

Índice de temperatura y humedad en una pastura convencional y un sistema agroforestal en el trópico seco de Colombia

Temperature and humidity index for conventional pasture and an agroforestry system in the dry tropic of Colombia

Roberto Piñeros-Barón¹ y Jairo Mora-Delgado^{2*}

¹Universidad del Tolima. Departamento de Producción Pecuaria. Colombia. ²Universidad del Tolima. Departamento de Producción Pecuaria. Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios. Colombia.

*Correo electrónico: jrmora@ut.edu.co

RESUMEN

Dentro de los principales factores ambientales que afectan los organismos vivos se encuentran la radiación solar, humedad relativa (HR) y temperatura (T). El índice de temperatura humedad (ITH) es un indicador ambiental que estima las condiciones climáticas que pueden generar estrés en animales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el ITH en dos sistemas de pastoreo (un sistema agroforestal y una pastura convencional) en condiciones de trópico seco. El estudio se realizó en el Centro Universitario Regional del Norte de la Universidad del Tolima. Se evaluaron tres sistemas: bajo la copa de los cítricos (BC), la franja entre árboles (ES) y un pastizal convencional sin árboles (PC). Se midió la T y HR para estimar el ITH en los tres sitios a las 7, 12 y 16 h del día, durante los meses de abril a julio de 2014. Se usó un diseño experimental con arreglo factorial. Inicialmente, los datos fueron analizados con un estadístico descriptivo y luego se hizo un ANDEVA y una prueba de comparación de test HSD de Tukey. Los resultados muestran que existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el ITH en la pastura convencional (PC) frente al sistema BC en el periodo seco y frente al sistema ES en el periodo lluvioso. Los valores de ITH de todos sitios de muestreo superaron el valor límite crítico que puede generar estrés calórico en animales.

Palabras clave: confort, ambiente, flujo de aire, transpiración.

ABSTRACT

Among the main environmental factors affecting living organisms are solar radiation, relative humidity (RH) and temperature (T). The temperature humidity index (THI) is an environmental indicator that estimates climatic conditions that can cause stress in animals. The aim of this study was to evaluate the HDI two grazing systems (an agroforestry system and a conventional pasture) in dry tropical conditions. The study was conducted at the Centro Universitario Regional del Norte at the University of Tolima. Three environmental istems were evaluated: under the canopy of citrus (BC), the strip between trees (ES), and a conventional treeless grassland (PC). T and RH was measured to estimate the ITH at the three sites at 7, 12 and 16 h a day, from April to July 2014. There was used in an experimental design with factorial arrangement. Initially, the data were analyzed with descriptive statistics and then became an ANOVA and a comparison test of Tukey HSD test. The results show that there are significant differences ($P < 0.05$) between the ITH in conventional pasture (PC) against the BC system in front of the system dry period is the rainy season. Under the dry tropic conditions evaluated ITH values of all sampling sites exceeded the critical threshold that can generate heat stress in animals.

Key words: ambient, comfort, air flow, transpiration.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas orgánicos de plantas y animales como las producciones ubicadas en regiones tropicales, están expuestos a condiciones ambientales, especialmente climáticas, que algunas veces pueden llegar a afectar la productividad primaria. Dentro de los principales factores medioambientales que afectan directamente los organismos vivos se encuentran la radiación solar, la humedad relativa y la temperatura, como factores estresantes ambientales que imponen presión sobre los animales (Silanikove, 2000).

El índice de temperatura humedad (ITH) es una medida que se ha utilizado desde principios de 1990 que da cuenta de los efectos combinados de la temperatura ambiental y de la humedad relativa y es una manera útil y fácil de evaluar el riesgo de estrés térmico de los animales (Dairy Australia, 2012). Varios índices temperatura-humedad han sido utilizados para estimar el grado de estrés térmico experimentado por los animales, por lo cual se han desarrollado diferentes ecuaciones usando variables meteorológicas relacionadas con temperatura rectal para predecir el estrés del ganado (Dikmen y Hansen, 2009). El más común de estos índices de temperatura-humedad es el ITH, el cual utiliza temperatura de bulbo seco y humedad relativa para estimar la magnitud de estrés por calor (Thom, 1959), aunque conceptualmente, es difícil determinar si THI es la más apropiada para determinar estadios de estrés animal.

