

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Montes de abrigo y sombra en predios agrícola- lecheros:
Modificación del microclima e índices de estrés calórico
animal

por

Bruno BUONOMO ARAUJO
Christian Fabricio BONVICINI INZAURRALDE

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (MSc.) Adriana Bussoni

Ing. Agr. Mariana Boscana

Ing. Agr. Oscar Bentancur

Fecha:

28 de octubre de 2019

Autores:

Bruno Buonomo Araujo

Christian Fabricio Bonvicini Izaurralde

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional durante toda la carrera.

A todo el equipo de + Tecnología integrado por Ing. Agr. (MSc.) Adriana Bussoni, Ing. Agr. (MSc.) Carolina Munka, Ing. Agr. Mariana Boscana e Ing. Agr. Marcello Rachetti por su apoyo en las instancias de trabajo a campo.

A la Ing. Agr. (MSc.) Celmira Saravia por sus correcciones y aportes.

A Los productores Sr. Roberto Condon, Sr. Ruben Mussini y Sr. Mario Méndez por disponer sus predios para la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS GENERALES.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. AGRO FORESTACIÓN.....	3
2.1.1. <u>Definiciones</u>	3
2.1.2. <u>Objetivos de los sistemas agro-forestales</u>	3
2.1.3. <u>Clasificación de los SAF</u>	4
2.2. INTERACCIÓN ÁRBOL-ANIMAL.....	4
2.3. INTERACCIÓN ÁRBOL- PASTURA.....	6
2.4. EFECTOS MICROCLIMÁTICOS GENERADOS POR EL MONTE.....	7
2.4.1. <u>Radiación solar</u>	7
2.4.2. <u>Temperatura del aire</u>	8
2.4.3. <u>Humedad del aire</u>	11
2.4.4. <u>Velocidad del viento</u>	11
2.5. EL ANIMAL Y SU AMBIENTE.....	13
2.5.1. <u>Homeostasis y homotermia</u>	13
2.5.2. <u>Comportamiento animal</u>	15
2.5.3. <u>Producción de leche</u>	17
2.5.4. <u>Medidas de mitigación</u>	18
2.5.4.1. <u>Modificaciones del ambiente físico</u>	18
2.6. ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS.....	19
2.6.1. <u>Índices de temperatura y humedad (ITH)</u>	19
2.6.2. <u>Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI)</u>	21
2.7. HIPÓTESIS.....	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23

3.1. LOCALIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL EXPERIMENTO.....	23
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PREDIOS	24
3.3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	26
3.3.1. <u>Descripción de las cortinas para cada caso</u>	27
3.3.1.1. Cortina caso No.1	27
3.3.1.2. Cortina caso No.2	28
3.3.1.3. Cortina caso No.3	28
3.3.2. <u>Mediciones productivas en los árboles</u>	29
3.3.2.1. Área basal.....	29
3.3.2.2. Volumen de madera	30
3.3.2.3 Incremento medio anual (IMA).....	30
3.3.3. <u>Medición del PAR e Índice Área Foliar (IAF)</u>	30
3.3.4. <u>Temperatura en abrigo meteorológico</u>	30
3.3.5. <u>Índices biometeorológicos</u>	31
3.3.5.1. Temperatura en esfera de Vernon.....	31
3.3.5.2. ITH.....	31
3.3.5.3. BGHI.....	31
4. <u>RESULTADOS</u>	32
4.1. RESULTADOS DASOMÉTRICOS.....	32
4.1.1. <u>Caso No.1</u>	32
4.1.2. <u>Caso No.2</u>	32
4.1.3. <u>Caso No.3</u>	32
4.2. RADIACIÓN SOLAR Y IAF.....	33
4.3. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA.....	33
4.3.1. <u>Caso No.1</u>	33
4.3.2. <u>Caso No.2</u>	37
4.3.3. <u>Caso No.3</u>	40
4.4. CARACTERIZACIÓN CON ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS	44
4.4.1. <u>Esferas de Vernon</u>	44
4.4.1.1. Caso No.1	44
4.4.1.2. Caso No.2.....	47
4.4.1.3. Caso No.3.....	49
4.4.1.4. Comparativa de la frecuencia entre los 3 casos.....	51
4.4.2. <u>Índice de temperatura y humedad (ITH)</u>	51
4.4.3. <u>Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI)</u>	54

5. <u>DISCUSIÓN</u>	58
6. <u>CONCLUSIONES</u>	61
7. <u>RESUMEN</u>	62
8. <u>SUMMARY</u>	64
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	66

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resultado del inventario caso No.1.....	32
2. Resultado del inventario caso No.2.....	32
3. Resultado del inventario caso No.3.....	33
4. Resultados de IAF y PAR a partir de los datos relevados con ceptómetro para los tres casos de estudio.	34
5. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura máxima (°C) para los tres tratamientos del caso No.1.....	34
6. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura mínima (°C) para los tres tratamientos del caso No.1.....	34
7. Caracterización promedio mensual de la variable amplitud térmica (°C) para los tres tratamientos del caso No.1.....	35
8. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura máxima (°C) para los dos tratamientos del caso No.2.....	37
9. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura mínima (°C) para los dos tratamientos del caso No.2.....	38
10. Caracterización promedio mensual para la variable amplitud térmica (°C) para los dos tratamientos del caso No.2.....	38
11. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura máxima (°C) para los dos tratamientos del caso No.3.....	40
12. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura mínima (°C) para los dos tratamientos del caso No.3.....	41
13. Caracterización promedio mensual para la variable amplitud térmica (°C) para los dos tratamientos del caso No.3.....	42
14. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos DM y FM para el caso No.1.	45
15. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos DM y CC para el caso No.1.....	46
16. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos FM y CC para el caso No.1.....	46

17. Frecuencia de datos con diferencia significativa y porcentaje de cada franja horaria por mes para el caso No.2.....	48
18. Frecuencia y porcentaje de cada franja horaria por mes para el caso No 3.....	50
19 .Cantidad de horas acumuladas de ITH y tratamiento, para los datos con diferencias significativas.....	52
20. Porcentaje y diferencias de cada categoría por tratamiento (dentro y fuera del monte, DM y FM respectivamente) en el total de los registros.....	53
21. Cantidad de horas acumuladas en promedio, de todos los días donde se registraron ITH mayores o iguales a los umbrales de 72, 74,78 y 82 en cada tratamiento (DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)	53
22. Cantidad de horas en que existen diferencias significativas entre tratamientos en el Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI) estimados para los diferentes tratamientos (FM y DM, fuera y dentro de monte respectivamente)	56

Figura No.

1. Esquema del marco de plantación de cortinas forestales en el área experimental con los puntos de registro de información meteorológica	9
2. Representación esquemática de la dinámica de la velocidad viento antes y después de colisionar con una cortina de árboles.....	12
3. Representación esquemática de las zonas térmicas, temperatura corporal, producción de calor, perdidas de calor sensible y pérdidas evaporativas en función de la temperatura ambiente	14
4. Variación espacial para el Uruguay del ITH medio del mes de enero (promedio 1961-1990).....	20
5. Ubicación del caso No.1 y No.2 en la Colonia Tiburcio Cachón, departamento de Flores.....	23
6. Ubicación del caso No.3 en el departamento de Flores.....	24
7. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.1.....	24
8. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.2	25
9. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.3	26

10. Croquis cortina caso No.1	27
11. Croquis cortina caso No.2.....	28
12. Croquis cortina caso No.3.....	29
13. Distribución de las temperaturas máximas promedio de cada tratamiento para el caso No.1.....	36
14. Distribución de las temperaturas mínimas promedio de cada tratamiento para el caso No.1.....	36
15. Distribución de las temperaturas máximas promedio de cada tratamiento para el caso No.2.....	39
16. Distribución de las temperaturas mínimas promedio de cada tratamiento para el caso No.2.....	40
17. Distribución de las temperaturas máximas promedio de cada tratamiento para el caso No.3.....	43
18. Distribución de las temperaturas mínimas promedio de cada tratamiento para el caso No.3.....	43
19. Temperatura máxima promedio en esfera de Vernon por tratamiento para caso No.1.....	45
20. Frecuencia que representa cada horario en el rango de 07:00 a 20:00 hs. para los tres tratamientos dentro del caso No.1.....	47
21. Temperatura máxima promedio en esfera de Vernon por tratamiento para el caso No.2.....	48
22. Temperatura máxima promedio en esfera de Vernon por tratamiento para caso No.3.....	50
23. Frecuencia que representa cada hora dentro del rango de 07:00 a 20:00 hs. Para los 3 casos en estudio.....	51
24. Registro de los valores de ITH significativos por día y tratamiento.....	52
25. Cantidad de horas acumuladas en promedio, de todos los días donde se registraron ITH mayores o iguales a los umbrales de 72, 74,78 y 82.....	54
26. Suma de horas acumuladas por mes y categoría de ITH.....	54
27. Registro de los valores de BGHI para aquellos días con diferencias significativas por tratamiento	55

28. Cantidad promedio de horas acumuladas por mes y por categoría de BGHI.....57

29. Suma de horas acumuladas por mes y categoría de BGHI.....57

1. INTRODUCCIÓN

Una práctica ampliamente utilizada en Uruguay en predios de características familiares es la implantación de montes de abrigo y sombra. La evaluación de los servicios brindados por estos sistemas está largamente estudiada en regiones tropicales y subtropicales de Latinoamérica, habiéndose determinado las ventajas del manejo integrado de animales y árboles, en condiciones productivas y sociales muy diversas. Para las condiciones de clima templado, como el de Uruguay es menor la información disponible (Bussoni, 2015).

Esta práctica es señalada como una medida con efecto positivo para la adaptación y mitigación a la variabilidad y eventos climáticos extremos (MGAP, 2012). Por lo tanto, el estudio del microclima bajo montes de abrigo y sombra y como afectan el entorno inmediatamente cercano al monte, donde los animales habitan, es de sumo interés para buscar una alternativa para aportar al bienestar animal, ya que el ambiente térmico es uno de los principales elementos que puede afectar negativamente la producción.

Un claro ejemplo de lo anterior es la producción lechera, la cual necesita ser cada vez más flexible y resiliente a la variabilidad climática, para mantener una producción sostenible y hacer frente a la competitividad con otros rubros.

En Uruguay en los últimos 10 años en verano se envió a planta el 23,1% del total de la leche remitida (en base a datos promedios 2012-2015 de MGAP. DIEA), tomando como verano los meses de diciembre-enero-febrero (INIA, 2014). Esto representaría alrededor de la cuarta parte de la producción anual y por eso es importante estudiar las condiciones de producción que se dan en esta época del año a través de una descripción del ambiente meteorológico y como afecta esto sobre los aspectos productivos, reproductivos y de bienestar de los animales que componen el rodeo lechero.

El presente trabajo de tesis se enmarca dentro del proyecto “Evaluación de la incorporación de la forestación en productores ganaderos y lecheros familiares: estudio de caso múltiple” llevada a cabo por la Comisión Nacional de Fomento Rural y Facultad de Agronomía desde el año 2014 en adelante. En el país es escasa la información con respecto a los resultados de la incorporación de montes a los predios familiares por lo cual este proyecto busca llegar en conjunto con el productor a cuantificar los cambios ambientales, productivos, económicos y sociales determinados por la instalación de montes de abrigo y sombra.

