10.3389/fvets.2020.00393

## CONCLUSIONS

There were significant differences in the consumption and acceptability of the leaves of the tree species. The highest consumption of leaves was that of *L. leucocephala* and *A. lebeck*, while *M. oleifera* and *G. sepium* species were consumed in lower quantities. The leaves of *A. lebeck* contributed more nutritionally to the animals, although the amounts consumed were equal to *L. leucocephala*. This study helps to define which tree species could be used in production systems with buffaloes in the tropics by providing insights into buffalo preferences for different leaves. We suggest that future studies explore the effects of secondary metabolites on feed intake.

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

The datasets generated for this study are available on request to the corresponding author.

## ETHICS STATEMENT

The animal study was reviewed and approved by the ethics committee of the Experimental Station: Indio Hatuey, Cuba.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors also participated equally in the design, preparation, and review of this research.

## FUNDING

BIOMAS-CUBA PROJECT. COSUDE. For grant and support of the execution of these experiments and Experimental Station: "Indio Hatuey" (Financial support of this research in to the topic's of sustainable Livestock production).

7. Gallosó Hernández MA, Rodríguez-Estévez V, Simon-Guelmes L, Soca-Perez M, Alvarez-Díaz CA, Dublin D, et al. Can trees replace the need for wallowing in river buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics? In: Dupraz C, Gosme M, Lawson G, editors. *Preliminary Results*. (2019). pp. 696.
8. Simón L, Gallosó M. Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba Presence and perspective of buffaloes in Cuban. *Pastos Forrajes*. (2011) 34:3–20.
9. Fundora O, Quintana FO, María GE. Comportamiento y composición de la canal de búfalos de río alimentados con una mezcla de pasto estrella, pastos naturales y leguminosas nativas. *Rev Cubana Cienc Agric*. (2004) 38:43–6.
10. Wanapat M, Phesatcha K. Rumen adaptation of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) by high level of urea supplementation when fed on rice straw-based diet. *Trop Animal Health Product*. (2016) 48:1135–1140. doi: 10.1007/s11250-016-1064-z
11. Patra AK, Pal K, Lalhriatpuii M. Prediction of nitrogen excretion in buffalo production systems using dietary and animal variables. *Agricult Syst*. (2020) 182:102845. doi: 10.1016/j.agsy.2020.102845
12. Delgado D, Cairo J, Moreira O. Fermentación ruminal en búfalos de río y cebú comerciales, alimentados con forraje integral de caña de azúcar. *Rev Cubana Ciencia Agrícola*. (2005) 39:53–7.