Según Bailey (2005) y Forgiarini (2014) el pastoreo de los rumiantes involucra diferentes factores tanto bióticos como abióticos que influyen el comportamiento de los animales. Dentro de los factores abióticos se destacan la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar. Cuando alguno de estos factores, especialmente la temperatura, humedad relativa y radiación solar se encuentran aumentadas pueden llegar a generar estrés calórico en los rumiantes. Macias-Cruz *et al.* (2013) y Ariasa *et al.* (2008) reportan que el ITH se ha utilizado durante las últimas cuatro décadas como un indicador de estrés en producciones de rumiantes.

Operativamente, cuando el ITH excede 72, los rumiantes están propensas a comenzar un estado de estrés por calor y cuando excede

78, la producción de leche se ve seriamente afectada. Por encima de valores de 82, las vacas muestran signos de estrés severo y en última instancia pueden morir (Dairy Australia, 2012).

Por otro lado, el estrés por calor puede reducir la productividad, causar problemas reproductivos tales como la reducción de la calidad del semen y de bajo peso al nacer, y poner en peligro el sistema inmunológico (OACC, 2008). Se reporta que la mayor razón de pérdidas económicas a nivel mundial es el estrés calórico en producciones lecheras (Rungruang, 2012). En Estados Unidos las pérdidas económicas anuales pueden llegar a 800 millones de dólares debido al incremento de la mortalidad, disminución de producción y reproducción en hatos lecheros. Mientras, Panagakis (2011) en estudios realizados en Atenas (Grecia) reporta que en producciones de ovejas de pelo se evidenciaron que temporadas de temperatura alta las ovejas sufrieron reducción de la glándula mamaria e inmunosupresión en corderos que en algunos casos terminaban en la muerte del animal.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el ITH en dos sistemas de pastoreo (un sistema agroforestal y una pastura convencional) en condiciones de trópico seco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro Universitario Regional del Norte (CURDN), ubicado en la vía hacia el municipio de Armero, Guayabal, Colombia (5° 0' 29.46" N y 74° 54' 18.32" O). Esta zona presenta las siguientes condiciones: Zona de vida según Holdridge (1967) Bosque Seco Tropical (bs-T), temperatura promedio de 27°C, altura entre 275 a 550 m.s.n.m., precipitación de 1.738 mm anuales y humedad relativa promedio de 71% (IDEAM, 2014; Carvajal y Oviedo, 2014). En el valle de Armero son comunes los suelos profundos, bien estructurados, de texturas moderadamente finas, friables y con buena retención de humedad. Poseen un pH ligeramente ácido (5.8-6.2) con medianos contenidos de materia orgánica (1,5-3%), poseen un adecuado balance químico (Castro, 1996), tal como se observa en la Figura 1.