La investigación se centra en tres predios familiares en el departamento de Flores dos de los cuales son lecheros, enfocándose en las modificaciones del microclima bajo las cortinas de abrigo y sombra incorporadas por estos.

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Cuantificar y caracterizar las modificaciones que se dan en el ambiente bajo cortinas de abrigo y sombra desde el punto de vista microclimático y compararlo respecto al cielo abierto, y de esta forma estimar las condiciones que podrían afectar la productividad animal.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar parámetros productivos en los montes de abrigo y sombra.
- Evaluar el microclima generado bajo el monte a través de la temperatura máxima, mínima, promedio, amplitud e intercepción de radiación versus cielo abierto para poder determinar las diferencias existentes.
- Caracterizar que condiciones de confort ofrece el efecto sombra de los montes de abrigo sobre los animales de producción versus cielo abierto mediante índices biometeorológicos (índices de temperatura y humedad e índice de temperatura y humedad en globo negro).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGRO FORESTACIÓN

2.1.1 Definiciones

La agroforestación es un conjunto de prácticas de manejo de uso de la tierra en la cual se combinan el rubro forestal con agricultura y/o ganadería presentando una serie de características que lo diferencia de la producción forestal tradicional (Torres et al., 1995).

Se describe también como el uso de la tierra y tecnologías en que leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas y otros) son combinados en la misma unidad de manejo con plantas herbáceas (cultivos, pasturas) y/o animales, con un arreglo espacial o secuencia temporal, existiendo interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes (Young, citado por Mora, s.f.).

Combe y Budowski (1979) lo definen como un conjunto de técnicas de manejo que implica la combinación de los árboles forestales con la ganadería o con los cultivos. Esta combinación puede ser simultánea o escalonada en el tiempo o espacio. Su objetivo es optimizar la producción por unidad de superficie respetando el principio del rendimiento sostenido.

2.1.2 Objetivos de los sistemas agro-forestales

Los sistemas agroforestales (SAF) tienen múltiples objetivos como por ejemplo el incremento de la productividad del recurso suelo dando beneficio neto del sistema a largo plazo, reducir el riesgo a través de la diversificación de salidas del sistema y atenuar los efectos del estrés climático sobre las plantas y los animales (Russo y Reynolds, citados por Pezo y Ibrahim, 1998).

Por otro lado, Polla (1998) también destaca los siguientes objetivos:

- Realizar un aprovechamiento mayor e integral del recurso suelo.
- Obtener mayor productividad por hectárea.
- Diversificar la producción sin abandonar la ganadería, introduciendo el recurso forestal, cultivos forrajeros y cerealeros.
- Obtener ingresos anticipados a la cosecha de madera para pulpa y madera de alta calidad para debobinado y aserrado.
- Acceder a los beneficios tributarios y al reintegro parcial del costo de plantación.

2.1.3 Clasificación de los SAF

A continuación, se presenta una clasificación propuesta por Combe y Budowski (1979) de SAF fundada en:

- La función principal del componente arbóreo.
- Los tipos de componentes asociados.
- La distribución en el tiempo.
- La repartición en el espacio.

Según la función principal del componente arbóreo pueden ser:

- Producción.
- Protección.
- Servicio.

Según los tipos de componentes asociados se clasifica a los SAF en:

- Sistemas silvoagrícolas: árboles asociados a los cultivos agrícolas.
- Sistemas agrosilvopastoriles: árboles asociados a los cultivos agrícolas y a la ganadería.
- Sistemas silvopastoriles: árboles asociados a la ganadería.

Según la distribución en el tiempo se clasifica a los SAF en:

- Permanente: si es mantenida durante una o más rotaciones de la componente forestal.
- Temporal: si dura menos de una rotación de la componente forestal.

Según la distribución en el espacio: la repartición en el espacio de la componente forestal combinada con el cultivo puede ser regular (homogénea) o irregular (heterogénea).

- Regulares: cuando el componente forestal se encuentra mezclada entre el cultivo agrícola.
- Irregulares: cuando el componente forestal se sitúa al costado o alrededor de los cultivos agrícolas.

2.2 INTERACCIÓN ÁRBOL-ANIMAL

La interacción que existe entre estos dos componentes puede ser directa o mediada a través del suelo o la pastura. Entre las directas se puede mencionar cambios

microclimáticos (Gallo, 2006). Estos están dados por una menor oscilación térmica, por efecto de la sombra en verano y por la reducción del viento en invierno, determinando un menor gasto metabólico para el animal (Reid y Wilson, citados por Gómez y Guerrini, 2011). Por su parte los bovinos pueden ejercer efectos negativos sobre los árboles sobre todos en sus estados juveniles provocando daños físicos al rascarse en los tallos, raspar la corteza o incluso al cosechar los brotes nuevos resultando en la pérdida de plantas (Pezo y Ibrahim, 1998).

Entre las interacciones mediadas por el suelo se observa incorporación de nutrientes por el excremento animal (Pezo y Ibrahim, 1998) efectos sobre la capacidad de regeneración y compactación del suelo sobre todo en los más arcillosos causando degradación de la pastura limitando así también el crecimiento de los árboles asociados. Por otro lado, el pastoreo en plantación contribuye a reducir la biomasa combustible y disminuir la probabilidad de incendios forestales (Gallo, 2006).

Pezo y Ibrahim (1998) enumeran algunos beneficios atribuidos a la sombra como regulador del estrés calórico sobre el comportamiento y productividad animal siendo estos:

- Mayor tiempo dedicado a pastoreo y rumia.
- Mayor consumo de alimento.
- Menores requerimientos de agua.
- Incremento en la eficiencia de conversión alimenticia.
- Mejora en los indicadores productivos como ganancia de peso, producción de leche y rendimiento de lana.
- Mejora en el comportamiento reproductivo.
- Reducción en la tasa de mortalidad.

El efecto de los árboles como protectores del animal frente al viento es más importante en áreas frías donde la temperatura ambiental se encuentra por debajo del límite inferior de termo neutralidad teniendo que reasignar el animal parte de la energía que utilizará para propósitos productivos en contrarrestar el frío y mantener su temperatura corporal (Cañas y Aguileras, citados por Pezo y Ibrahim, 1998). El efecto protector de las cortinas se manifiesta en mejoras de la productividad y en la sobrevivencia de los animales (Pezo y Ibrahim, 1998).

2.3 INTERACCIÓN ÁRBOL- PASTURA

Las leñosas por lo general tienen su copa por encima de las especies forrajeras, de manera que cuando crecen en el mismo terreno, las primeras interfieren en el paso de la radiación solar al estrato herbáceo (Zelada, citado por Mora, s.f.).

De acuerdo con Shelton et al. (1987), el sombreado de los árboles sobre las pasturas es uno de los factores de mayor importancia en la producción de las mismas. Sin embargo, algunas especies pueden adaptarse al sombreado con mayor eficacia que otras. En términos generales, el sombreado tiene un efecto más marcado sobre la tasa de crecimiento de las plantas forrajeras del tipo C4 (gramíneas tropicales) que el tipo C3 (gramíneas clima templado y leguminosas, Mora, s.f.).

El efecto de los árboles sobre la pastura está dado por cambio en el microclima generado, en el reciclaje de nutrientes, competencia por agua y cambio en la estructura y erodabilidad del suelo. Las plantas que se desarrollan bajo los árboles disponen de menor cantidad de luz y no alcanzan sus necesidades mínimas para una óptima producción (Gallo, 2006). Shelton et al., citados por Pezo y Ibrahim (1998) sostienen que el principal factor limitante para el desarrollo de las pasturas en los sistemas silvopastoriles es el nivel de sombra producido por los árboles. Generalmente se reporta una disminución de la producción de las pasturas al aumentar la densidad de árboles a partir de los 4 años de instalado el monte, lo que genera en la mayoría de las situaciones una menor tasa de crecimiento de las pasturas comparado con las que crecen a pleno sol (Horne y Blair, citados por Pezo y Ibrahim, 1998).

Por otro lado, un balance general muestra que los árboles aportan elementos que han rescatado de horizontes más profundos y lo han depositado en la superficie haciéndolo disponible para las pasturas, aunque hay elementos que son almacenados en la madera teniéndolos por un período relativamente largo creando deficiencias para las otras especies (Gallo, 2006).

Los árboles a su vez permiten una mayor infiltración y retención de agua al mejorar algunas propiedades físicas del suelo además de reducir la evapotranspiración de las plantas del estrato bajo. Los mismos consumen agua en grandes cantidades por lo que no está del todo claro el cómo afecta el estrato arbóreo a las pasturas estrictamente en relación al contenido de agua disponible (Gallo, 2006).

Los cambios morfológicos y fenológicos que se dan en las forrajeras que crecen bajo la sombra tienden a comprometer su potencial de persistencia por lo tanto el pastoreo en estos sistemas debe ser muy cuidadoso (Pezo y Ibrahim, 1998).

Según Reynolds (1995) la disminución de la digestibilidad y el consumo probablemente solo ocurre en las plantas que no toleran la sombra provocando una disminución marcada en el contenido de carbohidratos solubles y un incremento en la elongación de los tallos. Por otro lado, según Polla (1998) el microclima generado por

los árboles atenúa las condiciones extremas tanto en verano como en invierno logrando una mayor permanencia del tapiz vegetal disponible para el ganado.

En varios ensayos de gramíneas se han detectado incrementos en el contenido de proteína cruda y disminución de carbohidratos a medida que aumenta la interferencia del paso de la luz (Wilson, Pezo, Zeldá, citados por Pezo y Ibrahim, 1998).

La densidad de plantación es otro factor que afecta el crecimiento de la pastura. A medida que aumenta la densidad de los árboles el estrato herbáceo disminuye (Whiterman, citado por Pezo y Ibrahim, 1998). Este efecto se puede dar por el sombreado y por la competencia por espacio entre estas dos (Reynolds, 1995). Con las densidades de plantación normalmente utilizadas al cabo de 5 a 8 años la transmisión de luz puede caer hasta por debajo del 30%, generando una disminución importante en la proporción de luz fotosintéticamente activa (PAR) con relación a la infrarroja (Stur y Shelton, citados por Reynolds, 1995). Una densidad de árboles que permita alcanzar suficiente luminosidad y energía hacia los estratos bajos, condescendiendo así la producción de forraje para el ganado (Polla, 1998).

2.4 EFECTOS MICROCLIMÁTICOS GENERADOS POR EL MONTE

La presencia de los árboles forma un microclima que lo diferencia de otro en cuanto a la temperatura, humedad, radiación, y velocidad del viento. Esto trae aparejado modificaciones en el sistema productivo, por lo cual es fundamental su estudio y caracterización.

2.4.1 Radiación solar

La radiación solar se ve afectada por la presencia de la cubierta forestal, circunstancia fácilmente apreciable por los cambios en cantidad y calidad de la luz que llega al suelo bajo la misma. La luz de sombra se caracteriza por ser más reducida en PAR. Así la composición espectral resulta ser muy baja en la banda del espectro responsable de la fotosíntesis siendo algo más alta en verde y más elevada en rojo lejano lo que se traduce en una baja relación rojo-rojo lejano (Gómez, 2004).