13. Simón L. Del monocultivo de pastos al silvopastoreo: La experiencia de la EEPF Indio Hatuey. In: Simón L, editor. *Silvopastoreo Un Nuevo Concepto de Pastizal*. Matanzas: EEPF (2012). p. 11–24.
14. Fundora O. Performance of river buffaloes (*Bubalus bubalis*) from Buffalypso breed in feeding systems based on grazing: fifteen years of research in the Instituto de ciencia animal. *Cuban J Agric Sci*. (2015) 49:2015. Available online at: <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/issue/view/35>
15. FAO. (2011). *Perspectivas Alimentarias, Análisis del Mercado de los Mercados Mundiales*. Available online at: <http://www.fao.org/giews/> (accessed October 24, 2020).
16. Palma JM, Flores R. Aproximación al estudio de la vegetación arbórea del estado de Colima, México. In: Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIA-CENIAP, editor. *Memorias: X Reunión de Avances en Investigación Agropecuaria Trópico'97*. Maracay: Estado Aragua (1997). p. 88–90.
17. García DE, Medina MG. Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zoo Trop*. (2006) 24:233.
18. García DE, Medina MG, Cova LJ, Torres A, Soca M, Pizzani P, et al. Preferencia de vacunos por el follaje de doce especies con potencial para sistemas agrosilvopastoriles en el Estado de Trujillo, Venezuela. *Pastos Forrajes*. (2008) 31:255.
19. Ørskov EB. Conferencia silvopastoral systems : technical, environmental and socio-economic challenges. *Pastos Forrajes*. (2005) 28:5–9.
20. Domínguez FA. Árboles y arbustos forrajeros: usos y perspectivas. In: *Memoria: XII Reunión Anual COTECOCA*. Boca del Río: Experimental Station of Pastures and Forages: “Indio Hatuey” (1996). p. 141–56.
21. Milera MC. Recursos Forrajeros Herbáceos y Arbóreos. In: *Estación Experimental de Pastos y Forrajes*. Experimental Station of Grass and Forages: “Indio Hatuey” (2016).
22. Iglesias-Gómez JM, Gallos-Hernández M, Toral-Pérez CO, Aguilar-Hernández A. Comportamiento Productivo y Conducta de Búfalos de Río y Toros Cebú En Silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. (2019) 42:223–9.
23. Vasquez F, Pezo D, Mora-Delgado J, Skarpe CH. Selectividad de especies forrajeras por bovinos en pastizales seminaturales del trópico centroamericano: un estudio basado en la observación sistemática del pastoreo. *Zoo Trop*. (2012) 30:63–80. Available at: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692012000100008&lng=es&nrm=iso&tlang=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692012000100008&lng=es&nrm=iso&tlang=es)
24. Toral-Pérez OC, Iglesias-Gomez JM, Aguilar A. Selectividad de especies arbóreas por búfalos en pastoreo. *Avan Invest Agropec*. (2019) 23:41–54.
25. Valenciaga D, López JR, Chongo B, Saliba E, La OO, Cairo JG. Consumo y digestibilidad aparente de nutrientes en búfalos de río (*Bubalus bubalis*) alimentadas con *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115. *Rev Cubana Ciencia Agrícola*. (2007) 41:249–52.
26. Ku Vera JC, Briceño EG, Ruiz A, Mayo R, Ayala AJ, Aguilar CF, et al. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Rev Cubana Ciencia Agrícola*. (2014) 48:43–53.
27. Delgado et al. Degradabilidad ruminal del follaje de *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* en búfalos de río y toros cebú *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. (2008) 42:375–88.
28. Barros-Rodríguez M, Sandoval-Castro CA, Solorio-Sánchez J, Sarmiento-Franco L, Rojas-Herrera R, Klieve AV. *Leucaena leucocephala* IN RUMINANT NUTRITION. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. (2014) 17.
29. Baumer M. Trees as browse and to support animal production. In: Speedy A and Pugliese PL, editors. *Legume Trees and Other Fodder Trees as Protein Sources for Livestock*. Roma: FAO, Animal Production and Health Paper (1992). p. 1–10.
30. López-Vigoda O. Silvopastoral systems as alternative for sustainable animal production in the current context of tropical livestock production. *Pastos Forrajes*. (2017) 40:83–95.
31. Thi M, Van Binh D, Ørskov ER. “Effect of foliage containing condensed tannins and on gastrointestinal parasites. *Anim Feed Sci Technol*. (2005) 121:77–87. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.02.013
32. Molina-Botero IC, Arroyave-Jaramillo J, Valencia-Salazar S, Barahona-Rosales R, Aguilar-Pérez CF, Ayala A, et al. Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia Sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Anim Feed Sci Technol*. (2019) 251:1–11. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.011
33. Gallos-Hernández M, Rodríguez-Estevez V, Simon L, Alvarez-Diaz CA. Comportamiento alimentario y aptitud de búfalos en sistemas arborizados (SSP) y sin arborización (SSA). In: Chica AF, Julieta P, García M, editors. *VI Congreso de Jóvenes Investigadores. Creando Redes Doctorales: La Generación Del Conocimiento*. Córdoba: UCO-Press, Editorial Universidad de Córdoba (2018).
34. Castro AC, Lourenço Júnior JDB, Santos NDFAD, Monteiro EMM, Aviz MABD, García AR. Silvopastoral system in the Amazon region: tool to increase the productive performance of buffaloes. *Cienc Rural*. (2008) 38:2395–402. doi: 10.1590/S0103-84782008000800050
35. Simón L, Gallos MA. Efecto de la arborización en la crianza de búfalos de río. *Zoo Trop*. (2008) 26:399–401.
36. La O, Chongo B, Delgado D, Valenciaga D, Pratt A, Elías A, et al. Caracterización de la degradabilidad ruminal *in situ* de nutrientes y de la digestibilidad intestinal *in vitro* de nitrógeno en *leucaena leucocephala* Cv. CIAT-7929. *Rev Cubana Ciencia Agrícola*. (2003) 37:387–93.
37. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Castro-Speck N. *Clasificación De Los Suelos De Cuba 2015*. San José de las Lajas: Ediciones INCA (2015).
38. INSMET. *El Clima de Cuba. Características Generales*. La Habana: Instituto de Meteorología. (2016). Available online at: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>
39. Pérez Infante, F. *Nueva Ganadería en Pastos*. La Habana: Asociación Cubana de Producción Animal (2013).
40. AOAC. *International Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Washington, DC: AOAC International (2005).
41. Cáceres O, Ojeda F, González E, Arece J, Simón L, Lamela L, et al. Valor nutritivo de los principales recursos forrajeros en el trópico. In: *Milagros Milera (comp.), Recursos Forrajeros Herbáceos y Arbóreos*. Matanzas: EEPF: “Indio Hatuey” (2010). p. 174–98.
42. Kjendhal, J. *Official Methods of Analysis, 14th ed. Association of Official Agricultural Chemists*. Washington, DC (1984).
43. Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). In: AOAC International, editor. *Agricultural Handbook*. US Department of Agriculture (1970). p. 379
44. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*. (1991) 74:3583–97. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
45. Cáceres O, González-García E. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*. (2002) 25:15–20. Available online at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01190060> (accessed September 1, 2015).
46. Toral OC, Iglesias JM. Selectividad de especies arbóreas potencialmente útiles para sistemas de producción ganaderos. *Zoo Trop*. (2008) 26:197–200.
47. Santana-Pérez AA, Borrás-Sandoval LM, Cheng L, Verdecia-Acosta DM, Iglesias-Gómez JM, Vega-Albi AM, et al. Influencia de las dimensiones de las ramas de árboles forrajeros en el aprovechamiento por rumiantes. *Ciencia y Agricultura*. (2019) 16:25–38. doi: 10.19053/01228420.v16.n2.2019.9118
48. Forbes JM, Kyriazakis I. Feed preferences in farm animals: why don't they choose wisely? *Proc Nutr Soc*. (1995) 54:429–40. doi: 10.1079/PNS19950012
49. Alcantara PB, Alcantara VBG. Evaluation of “feeding intelligence” in Heitor Pentead, editor. *Murrah Water Buffaloes Grazing Three Different Tropical Grasses*. Sao Pablo: Instituto de Zootecnia–SAA (1996).
50. Forbes JM. *Voluntary Feed Intake and Diet Selection of Farm Animals*. Wallingford, GB: CAB International (2007).
51. Alvarez Díaz CA, Pérez H, De la Cruz Martín T, Quincosa J, Sánchez A. *Fisiología Animal Aplicada*. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia (2009). 380 p.
52. Baumont R. Palatability and feeding behaviour in ruminants. *Ann Zoo*. (1996) 45:385–400. doi: 10.1051/animres:19960501