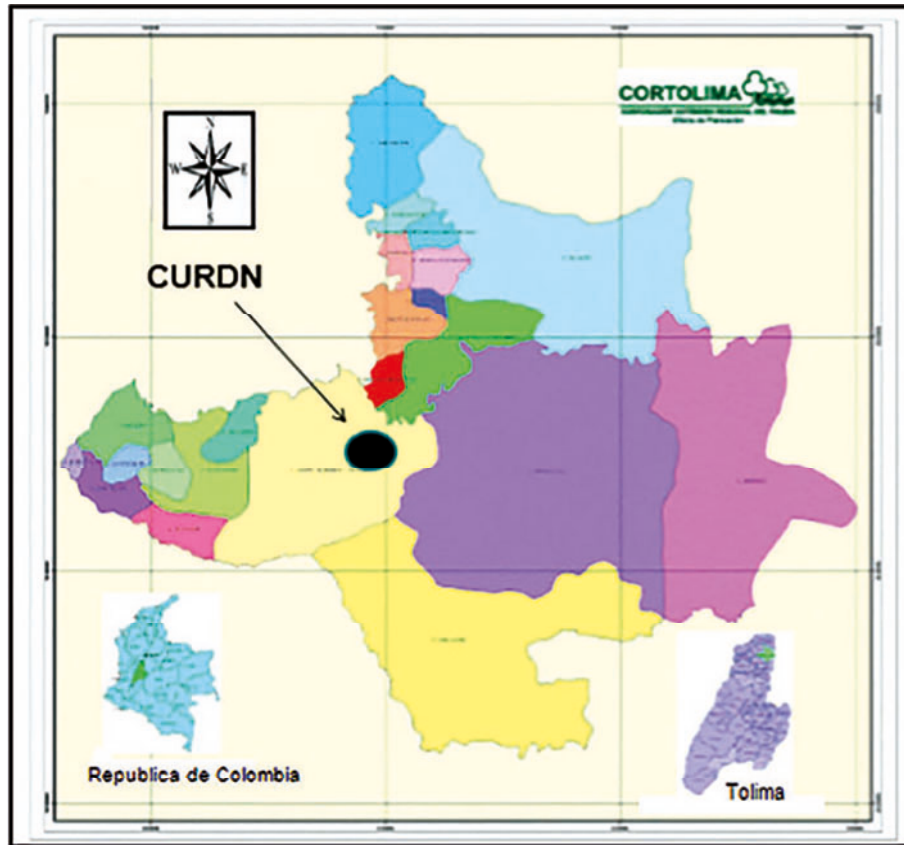


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Armero Guayabal, Tolima, Colombia.

Las mediciones se realizaron en dos sistemas de producción: un sistema convencional sin presencia de especies leñosas y el segundo en un sistema agroforestal con frutales de limón Tahití (*Citrus aurantifolia* (Christm) Swing). Cada sistema contó con un área de 1 ha. Los dos sistemas presentaban las mismas especies de gramíneas (*Brachiaria xaraes*, Pasto Mulato (*Brachiaria* proveniente del cruce No. 625 -*Brachiaria ruziziensis* clon 44-6 x *Brachiaria brizantha* CIAT 6297- y *Panicum maximum*). El sistema agroforestal con cítricos presentaba una distribución de los cítricos plantados a una distancia entre planta de 4 m y 8 m entre surcos.

Para la caracterización dasométrica de los árboles se tomó una muestra de 10 árboles distribuidos aleatoriamente en el sistema con los cuales se calculó una altura promedio de $1,94 \pm 0,32$ m y un diámetro mayor de copa de $1,6 \pm 0,15$ m y un diámetro menor de la copa de $1,14 \pm$

0,25 m. El área de dosel se estimó mediante la ecuación 1.

$$A = \pi (\text{Radio1} * \text{Radio2}) \text{ Ecuación 1}$$

Con este dato se calculó la cobertura de dosel del sistema mediante la ecuación 2

$$\text{Sombra} = \frac{\sum (Aci \times Oi)}{A_{total}} \times 100$$

Ecuación 2

Donde:

Sombra = Sombra arbórea (%)

Aci = Área de copa del árbol (m²)

Oi = Oclusión del árbol

A total = Área total del sistema (m²)

En el Cuadro 1 se pueden apreciar algunas características dasométricas del sistema silvopastoril.

La diferencia de ambientes presentes en el sistema silvopastoril derivado del efecto de la sombra causada por el componente leñoso y un ambiente a libre exposición a la radiación solar en el sistema convencional, constituyó la base para la configuración de los tratamientos del experimento, los cuales se explican más adelante. La evaluación se realizó durante un periodo de lluvias comprendido entre los meses de abril a mayo (30 días) y periodo seco entre los meses de junio a julio (30 días) de 2014 como se aprecia en la Figura 2.

Factores medioambientales

Los factores medioambientales fueron medidos por medio de una estación meteorológica

del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicada en el CURDN, donde se tomaron las mediciones de precipitación, temperatura y humedad relativa. La humedad relativa y temperatura de los sistemas productivos (convencional y agroforestal) se tomaron por medio de tres dataloggers marca Hobo proV2®, los cuales fueron distribuidos bajo la copa de los cítricos (ubicados en la bifurcación principal del arbusto, a 1,20 m de altura) y en las pasturas del sistema agroforestal y convencional. Los dataloggers se programaron para tomar datos a los 7, 12 y 16 h. El registro de las 12 se hizo para analizar las condiciones medio ambientales en el momento de mayor temperatura del día y a las 7 y 16 h, siguiendo la metodología de Espinoza

Cuadro 1. Características dasométricas del sistema silvopastoril (SSP) de limón Tahití (*Citrus aurantifolia*) × gramíneas (*Brachiaria* sp + *Panicum maximun*).