Los cambios espectrales percibidos pueden inducir en marcados cambios morfogénicos sobre las plantas (Smith, citado por Peri, 1999). La elongación de tallos puede ser promovida (Child et al., citados por Peri, 1999) y el número de tallos en gramíneas inhibidos (Casal, Thompson, Harper, citados por Peri, 1999).

Según Pezzopane et al. (2014) los árboles atenúan la incidencia PAR promedio y los valores diarios durante los periodos de medición disminuyendo un 40% comparado con la medición realizada a cielo abierto en el punto más cercano a los árboles. Estos mismos autores sugieren que la combinación de cambios del PAR y velocidad del viento provocado por los árboles inducen cambios en la temperatura del aire y la humedad relativa.

2.4.2 Temperatura del aire

Se puede registrar temperatura del aire en condiciones estandarizadas como al abrigo meteorológico o la temperatura del globo negro (esfera de Vernon). Los globos negros o esferas de Vernon ubicadas cerca del lugar que ocupan los animales y en los que se registra la temperatura luego de establecerse el equilibrio térmico, permite integrar en un registro de temperatura los aportes de calor por convección y radiación. La temperatura registrada dentro del espacio cerrado “negro” expresa las ganancias o pérdidas de calor del ambiente medido (Hertig, citado por Berbigier, 1988).

La temperatura de globo negro es uno de los mejores indicadores disponibles para estimar la carga calórica del animal debido a que representa la interacción de temperatura del aire, radiación solar y velocidad del viento (Berman y Wolfenson, citados por Invernizzi y Marziotte, 1998).

Según Gómez (2004) es posible afirmar que las cubiertas forestales amortiguan las diferencias de temperaturas diarias y estacionales del aire comparado con cielo abierto. Dentro de la cubierta forestal los máximos diarios y anuales de la temperatura del aire son más bajos que las áreas exteriores próximas y las mínimas correspondientes más altas, reduciéndose el riesgo de heladas.

Durante el verano Rovira y Velazco (2008) cuantificaron en el campo experimental Palo a Pique del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Treinta y Tres, la temperatura del aire y humedad relativa en dos sistemas: con sombra y a cielo abierto. Los resultados indican que no existieron diferencias entre ambos, porque, aunque el suministro de sombra podría reducir el estrés calórico que experimentan los animales fundamentalmente a través de una mejora en el balance de radiación, no afectó significativamente la temperatura del aire y humedad relativa en ambos ambientes. Las mayores diferencias se registraron cuando se observó la temperatura de globo negro, el cual detecta diferencias en temperatura asociadas a la radiación. Los valores se obtuvieron al promediar 12 días entre las 10:00 hs. y 18:00 hs. El promedio de temperatura de globo negro a la sombra fue de 28,0°C siendo esta menor que el registrado al sol (35,3°C). Se concluye por medio del cálculo de ITH que el suministro de sombra efectivamente mejoraría el balance calórico de novillos en pastoreo durante el verano a través de la reducción de la radiación (Rovira y Velazco, 2008).

Resultados similares fueron encontrados por Buffington et al. (1981), en un estudio realizado durante los veranos de 1975 a 1978 en Florida, Estados Unidos con 60 vacas Holstein. De estas, 30 tuvieron libre acceso a sombra artificial y se comparó con otras 30 vacas localizadas en una pastura adyacente, pero sin sombra. Para todos los veranos se midieron distintos parámetros meteorológicos en los dos ambientes (con sombra artificial y sin sombra), entre las 9:00 hs. y las 18:00 hs. La temperatura ambiente para el verano del 1975 fue de 27,5°C en el tratamiento con sombra y de 27,8°C sin sombra, no encontrándose diferencias significativas ($p > 0,05$). Mientras que,

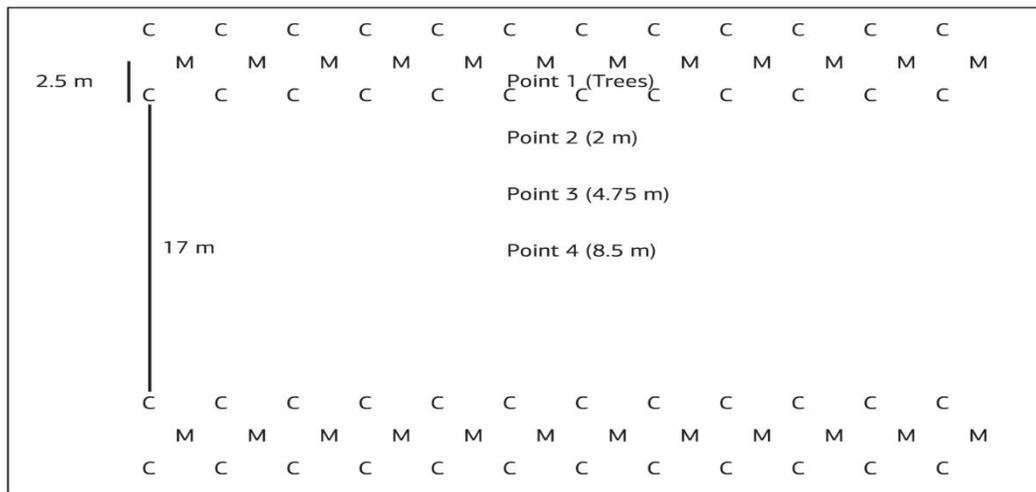
la temperatura en esfera de Vernon (28,4°C contra 36,7°C) registró diferencias significativas ($p < 0,05$), observando estos resultados también para los dos sucesivos veranos.

Un estudio realizado por Baliscei et al. (2013) en Paranaíba (PR), Brasil, se compararon las diferencias microclimáticas sobre un sistema silvopastoril contra uno a cielo abierto. El género plantado fue *Eucalyptus spp* y al momento de realizar las mediciones tenía una edad de 2 años. La densidad utilizada fue 290 árboles por hectárea con una distancia de 2,5m entre árboles y 25m entre filas.

Los datos fueron colectados entre diciembre 2009 y marzo 2010 para los datos de verano y de junio a setiembre 2010 para los datos de invierno y primavera. No se encontraron diferencias significativas para la variable temperatura ambiente entre los dos sistemas, según Barbosa et al., citados por Baliscei et al. (2013) el uso de las cortinas cambia el balance de radiación recibido por el animal, pero no tiene efecto en la temperatura del aire y la humedad del ambiente por lo cual se asume que el principal propósito de la cortina es proteger al animal contra la radiación solar directa.

Por otro lado, si se encontraron diferencias ($p < 0,05$) de temperatura en globo negro entre los dos sistemas, bajo monte el valor promedio fue de 24,7°C y a cielo abierto fue de 26,4°C.

Un estudio similar, pero con otro marco de plantación fue realizado en São Carlos (SP), Brasil por Pezzopane et al. (2014) entre setiembre 2010 y setiembre 2012, las cortinas de 4 años de edad tienen el arreglo mostrado en la figura No.1.



(C= plantas de los márgenes M= plantas centrales).

Figura No.1. Esquema del marco de plantación de cortinas forestales en el área experimental con los puntos de registro de información meteorológica

Fuente: Pezzopane et al. (2014).

Hay una distancia entre árboles de 2,5m y entre filas 2,5m, con un espaciado de 17m entre las cortinas resultando en 545 árboles/ha. Las especies plantadas en la línea media y que están representadas en la imagen como M fueron *Anadenanthera colubrine*, *Peltophorum dubium*, *Zeyheria tuberculosa* mientras que las que se encuentran representadas como C son las especies *Guazuma ulmifolia* y *Croton floribundus*. Se tomaron cuatro puntos distintos para realizar las mediciones:

- Punto 1 localizado entre las filas de los árboles.
- Punto 2 a dos metros de la cortina.
- Punto 3 a 4,75 m de la cortina.
- Punto 4 a 8,5 m quedando en medio entre las dos cortinas.

Para poder comparar se realizó también otro punto de medición sobre una pastura a cielo abierto en un área adyacente a la cortina.

Se pudo concluir que la diferencia tanto en la radiación como en la velocidad del viento provocó diferencias en la temperatura del aire y la humedad del aire. La diferencia más significativa fue sobre la temperatura máxima. Los mayores valores fueron obtenidos en el punto 4 (a la mitad de ambas cortinas) con 29,5°C, seguido de la pastura a cielo abierto que registró un máximo de 28,3°C y el punto más cercano a la cortina fue donde se obtuvo la temperatura más baja con 27,5°C.

Resultados similares fueron obtenidos por Munka et al. (2017), donde se evaluó temperatura del aire en abrigo meteorológico desde noviembre 2015 a octubre 2016 y en esferas de Vernon durante enero a marzo 2016 para tres predios en los departamentos de Flores, Lavalleja y Rocha en montes con distintas densidades, *Eucalyptus dunnii*, de 6 años y 1189 árb/ha, de *Eucalyptus globulus ssp. maidenii*, de 6 años y 979 árb/ha y de *Eucalyptus grandis* de 5 años con 626 árb/ha respectivamente.

En todo el período evaluado, la temperatura máxima promedio del aire en abrigo meteorológico fue de 3,5°C superior fuera de monte, este valor se obtuvo en el monte de mayor densidad (1189 árb/ha en Flores) y de 1,7°C, en el monte de menor densidad. Por otro lado, en todo el período de estudio, la mayor diferencia en temperatura máxima del aire en abrigo meteorológico fue en promedio 6°C superior fuera de monte. Mayores diferencias de temperatura se registraron en las esferas de Vernon siendo las expuestas al sol en promedio superior (°C ± desvío estándar) en 6,2°C ± 2,6, 8,4°C ± 2,6 y 9 ± 2,8°C, correspondientes a los montes de menor a mayor densidad respectivamente. Por otro lado, se constató que a ninguna hora de la fase nocturna se presentó diferencias significativas en la temperatura del aire en abrigo meteorológico y en esfera de Vernon entre tratamientos.

A su vez en las horas de fase diurna (5:00 hs. a 21:00 hs.) en todo el período evaluado se determinaron diferencias entre tratamientos para la temperatura promedio en

esfera de Vernon en un porcentaje de horas del 50,4%, 14,8% y 2,9% para el monte de mayor a menor densidad respectivamente.

2.4.3 Humedad del aire

El aire retenido en y bajo una cubierta vegetal es relativamente menos seco (mayor humedad relativa) independiente de las estaciones del año. Por lo tanto, el microclima del bosque es más húmedo que un sitio sin cobertura (Gómez, 2004). Este incremento puede deberse a la estanqueidad y en consecuencia menor transporte de vapor de agua (Elías y Castellví, 2001), por otro lado, la vegetación supone una fuente directa de vapor de agua a la atmósfera, por el proceso de transpiración (Gómez, 2004). Este incremento de la humedad puede generar una mayor incidencia de ataque de hongos para la vegetación herbácea que crece bajo el dosel, así como también condiciones favorables para el desarrollo de parásitos para el animal (Pezo y Ibrahim, 1998).