53. Forbes, J. M. (2000). Physiological and metabolic aspects of feed intake control. *Farm Anim Metab Nutr.* 1:319–34. doi: 10.1079/9780851993782.0319
54. Mendez AJ, Lima C. Aspectos nutricionales del búfalo. *Techolo Marcha.* (2011) 24, 105–120.
55. Paul SS, Lai LD. *Nutrient Requirements of Buffaloes.* Hisar: Satish Serial Publishing House, CIRB (2010).
56. López-Vigoa O, Lamela-López L, Sánchez-Santana T, Olivera-Castro Y, García-López R, González-Ronquillo M. Influencia de la época del año sobre el valor nutricional de los forrajes, en un sistema silvopastoril. *Pastos Forrajes.* (2019) 42:57–67.
57. Gutiérrez O, Cairo J, Ramírez B, Vasallo G, Varela M. Comparison between two techniques for estimating voluntary intake of female buffaloes under grazing conditions. Technical note. *Rev Cubana Ciencia Agrícola.* (2015) 49:317–20.
58. Albores-Moreno S, Alayón-Gamboa JA, Morón-Ríos A, Ortiz-Colin PN, Ventura-Cordero J, González-Pech PG, et al. Influence of the composition and diversity of tree fodder grazed on the selection and voluntary intake by cattle in a tropical forest. *Agroforest Syst.* (2020) 94:1651–64. doi: 10.1007/s10457-020-00483-9
59. Dey A, Paul SS, Pandey P, Rathore R. Potential of moringa oleifera leaves in modulating *in vitro* methanogenesis and fermentation of wheat straw in buffalo potential of *Moringa oleifera* leaves in modulating *in vitro* methanogenesis and fermentation of wheat straw in buffalo. *Ind J Anim Sci.* (2014) 84:533–8.
60. Soltan YA, Morsy AS, Hashem NM, Sallam SMA. Impact of supplementary Moringa Oleifera leaf extract on ruminal nutrient degradation and mitigation methane formation *in vitro* Egyptian. *J Nutr Feeds.* (2019) 22:55–62. doi: 10.21608/ejnf.2019.75840
61. Montejo-Sierra I, Lamela-López L, López-Vigoa O. Deshidratación del follaje, al sol y a la sombra, de tres plantas forrajeras proteicas. *Pastos Forrajes.* (2018) 41:21–9.
62. Wencomo HB, Ortiz R. Phenological Performance of 23 *Leucaena* spp. Accession. *Pastos Forrajes.* (2010) 33:1–12.
63. Toral OC, Iglesias JM. Evaluation of forage tree and shrub accessions during the establishment period. *Pastos Forrajes.* (2012) 35:17–28.
64. Palma JM, Román L, Morales A, Aguirre MA. Comportamiento productivo y composición químico-nutricional de cuatro especies arbóreas. In: *Memorias: III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y Arbustos en la Ganadería.* Matanzas: EEPF “Indio Hatuey” (1998). p. 45–7.
65. González, E., and Cáceres, O. (2002). Valor nutritivo de arboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos Forrajes* 25:1–6.
66. González N, Galindo J, Abdalla AL. Effect of four inclusion levels of *Morus alba* L. cv cubana on microbial populations and fermentative products in river buffalo (*Bubalus bubalis*) rumen liquid Cuban. *J Agricult Sci.* (2015) 49:349–56.
67. Delgado DC, La OO, Chongo B. Bromatological composition and *in situ* ruminal degradability of tropical legumes with perspectives of use in cattle productive systems. *Cuban J Agric Sci.* (2007) 41:323–6.

**Conflict of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2020 Gallosó-Hernández, Rodríguez-Estévez, Alvarez-Díaz, Soca-Perez, Dublin, Iglesias-Gómez and Guelmes. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.