Parámetro	Valor
Cantidad de árboles (N°)	312
Altura promedio (m)	1,94 ± 0,32
Área de dosel promedio (m)	5,73 ± 0,12
Sombra/ha (%)	13,43

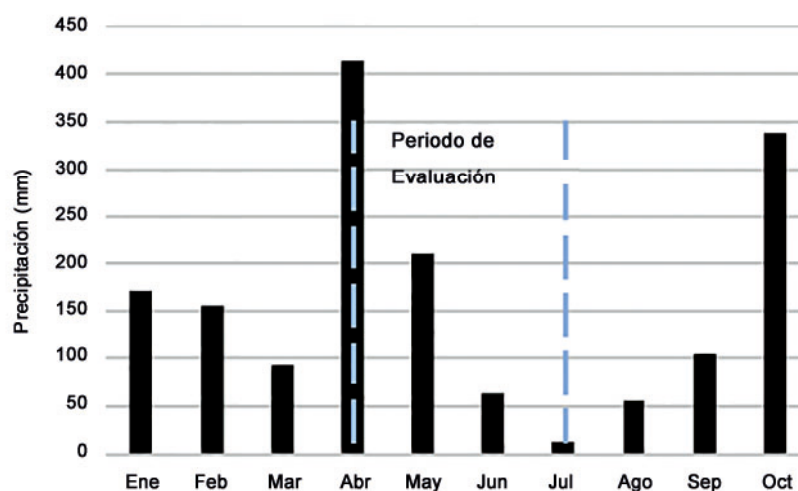


Figura 2. Precipitación de la granja el CURDN durante los primeros 10 meses del 2014, entre las líneas punteadas se encuentra el periodo de evaluación de los sistemas. Fuente: IDEAM, 2014.

et al. (2011), quienes consideran que son los momentos del día en que los animales tienen la menor y la mayor carga térmica.

Índice temperatura humedad

Se estimó el índice de temperatura y humedad en dos sitios del sistema agroforestal con cítricos (pastura y bajo copa) y en las pasturas del sistema convencional. El índice de temperatura y humedad fue estimado por medio de la fórmula reportada por Wojtas *et al.* (2013):

$$ITH = 0.81 \cdot T + H \cdot (T - 14.4) + 46.4$$

Dónde: T = temperatura (°C)

H = humedad relativa (%)

Los valores generados en el estudio fueron comparados con parámetros para rumiantes establecidos en la literatura (Nienaber y Hahn, 2007), los cuales se pueden apreciar en el Cuadro 2.

Tratamientos y análisis estadístico

Los tratamientos fueron: T1) Bajo la copa de los cítricos del sistema agroforestal (BC); T2) la pastura entre los surcos (ES) y T3) la pastura del sistema de pastoreo convencional (PC), evaluados en dos periodos diferenciados por la precipitación media: seco y lluvioso.

Se hizo un análisis estadístico descriptivo con medidas de dispersión y de tendencia central (promedio de la población y desviación estándar). Los datos se dividieron en tres bloques según las horas de muestreo (7, 12 y 16 h). El diseño experimental fue un arreglo factorial. El primer factor fueron los sistemas y el segundo factor los

periodos climáticos (seco y lluvioso). Se hizo un análisis de varianza en cada bloque utilizando el software Infostad® versión 2013e. El modelo matemático fue $Y_{ij} = \mu + S_{ij} + P_{ij} + (S \times P)_{ij} + \epsilon_{ij}$

Dónde:

μ , es el promedio

S, los sistemas

P, los periodos

ϵ , error experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad relativa y temperatura ambiental

No hubo diferencias estadísticas entre los sistemas, ni entre periodos en las variables temperatura y humedad relativa ($P > 0.05$). No obstante, los valores sugieren que la humedad relativa, en los dos periodos, fue tenuemente más alta en el sistema agroforestal, especialmente en el sistema BC. La temperatura registrada bajo la copa de los cítricos fue ligeramente más baja en el sistema BC, aunque las diferencias no son significativas (Cuadro 3).