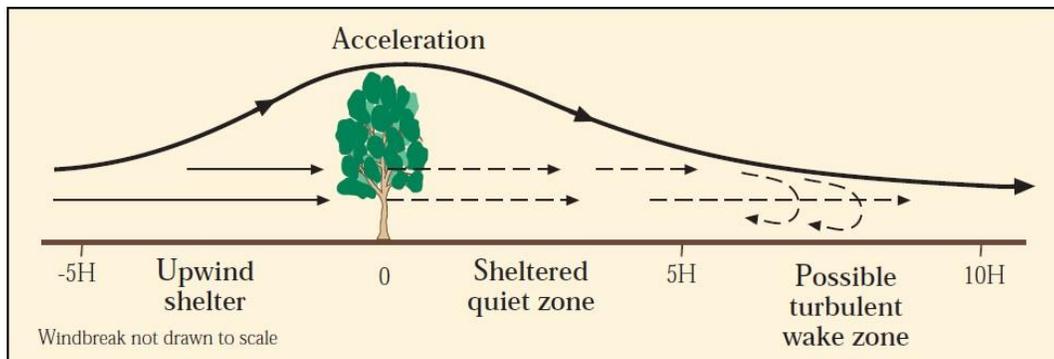
En el estudio ya citado por Baliscai et al. (2013), no encontraron diferencias entre la humedad relativa dentro del monte respecto a cielo abierto siendo la misma $66\% \pm 1,6$ y $66\% \pm 1,6$ respectivamente. De todas formas, observaron diferencias con respecto a la estación del año y las horas del día obteniendo un valor mínimo de 63% a las 15:00 hs. en verano, y 52% a las 18:00 hs. en invierno.

Por otro lado, en el estudio realizado por Pezzopane et al. (2014) donde hay una distancia entre árboles de $2,5\text{m} \times 2,5\text{ m}$, con un espaciamiento de 17m entre filas, se cuantificó cambios significativos ($p < 0,05$) en la humedad ambiente para las cuatro estaciones siendo mayor en todos los casos en el medio de la entrefila. Los autores explican esto por el efecto conjunto de la radiación solar fotosintéticamente activa (PAR) y velocidad del viento habiendo menor remoción de aire en el punto medio del callejón promoviendo así un aumento de la humedad ambiente.

2.4.4 Velocidad del viento

El viento que llega a una cortina de árboles es desviado en tres direcciones, una gran parte va hacia arriba otra se desplaza entre las hojas de los árboles y finalmente una tercera pasa directamente entre la parte inferior de los mismos. La disminución de la velocidad del viento en el área protegida se consigue a expensas de la generación de turbulencias. Esta energía turbulenta se difunde verticalmente en el área resguardada encontrándose la zona de máxima turbulencia cerca de la parte superior de los cortavientos. Cuando la corriente de aire ascendente sobrepasa el corta vientos se originan una corriente descendente formándose una zona de flujo circular con una baja velocidad del viento, pero una alta turbulencia. La dimensión de esta zona dependerá de las características de la cortina como por ejemplo la porosidad, relación ancho/alto y longitud/altura (Elías y Castellví, 2001).

En la figura No.2 se puede observar la dinámica del viento cuando se utiliza una cortina rompe viento tal lo presentado por IFAS (s.f.).



H representa la altura de los árboles que componen la cortina.

Figura No.2. Representación esquemática de la dinámica de la velocidad viento antes y después de colisionar con una cortina de árboles

Fuente: Institute of Food and Agricultural Sciences (s.f.).

En el artículo se menciona que hay diferentes zonas con distinto comportamiento. Por un lado, se encuentra el upwindshelter donde parte del viento se eleva por encima de la cortina generando una menor velocidad del viento, luego la quiet zone (zona tranquila) que se encuentra inmediatamente detrás de la cortina. Más allá de la zona tranquila se encuentra una zona protegida donde la velocidad del viento es algo reducida, pero puede haber algún tipo de turbulencias.

Al igual que para la temperatura ambiente Baliscei et al. (2013) evaluaron velocidad del viento al promediar los valores máximo y mínimo en diez segundos de lectura, tomando estas medias al observarse una variación alta de este parámetro. Se pudo determinar que en el sistema de silvopastoreo la velocidad de viento promedio llegó a 3,16 m/s mientras que el sistema de cielo abierto 4,57 m/s siendo esta diferencia significativa, concluyendo de este modo que la presencia de los árboles genera un microclima con menor velocidad del viento.

El viento fue medido también en el trabajo realizado por Pezzopane et al. (2014), la incidencia de la velocidad del viento fue 47% menor en el sistema silvopastoril comparado con las mediciones realizadas a cielo abierto.

Las efectividades de la cortina además de depender de las características antes mencionadas dependen de la dirección del viento. Según Tamang et al. (2009) cuando la velocidad del viento en un espacio abierto es de 8,1 m/s esta puede verse reducida a 6,3 m/s hasta 2,2 m/s (correspondiendo este último valor a una medición realizada más cercana a la cortina) cuando la dirección del viento es de 25° respecto a la cortina. Si la dirección del viento es perpendicular a la misma la velocidad puede verse reducida aún más.

2.5 EL ANIMAL Y SU AMBIENTE

2.5.1 Homeostasis y homeotermia

“Los animales homeotermos son los que tienen la capacidad de controlar dentro de un estrecho margen la temperatura del cuerpo en un medio donde la temperatura puede variar ampliamente. Toleran pérdidas o ganancias de calor del medio que los rodea para mantener condiciones constantes de todo el cuerpo, denominada homeotermia. La homeotermia forma parte de la homeostasis del animal. Cannon (1932) la definió como la capacidad del cuerpo para mantener condiciones constantes o status de todo el cuerpo (peso corporal, presión sanguínea, temperatura interna) que se opone a las influencias externas que alteran constantemente el ambiente” (Saravia, 2009).

El efecto ambiental sobre la salud y el bienestar de los animales homeotermos conlleva complejas interacciones entre factores ambientales y del animal. Estos factores incluyen el efecto directo de la temperatura del aire, el contenido de humedad, la velocidad del viento y la radiación solar (Cruz, 2009).

El rango de temperatura ambiente en que la temperatura del cuerpo se mantiene constante con un esfuerzo mínimo de los mecanismos termorreguladores se denomina zona de confort térmico (figura No.3), dentro de esta zona el uso de energía para mantenimiento y producción es eficiente. La velocidad del viento, la radiación y el contenido de humedad del aire pueden alterar sus umbrales (Johnson, citado por Abraham y Collazo, 2015).

A la temperatura ambiente que supera la zona termoneutral se le denomina temperatura crítica máxima. Esta puede ser definida como la temperatura a la cual a) la tasa metabólica se incrementa b) se incrementan las pérdidas evaporativas y c) el aislamiento térmico de los tejidos es mínimo (Silanikove, 2000).

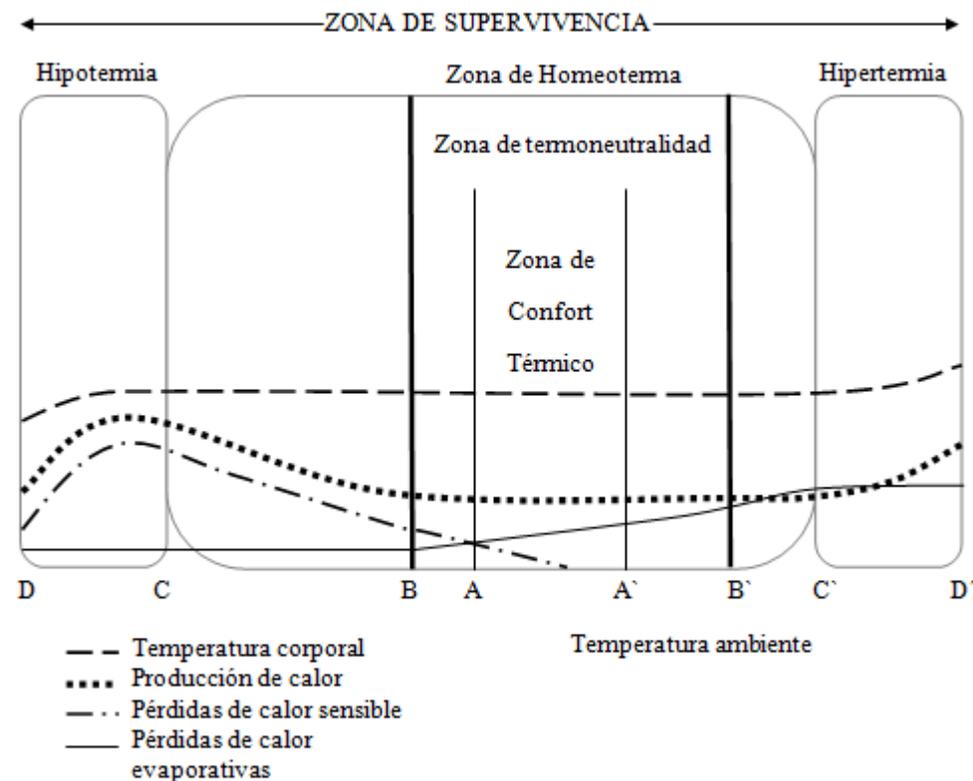


Figura No.3. Representación esquemática de las zonas térmicas, temperatura corporal, producción de calor, pérdida de calor sensible y pérdidas evaporativas en función de la temperatura ambiente

Fuente: adaptado de Bianca por Román (2014).

La zona termoneutral para vacas lecheras Holando se encuentra entre temperaturas del aire de 5 a 25°C (Johnson et al., citados por Saravia, 2009). Cuando la temperatura ambiente comienza a tomar valores fuera del rango definido como termoneutral, el animal activa sus mecanismos termorregulatorios para mantener la homeostasis y es aquí que la producción comienza a resentirse (Saravia, 2009).

La transferencia de calor entre el animal y el ambiente que lo rodea, se da por medio de cuatro procesos: radiación, conducción, convección y evaporación (Kadzere et al., 2002).

La radiación es el principal elemento en determinar los intercambios de calor con el ambiente de un animal expuesto a la intemperie (Gallardo y Valtorta, 2011). La cantidad de radiación absorbida por un cuerpo depende de la temperatura del mismo, del color y textura.

La conducción tiene lugar cuando dos cuerpos están en contacto, y depende del área, de la conductividad térmica del material y del gradiente térmico entre los objetos (Spiers, citado por Gallardo y Valtorta, 2011). Normalmente la superficie del animal se encuentra en contacto con el aire, el que tiene una baja conductividad térmica por lo que las ganancias o pérdidas de calor hacia el ambiente por este proceso son mínimas (Yousef, citado por Gallardo y Valtorta, 2011). A través de la conducción es posible el paso del calor desde el núcleo central del organismo hacia la superficie interna (tracto respiratorio, y digestivo) y externa del animal (piel) en donde el calor es perdido hacia el medio exterior (Gallardo y Valtorta, 2011).