Esta escasa influencia del dosel arbóreo sobre la temperatura ambiental puede estar relacionada con la baja altura y poca área del componente leñoso, lo que hace que la capacidad de interceptación de la radiación solar y por tanto la regulación térmica sea baja. La literatura reporta una reducción de la temperatura ambiente en sistemas agroforestales (Wilson y Ludlow, 1991; Ovalle y Avendaño, 1988), sin embargo esta varía en función de la cantidad de la radiación transmitida a través de la corona

Cuadro 2. Parámetros de estado de estrés en rumiantes.

Estado	ITH	Tasa Respiratoria
Normal	<74	<90
Alerta	>74 - <79	90 – 110
Peligro	>79 - <84	110 – 130
Emergencia	>84	>130

Fuente: Tomado de Nienaber y Hahn (2007).

Cuadro 3. Humedad relativa (%) y temperatura (°C) durante el periodo seco y húmedo a las 7 a.m., 12 m. y 16 p.m. en tres ambientes (sistemas) de un pastizal convencional y un sistema agroforestal con cítricos.

	Periodo	Horas	PC	BC	ES	
Humedad (%)	Seco	7	89,51	91,12	89,5	
		12	43,21	50	49,77	
		16	53,97	56,62	55,35	
			media	62,23	65,91	64,87
	Lluvioso	7	96,54	95,82	95,57	
		12	61,34	67,52	58,08	
		16	62,43	66,4	62,58	
			media	73,44	76,58	72,08
	Temperatura (°C)	Seco	7	25,49	24,23	24,75
12			34,74	35,29	34,94	
16			32,69	33,22	33,22	
			media	30,97	30,91	30,97
Lluvioso		7	24,71	24,41	24,46	
		12	33,93	32,37	35,44	
		16	32,57	32,07	33,56	
			media	30,40	29,62	31,15

PC: pastura convencional; BC: bajo la copa; ES: entre los surcos.

(Peri, 2002), la cual a su vez está en función del tamaño del árbol, forma de la corona, la densidad de plantación de árboles, las prácticas de silvicultura y el desarrollo de área foliar de los árboles (Kellomäki *et al.*, 1985; Miah *et al.*, 1995).

Posiblemente, la tendencia a una mayor humedad relativa se relaciona con la conservación de un mayor porcentaje de humedad retenida en el ambiente, influenciada por el dosel del componente leñoso, que permanentemente están transpirando agua. Esto concuerda con lo reportado por Renaud *et al.* (2010) quienes sostienen que durante el día, la humedad relativa fue significativamente mayor ($P < 0,0001$) bajo el dosel de los árboles que en campo abierto en 13 de 14 sitios evaluados. No obstante, otro factor, como la humedad del suelo podría influenciar la humedad relativa del ambiente (Renaud *et al.*, 2010). Seguramente, es la expresión acumulativa

de efectos del dosel herbáceo y del componente leñoso, en la interacción entre la transpiración de la superficie específica de la lámina foliar (Black *et al.*, 2015) y una menor velocidad del viento, regulada por la masa del dosel, que hacen que disminuya la capacidad de desecación del viento y así se mantenga una mayor humedad relativa, como lo explican Santos *et al.* (2008) y Brügemann *et al.* (2012).

Índice de temperatura-humedad

A las 12 h, momento de mayor sensación térmica, se presentó una interacción significativa entre sistema y periodo ($P < 0,0001$), mostrando un menor ITH en la pastura convencional (PC), con diferencias significativas frente al sistema BC en el periodo seco y frente al sistema ES en el periodo lluvioso (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de temperatura y humedad (ITH) durante diferentes sistemas y en los dos periodos evaluados.

Periodo	Sistema	7 h	12 h	14 h
Seco	BC	74,92±2a	85,28±1b	83,58±2ab
	ES	75,56±2ab	84,66±1ab	83,14±3ab
	PC (Control)	76,78±3b	83,12±2a	82,39±5a
Lluvioso	BC	75,67±2ab	84,47±2ab	83,81±2ab
	ES	75,73±2ab	86,92±3c	85,16±2b
	PC (Control)	76,23±3ab	85,50±2bc	83,58±5ab

PC: pastura convencional; BC: bajo la copa; ES: entre los surcos.