La convección se produce por medio de un fluido que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. Depende de la superficie en contacto, del gradiente térmico entre los objetos y del coeficiente de convección del material. Puede ser forzada o pasiva, de acuerdo a la necesidad o no de energía externa para que ocurra el movimiento. La primera ocurre, por ejemplo, cuando una masa de aire fluye a través de la superficie del animal. La segunda se da por el movimiento de aire en el tracto respiratorio. La pérdida de calor por medio de estos tres mecanismos antes mencionados, se la denomina pérdida de calor sensible o no evaporativa (Román, 2014).

La evaporación es uno de los más importantes medios de pérdida de calor del animal, que depende de la superficie de evaporación, sobre todo de la superficie húmeda y de la velocidad del viento. A diferencia de los otros procesos no depende del gradiente de temperatura, sino de la capacidad del aire de aceptar vapor de agua (Spiers, citado por Román, 2014). Las pérdidas evaporativas se producen principalmente por sudoración y ventilación (jadeo, Kadzere et al., 2002). Sin embargo, este mecanismo pierde eficiencia cuando altos valores de humedad relativa saturan el ambiente que rodea el animal de vapor de agua, además si la velocidad del viento disminuye la eficiencia disminuye aún más, debido a que no hay remoción de la capa de aire saturada sobre la superficie del animal (Román, 2014).

Alrededor del 15% del calor endógeno es perdido a través de las vías respiratorias (McDowell et al., citados por Kadzere et al., 2002) el resto, es conducido a la superficie del animal donde es disipado por radiación, conducción, convección y principalmente a través de procesos evaporativos (Kadzere et al., 2002).

A medida que se acerca a la temperatura crítica superior las pérdidas de calor sensible se tornan ineficientes, pues dependen de que exista un gradiente de temperatura entre el animal y el ambiente (Kadzere et al., 2002).

2.5.2 Comportamiento animal

En situaciones de estrés calórico los animales disminuyen el consumo voluntario diario de alimento (Lefcourt y Adams, Castro, García, citados por Saravia, 2009) y aumentan los requerimientos de mantenimiento, que se ha sugerido es de 15% (NRC, citado por Roman, 2014) como consecuencia del incremento en la producción de

calor producto del aumento en la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal (Tamminga y Schrama, citados por Román, 2014). La reducción del consumo de alimento, especialmente los de tipo fibroso, tiene como objetivo disminuir el calor de fermentación a nivel ruminal (Phillips, citado por Román, 2014). Los animales disminuyen el número de comidas (12-15 comidas/día a 3-5 comidas/día, aumentando el consumo en las horas de la noche (Breinholt et al., citados por Román, 2014).

Además, una respuesta fisiológica observada es la disminución de las contracciones ruminales como forma de evitar más producción de calor, lo cual conlleva a una menor tasa de pasaje y junto con el menor número de comidas y el aumento del jadeo disminuye el pH ruminal, siendo el animal más susceptible a la acidez sub clínica (Collier et al., citados por Román, 2014).

Adicionalmente, se reduce la eficiencia de utilización de la energía para la producción de leche (Wayman et al., citados por Román, 2014). Experimentos realizados en 2008 y 2009 revelaron que el efecto causado por la partición de nutrientes (directo) es mayor en la depresión de la productividad respecto al consumo (indirecto), se concluye que el efecto directo explica entre el 65% (Rhoads et al., 2009) y 50% (O'Brien et al., citados por Román, 2014) del efecto depresor del calor en la producción de leche. Se ha sugerido que la absorción de los nutrientes se puede ver retrasada, debido a que el incremento de flujo de sangre hacia la superficie en respuesta al estrés por calor, trae aparejado un menor flujo de sangre a órganos internos, en este caso, el tracto gastrointestinal (Beede y Collier, citados por Román, 2014).

El estrés por calor causa también una disminución en el flujo sanguíneo uterino, el que se asocia a disminuciones en concepción, tamaño del feto y alteraciones en las funciones de la placenta. El efecto del estrés por calor en la última etapa de la gestación trae consecuencias en el período post parto sobre la producción de leche y el comportamiento reproductivo (Collier et al., citados por Cruz, 2009).

Bajo situaciones de estrés calórico los animales buscan naturalmente la sombra, lo que permite reducir la carga calórica en 30% a 50% (Blackshaw y Blackshaw, Collier et al., citados por Saravia, 2009). Además, se observa menor tiempo dedicado a locomoción (Tapki y Sahin, citados por Saravia, 2009). Los animales buscan lugares con microclimas menos estresantes, y pasan mayor tiempo parados que echados (Frazzi et al., citados por Saravia, 2009). En animales con acceso a sombra, el tiempo de uso de la misma se incrementa, en cambio, cuando los animales no tienen acceso a la misma se observa un incremento del tiempo en los bebederos (Widowski, citado por Saravia 2009, Román 2014).

En los días cálidos los animales presentan un pastoreo extenso en la mañana temprano luego de retornar del ordeño, buscan la sombra a partir de las 9:00 hs. y tratan de evitar el pastoreo hasta las horas de la noche (Román, 2014).

En ese momento presentan un período de pastoreo extenso y posteriormente uno o dos períodos más cortos. Al mediodía los animales permanecen protegidos a la sombra, descansando, ociosos o rumiando (Albright, citado por Saravia, 2009). El ganado sin acceso a sombra y en condiciones de estrés calórico camina en exceso, se concentra en las esquinas de los potreros o en lugares donde es más factible las pérdidas por convección (viento), disminuye su actividad de pastoreo, según (Saravia, 2009) se encontró cambios en la distribución del tiempo de pastoreo, pero no en el tiempo total de pastoreo y acuden más frecuentemente al bebedero (Arnold y Dudzinski, citados por Saravia, 2009).

Bajo condiciones de estrés térmico el consumo de agua se incrementa (Collier et al., Muller y Botha, citados por Román, 2014) y se hace más frecuente, para una vaca de alta producción se estima que es de alrededor de 135 l/d (Kadzere et al., 2002). El proveer de agua fresca a los animales (a 10°C) promueve un mayor consumo de materia seca (Baker et al., Milam et al., citados por Román, 2014).

2.5.3 Producción de leche

Kadzere et al. (2002) suponen que el balance energético negativo característico de las primeras etapas de la lactancia, que se asocia a una gran movilización de reservas y aumentos en la producción de calor, haría a los animales en lactancia temprana más sensibles al estrés por calor. La producción de calor del animal está influenciada por el nivel de producción de leche, y se ha observado que la misma es 10% menor en animales de baja producción (18,5 kg/d) comparado con aquellos de alta producción de leche (31,6 kg/d) lo que provocaría la mayor sensibilidad de estos últimos al estrés por calor (Purwanto et al., citados por Román, 2014).

Típicamente el contenido de grasa en la leche se deprime los meses de verano en los tambos comerciales (Kadzere et al., 2002), sin embargo, se ha reportado en algunos trabajos aumentos (Regan y Richardson, citados por Rhoads et al., 2009) y en otros no se encontró efecto del estrés por calor en el porcentaje de grasa (Valtorta et al., citados por Román, 2014).

Rhoads et al. (2009) sugieren que el contenido de grasa de la leche dependería de otros factores además del efecto directo del calor. El contenido de proteína en la leche disminuye durante el estrés térmico (Kadzere et al. 2002, Saravia 2009) parece ser que la concentración de proteína en leche depende del estrés en sí mismo independientemente de los aminoácidos ingeridos (Rhoads et al., Shwartz et al., citados por Román, 2014).

West et al., citados por Roman (2014) encontraron que el recuento de células somáticas tendió a ser mayor durante el período cálido en comparación con el fresco, similares resultados fueron reportados por Bouraqui et al., citados por Roman (2014) al comparar los meses de primavera con los de verano. A nivel nacional, Saravia (2009) reportó disminuciones significativas ($p < 0,0001$) en la producción de leche (18,5%), contenido de grasa y proteína en animales durante ola de calor severa, con respecto a las

presentadas en ola de calor leve y no ola de calor. En otra investigación se observó además que el recuento de células somáticas tendió ($p < 0,1$) a ser diferente entre las diferentes condicionantes meteorológicas.

2.5.4 Medidas de mitigación

Entre las estrategias básicas sugeridas por Beede y Collier, citados por Roman (2014) la modificación física del ambiente y los esquemas apropiados del manejo nutricional serían las más sencillas y de respuesta rápida, especialmente en áreas donde los períodos de estrés por calor se alternan con condiciones favorables para la producción. La utilización de biotipos menos sensibles al calor, también es posible de implementar a nivel de los sistemas productivos, pero se debe tener cuidado en que ello no vaya en detrimento del potencial de producción del rodeo.

2.5.4.1 Modificaciones del ambiente físico

La sombra previene la incidencia de la radiación solar directa e indirecta sobre los animales y es uno de los primeros pasos a tomar para moderar el efecto estresante de las altas temperaturas requerido en cualquier sistema de producción.

Existen numerosos tipos de sombra, natural (árboles) y artificiales (metal, malla sombra, paja, West, citado por Román, 2014). La sombra natural es una de las más efectivas, ya que no solo disminuye la incidencia de la radiación, sino que también produce una disminución de la temperatura del aire por la evaporación desde las hojas (Saravia et al., citados por Román, 2014). Pero, se debe considerar que el desarrollo de los árboles es lento y costoso, además de verse adversamente afectados en situación de alta densidad de animales debido a la concentración de heces y orina, además estas áreas pueden ser una fuente de contaminación (West, citado por Román, 2014).

Los beneficios reportados por uso de sombras en condiciones de estrés térmico son: menor temperatura interna, menor frecuencia respiratoria, mayor producción de leche, mayor consumo de materia seca, mayores contracciones ruminales y menor contenido de células somáticas (Román, 2014).

Al cuantificar, a través de las esferas de Vernon, las condiciones térmicas que ocurren en situación de incidencia directa de sol, sombra natural y sombra artificial, durante los meses de verano para Salto, Saravia et al. (2003) encontraron que las temperaturas máximas se diferenciaron significativamente ($p < 0,0001$) entre sí y se ordenaron en forma decreciente de la siguiente manera: exposición directa al sol ($44,8^{\circ}\text{C}$), bajo sombra artificial ($36,0^{\circ}\text{C}$) y bajo sombra natural ($32,8^{\circ}\text{C}$). Los autores concluyeron que el uso de sombra (natural o artificial) resulta una técnica efectiva para disminuir el impacto de la radiación solar directa sobre los animales en los momentos del día en que ocurren condiciones para provocar estrés calórico (Saravia, 2009).

2.6 ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS

2.6.1 Índices de temperatura y humedad (ITH)

En apartados anteriores se describió que el microclima bajo monte es una de las interacciones árbol-animal, por lo tanto, para entender los efectos que ejerce sobre el animal, es necesario medir las variables que están implicadas.

Particularmente la temperatura y la humedad del aire tienen el efecto más relevante sobre el animal a la hora de hablar de estrés térmico, ya que afectan la eficiencia con que el animal disipa el calor excedente y se mantiene en la termoneutralidad. El estrés por calor puede generar disminuciones significativas en la producción de leche y en los parámetros reproductivos del ganado lechero (Valtorta y Gallardo, citados por Cruz, 2009).

El ITH es un índice biometeorológico que cuantifica el estrés calórico, contemplando la temperatura y la humedad, desarrollado por Thom (1959), originalmente aplicado para detectar niveles de estrés por calor en los humanos, posteriormente Johnson et al. (1961) adaptaron los umbrales al ganado lechero en producción.

La conversión de Valtorta y Gallardo (1996) aplicada en Argentina para determinar estrés por calor en el ganado lechero, calcula el ITH de la siguiente forma:

$$ITH = (1,8 Ta + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) \times (1,8 Ta - 26).$$

Donde Ta: temperatura del aire (°C).

HR: humedad del aire (%).

Se han caracterizado distintas categorías de estrés calórico según la magnitud del ITH (Preez et al., 1990):

- Mayor a 72 la producción de leche comienza a ser afectada.
- Alerta, ITH entre 74 - 78, la productividad de los animales se ve disminuida y se recomienda tomar medidas de enfriamiento de los animales.
- Peligro, ITH entre 78 – 82, la productividad de los animales es altamente disminuida y es necesario tomar medidas de protección como enfriamiento o dietas adecuadas.
- Emergencia, ITH de valores mayores a 82, puede ocurrir la muerte de los animales, por lo que todas las medidas para el enfriamiento de los animales son recomendadas.

A nivel nacional, Cruz y Saravia (2008) realizaron una caracterización climática de ITH para el período estival (promedios históricos mensuales de la serie

1961-1990 de los meses de diciembre a marzo), encontrándose valores por encima del crítico (72) para el norte del Río Negro en el mes de enero (figura No.4). En el resto del territorio, si bien no se observó que el ITH promedio supere el valor crítico, hay que tomar en cuenta que es un promedio tomado de muchos años, por lo tanto, la variabilidad puede registrar algún evento crítico.

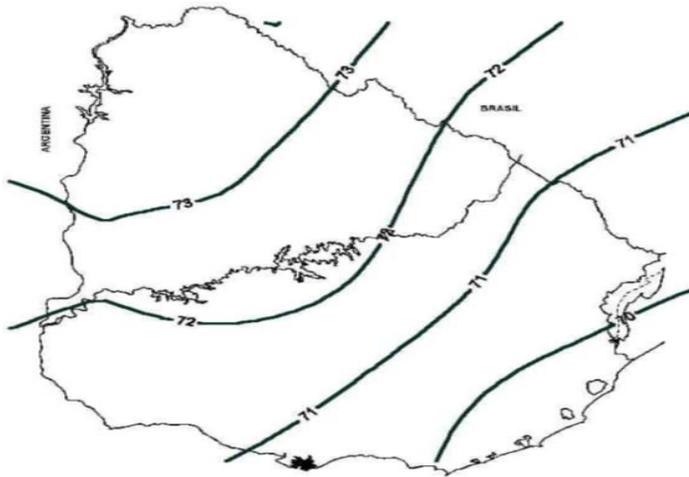


Figura No.4. Variación espacial para el Uruguay del ITH medio del mes de enero (promedio 1961-1990)

Fuente: Cruz y Saravia (2008).

“Una de las reconocidas limitaciones del ITH es que no toma en cuenta la velocidad de viento y la radiación incidente sobre el animal, por lo que se han sugerido algunos ajustes (Hahn et al., 2009), como el indicado por Davis y Mader (2003). Este particularmente es utilizado para ganado de feedlot y toma en cuenta la velocidad del viento (VV, m/s) y la radiación solar (RS, W/m²), en la siguiente ecuación: $ITH_{ajustado} = 4,51 + ITH - 1,992 \times VV + 0,0068 \times RS$ ” (Mader et al., citados por Román, 2014).

Zimbelman et al. (2009) en Arizona, Estados Unidos con 100 vacas Holstein en ambiente controlado concluyeron que el rendimiento en leche disminuye significativamente ($p < 0,05$) cuando el ITH mínimo es de 65 o mayor. El promedio de pérdida en el rendimiento de leche por día fue de 2,2 kg/día para un mínimo de ITH entre 65 y 73. Por lo tanto, sugiere que el enfriamiento de las vacas lecheras debe iniciarse cuando el ITH mínimo sea 65 o superior, o cuando el ITH promedio sea 68. Además, los datos relevados indicaron que las pérdidas de producción de leche se volvieron significativas después de las 17 hs. de exposición a un ITH promedio de 68.

Se concluyó de esta forma que las vacas lecheras que producen más de 35 kg/día necesitan enfriamiento adicional cuando ITH mínimo es 65 o mayor, o cuando ITH promedio es 68 por más de 17 hs. por día.

Bouraoui et al. (2002) estudiaron la relación que tiene el ITH con la producción de leche, composición y consumo de materia seca para un grupo de vacas Friesian-Holstein en Túnez. Las temperaturas promedio fueron de 21,6°C para la primavera y 29,8°C para el verano con valores de ITH promedios de $68 \pm 3,75$ contra $78 \pm 3,23$ respectivamente. Cuando los valores de ITH incrementaron de 68 a 78 la producción de leche disminuyó en un 21% y el consumo de materia seca en 9,6%. La producción de leche decreció 0,41 kg/vaca/día por cada punto de incremento en los valores de ITH por encima de 69. Además, la grasa y proteína de la leche disminuyeron en el verano. Los valores de ITH se correlacionaron positivamente con la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal ($r = 0,89$ y $0,85$ respectivamente).

Cerqueira (2016) en cuatro predios en Ponte de Lima, Viana do Castelo y en Barcelos (norte de Portugal) registrando en cada uno la temperatura (°C) y humedad (%) del aire cada una hora durante un año. Al mismo tiempo se registró en 53 animales la temperatura rectal (TR, °C), frecuencia respiratoria (FR, respiraciones por minuto, r.p.m) y producción de leche. Como era de esperar el valor de ITH fue diferente en todas las estaciones del año, con el menor valor en invierno ($53 \pm 6,7$) y el más elevado en verano ($69 \pm 6,0$). Se encontraron correlaciones positivas siendo las más relevantes la FR y el ITH ($r= 0,83$), entre la temperatura del aire y la FR ($r= 0,81$), entre la TR y el ITH ($r= 0,79$) y temperatura del aire y la TR ($r= 0,77$). Además, se observó que cuando el valor del ITH era superior a 78 la producción de leche disminuye en 1,8 kg/vaca/día. La TR y la FR sufrieron un incremento de 1,3°C y 37,3 r.p.m. respectivamente, cuando el ITH pasa de la clase inferior de 72 para la clase superior a 78. Por otro lado, los valores más altos de ITH se registraron para el período horario de 12:00 a 16:00 lo que coincide con el período de mayor intensidad de la radiación solar y temperaturas del aire más elevadas.

Buffington et al. (1981), realizaron durante los veranos de 1975 al 1978 en Florida (FL), Estados Unidos, un estudio con 60 vacas Holstein, 30 de las cuales tuvieron libre acceso a sombra artificial y otras 30 vacas localizadas en una pastura adyacente, pero sin sombra. No se registraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre el ITH estimado para el sol con respecto al tratamiento con sombra, los autores explican esto porque tampoco existieron diferencias en la temperatura ambiente.

2.6.2 Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI)

Desarrollado por Buffington et al. (1981) el índice de temperatura y humedad en globo negro o BGHI por sus siglas en inglés (black globe humidity index) integra la temperatura del aire, temperatura de la esfera de Vernon, humedad del aire, radiación neta y movimiento del aire en la siguiente ecuación:

$$\text{BGHI} = \text{tbg} + 0.36 \times \text{tpr} + 41.5.$$

Dónde:

tbg= temperatura del globo negro (°C).

tpr= temperatura del punto de rocío (°C).

En el estudio anteriormente citado por Buffington et al. (1981) se comparó el BGHI siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento sin sombra respecto al sombreado (78,2 contra 86,4). Sin embargo, al comparar este con el ITH no se encontraron diferencias significativas en el tratamiento con sombra porque no existieron diferencias entre la temperatura ambiente y esfera de Vernon. Los autores concluyeron que el BGHI es más preciso para determinar el confort térmico y performance que el ITH cuando los animales están expuestos a elevados niveles de radiación.

En el estudio ya citado por Baliscei et al. (2013) se calculó el BGHI para un sistema silvopastoril contra uno a cielo abierto siendo los resultados $72 \pm 1,05$ y $74 \pm 1,20$ respectivamente, siendo las diferencias significativas ($p < 0,05$). Según los autores esto se produce por la presencia de los árboles que reducen la velocidad del viento y la radiación mejorando las condiciones y confort térmico del animal.

Buffington et al. (1981) también determinaron parámetros productivos además del BGHI e ITH, estableciendo que en el tratamiento donde las vacas tenían acceso a sombra artificial la grasa en leche fue 10,9% mayor respecto al tratamiento en que las vacas no tenían acceso a sombra. Además, los autores correlacionaron el ITH y el BGHI con la producción de leche obteniendo una correlación más alta en el BGHI que el ITH para el tratamiento sin sombra (R^2 0,355 contra 0,263), siendo la correlación igual para ambos índices en el tratamiento con sombra. También la correlación del BGHI respecto al ITH fue mayor para la temperatura rectal (R^2 0,27 contra 0,34) y la frecuencia respiratoria (R^2 0,31 contra 0,48).

2.7 HIPÓTESIS

La introducción de la forestación modifica el microclima bajo dosel.

Atenúa los valores extremos de temperatura (menor amplitud térmica) y disminuye el porcentaje de radiación solar incidente a través de la canopia (medido en radiación fotosintéticamente activa, PAR).

Mejora el confort térmico animal como consecuencia de las modificaciones del microclima.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL EXPERIMENTO

Dos de los predios se ubican en Ruta 23 (caso No.1 -33.832394 S, -57.011006 W y caso No.2 -33.787363 S, -56.988178 W) a la altura del km 170, 25 km al sur de Trinidad en la Colonia Tiburcio Cachón, siendo estos predios familiares de producción lechera (figura No.5). El tercer caso se ubica Rincón del Palacio (-33.287243 S, -57.140704 W), Ruta 3 (vieja) Km 233,5, al norte de Trinidad (figura No.6) siendo su rubro principal agrícola ganadero.

La región se caracteriza por temperaturas máximas medias (1980-2009) en el mes de enero de 30,6°C y temperaturas mínimas medias (1980-2009) en el mes de junio de 6,4°C y promedio (1980-2009) de precipitación total anual 1245 mm, con una distribución mensual regular a lo largo del año climático (Castaño et al., 2011).

El experimento se llevó a cabo desde el 9 de junio 2017 al 15 de setiembre del 2018.