Letras diferentes significan diferencias significativas ($P < 0,05$).

No hubo interacción entre sistema y periodos evaluado a las 7 y 14 h ($P > 0,05$). A pesar de, como se puede observar en el Cuadro 4 los valores de ITH a las 7 h del periodo seco sugieren una mejor condición ambiental bajo las copas de los cítricos (BC) con relación al sistema convencional (PC).

Los valores estimados de ITH durante las 16 h (Cuadro 4) no presentan diferencias estadísticas significativas en la interacción sistema x periodo ($P > 0,05$). No obstante, los valores presentaron la misma tendencia que los estimados a las 12 h.

Los resultados sugieren que bajo los sistemas BC y ES, los cuales forman parte del arreglo agroforestal, las condiciones ambientales definidas por el ITH no serían confortables para los rumiantes en pastoreo dado que valores por encima de 80 pueden generar estados de estrés calórico en los animales. Ghassemi *et al.* (2014) encontraron patrones similares en el ITH estimado al medio día en sistemas de pastoreo con ovejas Corriedale con un ITH de 86.

El alto ITH encontrado en estos sistemas, se puede explicar a que en los sitios de monitoreo del sistema agroforestal (BC) presentaron una temperatura ligeramente más baja pero la humedad relativa es muy similar al sistema convencional (PC), a su vez en el sistema ES posiblemente el ITH este influenciado por una mayor humedad relativa proveniente de la evaporación del agua del suelo, especialmente en el periodo seco (Cuadro 3). Al respecto,

Santos *et al.* (2008) reportan que en el proceso de evapotranspiración, las plantas liberan agua a través de sus estomas en los procesos de movilización de vapor de agua y otros gases, como CO_2 manteniendo en su interior solo una pequeña fracción. Este fenómeno acompañado de un mayor número de arbustos presentes en un sistema agroforestal explicaría los valores de humedad presentes en el estudio.

La humedad relativa afecta en mayor grado el bienestar de los rumiantes cuando las temperaturas son elevadas al incidir en un valor más alto de ITH, lo cual coincide con lo reportado por García y Wright (2007) quienes señalan que durante los días cálidos del verano, y para que se puedan perder cantidades significativas de calor a través de la transpiración, es necesario que la humedad ambiental relativa sea baja.

Ariasa *et al.* (2008) reportan que la humedad relativa es considerada un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas. A su vez, Brügemann *et al.* (2012) mencionan que los sistemas que presentan un mayor flujo de aire manifiesta una menor humedad relativa reduciendo los valores de ITH en el sistema, lo cual explica el menor valor determinado en el sistema PC, donde existe un mayor flujo de aire al no presentar algún componente leñoso que obstruya las corrientes de aire en el sistema. Melese *et al.* (2006) evaluaron modelos de flujo de aire y su comportamiento en sistemas arborizados, encontrando que este

flujo disminuye cuando choca en la copas de los arbustos donde hay áreas densa, evitando la desecación de la zonas aledañas al arbusto.

De hecho, el impacto de un ITH alto en la producción animal es significativo, en la medida que este índice aumentado induce a estrés calórico en los animales, lo que a su vez, se refleja en un mayor gasto de energía para la termorregulación y por tanto una mayor pérdida de energía para la producción pecuaria (Saravia y Cruz, 2013). Resultados experimentales han demostrado que las tasas de concepción descienden en la medida que aumenta el ITH (Ingraham *et al.*, 1974; Johnson, 1994; Du Preez *et al.*, 1991).

De igual manera, el comportamiento ingestivo es afectado en estados de estrés calórico. Mujika (2005) reporta que a 35°C la ingestión real disminuye 14% y cae hasta en un 50% cuando la temperatura llega a 40°C. Por tanto, los animales comen la mitad de kilogramos de materia seca, es decir, el fuerte calor afecta la ingestión de materia seca y la producción hasta en un 55%. Naturalmente, estas bajas en la producción y en la reproducción afectan la ganancia del ganadero.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren la humedad relativa juega un papel desencadenante en el aumento del ITH. Bajo el dosel (BC) del sistema agroforestal se presentan porcentajes medios más altos de humedad relativa, que se explica por el efecto del proceso de evapotranspiración de los arbustos en interacción ecofisiológica con la barrera creada por la masa arbustiva, que impide que el flujo de aire arrastre excesos de humedad en el sistema. Además, la reducción de la temperatura ambiente bajo el sistema agroforestal es mínima en relación a la pastura convencional.

Se puede decir que, bajo las condiciones de arquitectura de dosel leñoso del sistema agroforestal con cítricos, las diferencias en el cambio de condiciones ambientales, expresadas mediante indicadores ecofisiológicos como temperatura, humedad relativa y el ITH son mínimas, dado que se presentan valores

similares al sistema al convencional, en las horas de mayor sensación térmica (12 y 16 h).

Se recomienda seguir monitoreando el sistema, para detectar cambios en el ITH a medida que el área de dosel del componente leñoso aumente.

LITERATURA CITADA

- Ariasa, R., T. Maderb y P. Escobara. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40. pp. 7-22.
- Bailey, W. 2005. Identification and Creation of Optimum Habitat Conditions for Livestock. *Rangeland Ecology & Management*. 58 (2). 109-118.
- Black, C. R., D. Randhawa and C. K. Ong. 2015. Principles of resource capture and use of light and water. Ong, C.K.; Black, C., Wilson, J. (Eds.). *Tree-Crop Interactions*, 2nd Edition: Agroforestry in a Changing Climate. CABI, Boston. pp. 57-118.
- Brügemann, K., E. Gernand, U. König, V. Borstel and S. König, S. 2012. Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Archiv Tierzucht*. 55. pp. 13-24.
- Carvajal, J. y E. Oviedo. 2014. Efecto de una serina proteasa en dietas con niveles crecientes de sorgo sobre los parámetros productivos y utilización de nutrientes en pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 7(1): 44-56.
- Castro, H. 1996. Bases técnicas para el conocimiento y manejo de los suelos del valle cálido del Alto Magdalena. CORPOICA, Regional 6. Produmedios. Bogota. 107 p.
- Dairy Australia. 2012. Temperature Humidity Index (THI). In: *Cool Cows*. Available on line: <http://www.coolcows.com.au/go-on-alert/thi.htm>. [Feb. 18, 2015].
- Dikmen, S. and P. J. Hansen. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy