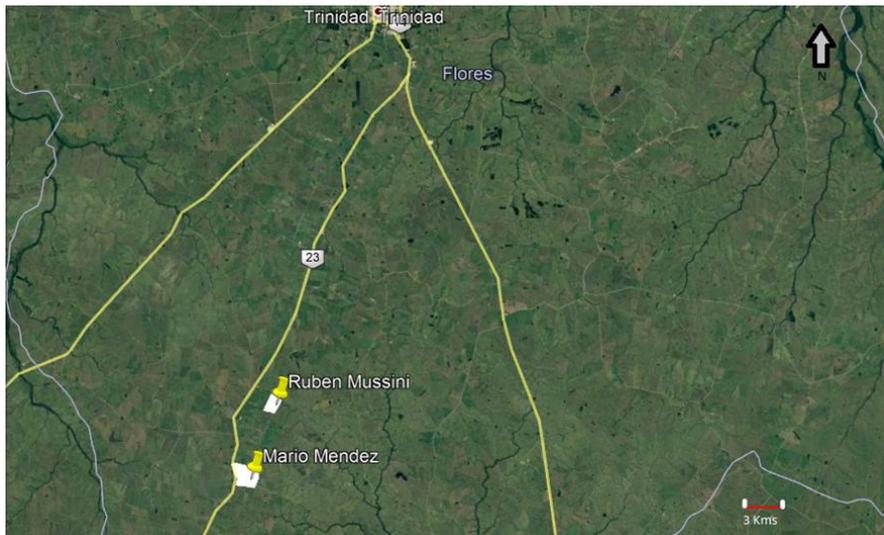


Figura No.5. Ubicación del caso No.1 y No.2 en la Colonia Tiburcio Cachón, departamento de Flores

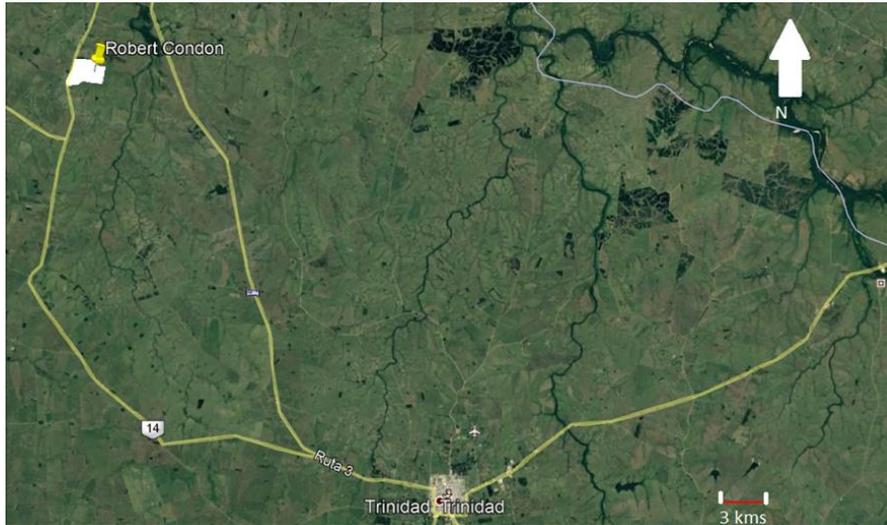
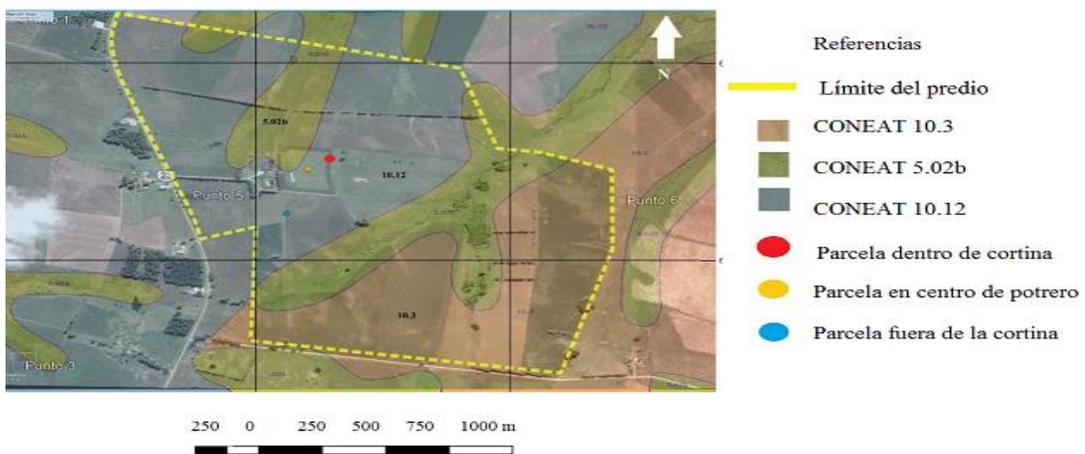


Figura No.6. Ubicación del caso No.3 en el departamento de Flores

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PREDIOS

El caso No.1 es un predio lechero familiar de 237 hectáreas. Presenta instalado tres tipos de montes con destino a sombra y reparo de los animales.

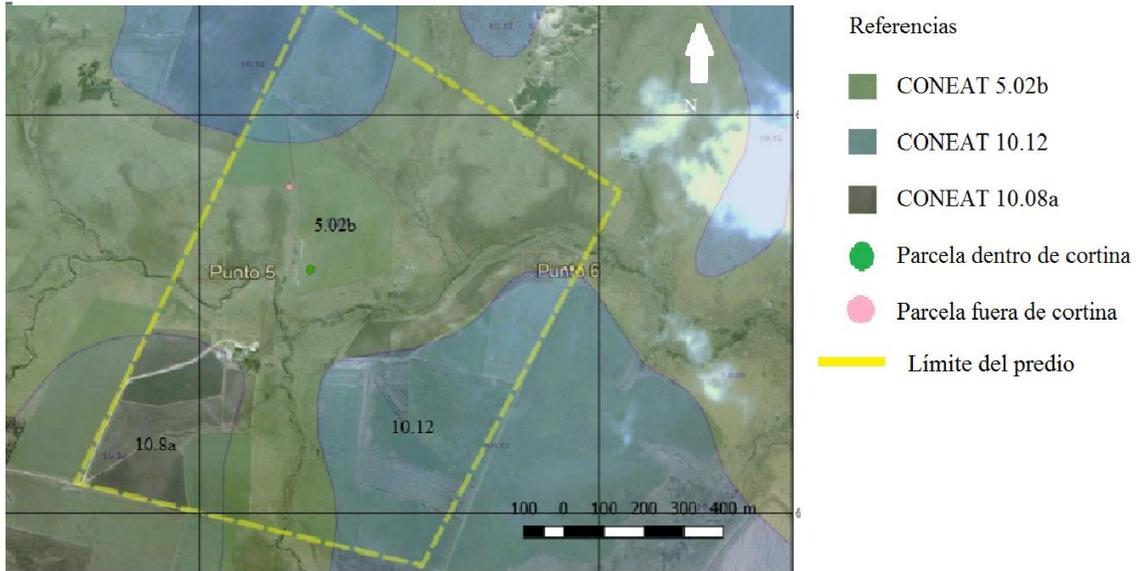
Uno de estos es de forma rectangular y oficia de protección a un potrero que queda en su interior. Es usada por parte del productor para dar silos y refugio a los animales, como se muestra a continuación en la figura No.7.



Los límites indicados mediante línea punteada y la ubicación de las parcelas de medición mediante puntos de diferentes colores (Punto rojo dentro del monte, punto amarillo fuera del monte en el centro del potrero).

Figura No.7. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.1

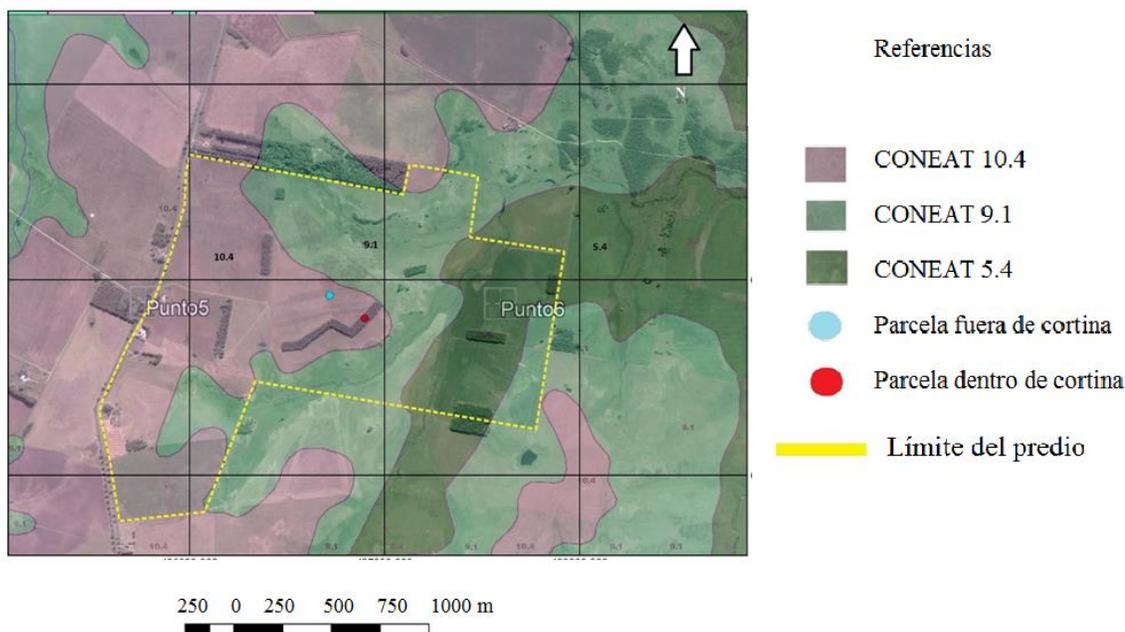
El caso No.2 es el segundo predio lechero familiar, tiene un total de 108 hectáreas, en el 2014 plantó dos montes con destino a sombra y abrigo. A continuación, se muestra el detalle del predio en la figura No.8.



Los límites indicados mediante línea punteada y la ubicación de las parcelas de medición mediante puntos de diferentes colores (punto verde dentro del monte, punto rosado fuera del monte).

Figura No.8. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.2

El caso No.3 es un productor agrícola ganadero con una superficie total de 231 hectáreas. La cortina fue plantada en el año 2009. A continuación, se muestra el mapa en la figura No.9.



Los límites indicados mediante línea punteada y la ubicación de las parcelas de medición mediante puntos de diferentes colores (punto rojo dentro del monte, punto celeste fuera del monte).

Figura No.9. Mapa de unidades CONEAT de los suelos encontrados en el predio del caso No.3

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Se establecieron dos tratamientos, dentro del monte (DM) y fuera del monte (FM) y 3 casos de estudio (los 3 predios descriptos anteriormente).

Se registró la temperatura del aire en abrigo meteorológico, temperatura en esfera de Vernon y radiación fotosintéticamente activa (PAR) tanto para los tratamientos dentro de monte como fuera de monte y para los tres casos en estudio. Los registros de humedad relativa (HR) se realizaron en el caso número uno como insumo para los cálculos de ITH y BGHI. Con los indicadores meteorológicos obtenidos se pretende describir el efecto sombra y abrigo del monte sobre los animales cuantificando el mismo mediante el cálculo de índices biometeorológicos como temperatura en esfera de Vernon, ITH y BGHI.