- cows in a subtropical environment?. *J. Dairy Sci.* 92:109–116.
- Du Preez, J. H., S. J. Terblanche, W. H. Giesecke, C. Maree and M. C. Welding. 1991. Effect of heat stress on conception in a dairy herd model under South African conditions. *Theriogenology*, 35: 1039-1049.
- Espinoza, J., R. Ortega, A. Palacios y T. Guillén. 2011. Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ Córdoba*. 16. pp. 2.302 – 2.309.
- Forgiarini, E. 2014. Comportamento animal e atributos fisiológicos de vacas leiteras submetidas a ambientes com e sem sombreamiento durante a estação quente. Tesis de Maestría. Universidade federal do Rio Grande Do Sul. Brasil. 11. Disponível on-line: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/101658> [Feb. 20, 2015].
- García, A. y C. Wright. 2007. Efectos del Medio Ambiente Sobre los Requerimientos Nutricionales del Ganado en Pastoreo. *Extension Extra. USDA. South Dakota State University. USA*, 5 p.
- Ghassemi, Nejada J., J. Lohakarea, J. Westb, J. and K. Sunga. 2014. Effects of water restriction after feeding during heat stress on nutrient digestibility, nitrogen balance, blood profile and characteristics in Corriedale ewes. *Animal Feed Science and Technology*. 193. pp. 1-8.
- Holdridge, L. 1967. Life zone ecology, Tropical Science Center. San José, Costa Rica 206 p.
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. 2014. Disponible en línea: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>. [Dic. 15, 2014].
- Ingraham, R. H., D. Gillette and W. D. Wagner. 1974. Relationship of temperature and humidity to conception rate of Holstein cows in subtropical climate. *Journal Dairy Science*, 57: 476-481.
- Johnson, H. D. 1994. *Animal Physiology. In. Handbook of Agricultural Meteorology*. Ed. Griffiths, New York. pp. 44 – 58.
- Kandemir, C., N. Koşum and T. Taşkin. 2013. Effects of heat stress on physiological traits in sheep. *Macedonian Journal of Animal Science*, 3 (1). 25–29.
- Kellomaki, S., P. Oker-Blom and T. Kuuluvainen. 1985. The effect of crown and canopy structure on light interception and distribution in a tree stand. In: Tigerstedt P.M.A., Puttonen P. and Koski V. (eds) *Crop Physiology of Tree Forest*, pp. 107-115. Finland: University of Helsinki.
- Macias-Cruz, U., F. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderon, R. Diaz-Molina, M. Mellado, C. Meza-Herrera and L. Avendano-Reyes. 2013. Thermo regulation of nutrient-restricted haire wes subjected to heat stress during late pregnancy. *Journal of Thermal Biology*. 38. 1- 9.
- Melese, A, M. Hertog, P. Verboven, K. Baetens, M. A. Delele, H. Ramon and B. M. Nicolaï. 2006. Modelling airflow through 3d canopy structure of orchards. *Aspects of Applied Biology* 77, International advances in pesticide application. pp. 465-472.
- Miah, M. G., D. P. Garrity and M. L. Aragon. 1995. Light availability to the understory annual crops in an agroforestry system. In: Sinoquet H. and Cruz P. (eds) *Ecophysiology of Tropical Intercropping*. pp. 99-107.
- Mujika, I. 2005. El estrés calórico, efecto en las vacas lecheras. *Navarra Agraria*, Mayo-Junio.9p. Disponible en línea: http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/76-estrescalorico.pdf. [Mar. 03, 2016].
- Nienaber, J. A. and G. L. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol*. 52: 149-157.
- OACC. Organic Agriculture Center of Canada. 2008. Animal welfare on organic farms fact sheet series. Heat stress in ruminants. Available on line: <http://www.oacc.info/>

- Docs/AnimalWelfare/AWTF/Heat_stress_ruminants.pdf. [Feb. 20, 2015].
- Ovalle, C. and J. Avendaño. 1988. Interactions de la strate ligneuse avec le strate herbacée dans les formations d'Acacia caven (Mol.) Hook et Am. au Chili. II. Influence de l'arbre sur quelques elements du milieu microclimatic et sol. *Oecologia Plantarum* 9:113-134.
- Panagakis, P. 2011. Black-globe temperature effect on short-term heat stress of dairy ewes housed under hot weather conditions. *Small Ruminant Research*. 100. pp. 96-99.
- Peri, P. 2002. Leaf and canopy photosynthesis models for cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) grown in a silvopastoral system PhD Thesis. Lincoln University, New Zeland. pp. 11-12.
- Renaud, V., J. L. Innes, M. Dobberti and M. Rebetez. 2010. Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998–2007). *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-010-0361-0.
- Rungruang, S. 2012. Evaluation of dietary niacin and supplemental cooling for alleviation of heat stress in lactating dairy cows. PhD Thesis. University of Arizona. USA. 179 p.
- Santos, C., I. J. Lorite, M. Tasumi, R. G. Allen and E. Fereres. 2008. Integrating satellite-based evapotranspiration with simulation models for irrigation management at the scheme level. *Irrig Sci* 26, 277-288.
- Saravia, C. y C. Cruz. 2013. Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal. *Fac. Agr. Nota Técnica* N° 50. Uruguay. 36 p.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 67. pp. 1-18.
- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12:57–59.
- Wojtas, K., P. Cwynar, R. Kolacz and R. Kupczynski. 2013. Effect of heat stress on acid base balance in Polish Merino sheep. *Archiv Tierzucht*. 56. 917- 923.
- Wilson, J. R. and M. M. Ludlow. 1991. The Environment and Potential Growth of Herbage under Plantations. En Shelton H.M. y W.W. Stür (Eds.) *Forages for Plantations crops*. Proceedings ACIAR, N° 32. Camberra, Australia pp. 10-24.