La máxima, mínima, promedio y amplitud térmica para la temperatura en abrigo meteorológico se presentan con parámetros básicos descriptivos. Mientras que para el ITH, BGHI y temperatura en esfera de Vernon además de tomar los parámetros básicos descriptivos se ajustó un modelo ARIMA (autoregressive integrated moving average) de tipo (1,0,0) (1,0,1) 24. El modelo fue del tipo multiplicativo, con un componente estacional, uno de auto regresión, un componente de integración y un

componente de medias móviles considerando significancia al 5%. Los datos significativos surgen de comparar cada registro horario con el registro anterior y de 24hs antes. Se calculan los intervalos de confianza para las medias y se comparan ambos intervalos de cada registro entre sus límites superiores e inferiores, si los límites se solapan, el dato no es significativo. El procesamiento de los datos de temperatura en esfera de Vernon se realizó con los valores de la fase diurna considerada desde las 5:00 hs. a las 21:00 hs.

En cada monte se llevaron adelante inventarios dasométricos, uno al inicio del período de estudio y otro al final para determinar parámetros productivos.

3.3.1 Descripción de las cortinas para cada caso

3.3.1.1 Cortina caso No.1

La cortina fue plantada el 15 de setiembre del 2014 teniendo una edad de 3 años al momento de realizar el primer inventario. El arreglo es de 2,5 metros entre árboles y 4 metros entre filas, siendo las especies 3 filas de *Eucalyptus dunnii* más 1 fila de *Casuarina cunninghamiana* en el lado exterior. La cortina a su vez tiene forma rectangular como se puede observar en la figura No.10.

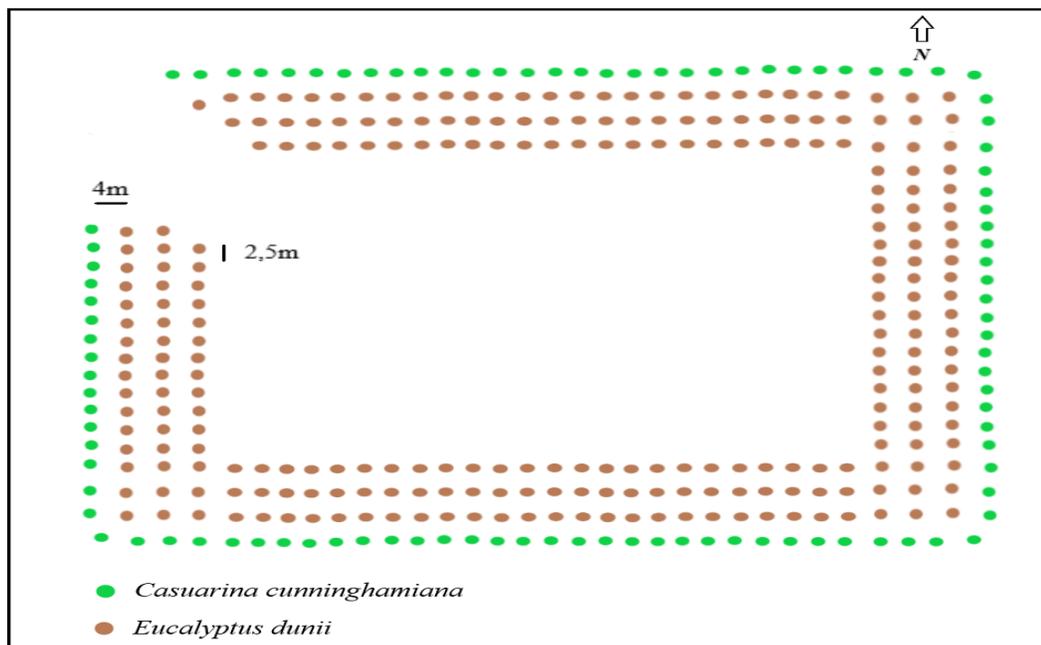


Figura No.10. Croquis cortina caso No.1

3.3.1.2 Cortina caso No.2

La cortina de abrigo y sombra fue plantada en la primavera del 2014 teniendo una edad de 3 años en ese momento. El marco de plantación es de 2 metros entre árboles y 3,5 metros entre filas, siendo las especies 9 filas de *Eucalyptus dunnii* más 3 filas de *Casuarina cunninghamiana* en el lado exterior como se puede observar en la figura No.11.

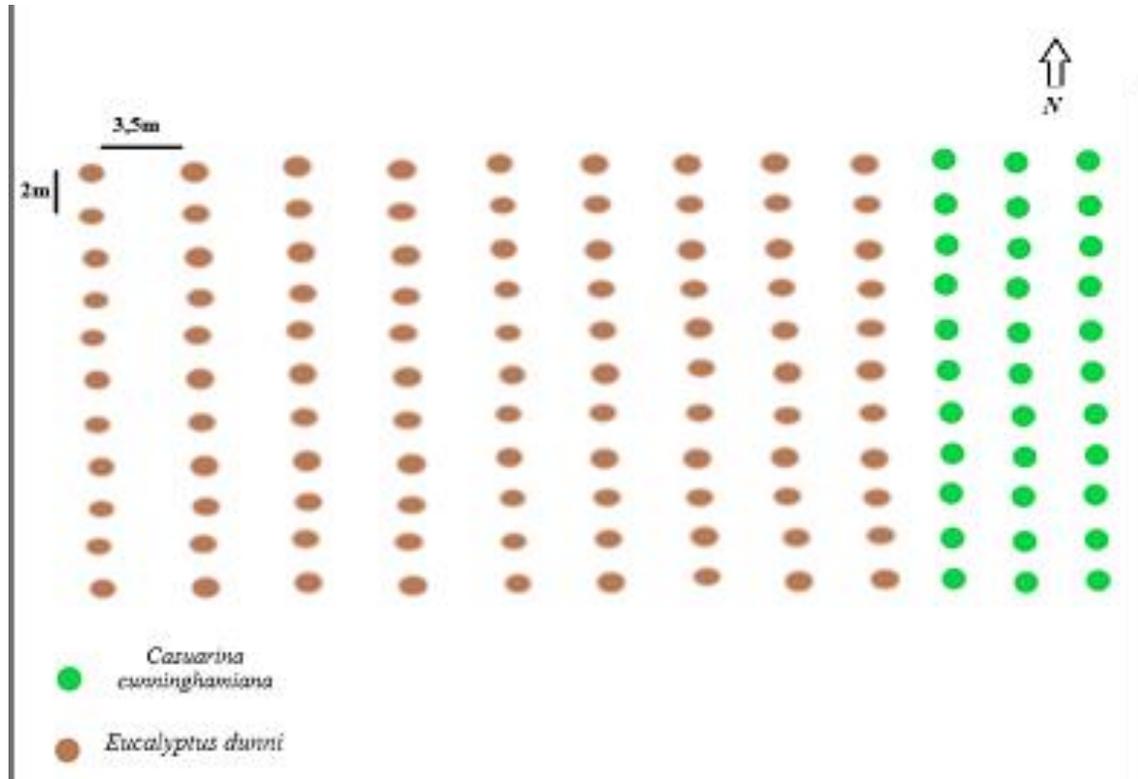


Figura No.11. Croquis cortina caso No.2

3.3.1.3 Cortina caso No.3

La cortina fue plantada en la primavera del año 2009 teniendo una edad de 8 años en ese momento, la misma consiste en 15 filas de *Eucalyptus dunnii* a una distancia de 3,5 metros entre árboles y 2 metros entre filas como se puede observar en la figura No.12.

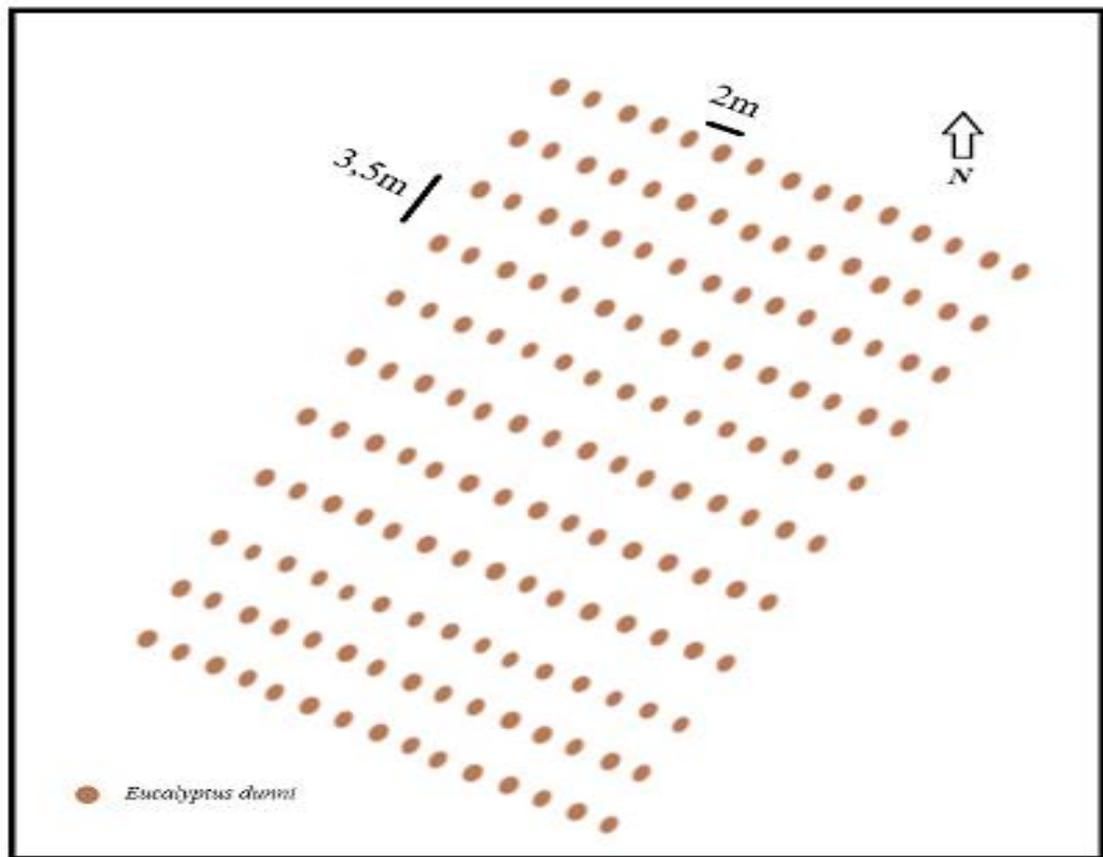


Figura No.12. Croquis cortina caso No.3

3.3.2 Mediciones productivas en los árboles

Las parcelas forestales para los tres predios se hicieron de forma rectangular con 20 m de largo y 3 filas de ancho midiéndose en todos los árboles la circunferencia a la altura del pecho (CAP), altura total y altura de copa, utilizando hipsómetro blumeleiss para las alturas y cinta métrica para la circunferencia. Para los tres casos el primer inventario forestal se realizó el día 8 de junio del 2017 y un segundo inventario el 15 de setiembre de 2018.

3.3.2.1 Área basal

El área basal (AB) es el área de la sección horizontal de un árbol que se encuentra a 1,3 metros del suelo es decir con el diámetro a la altura del pecho (DAP) o la circunferencia a la altura del pecho (CAP). Se supone que se aproxima al área de un círculo por lo cual:

$$AB = (\pi \times DAP^2) / 4$$

Como en el campo se midió el CAP se obtuvo el DAP de la siguiente forma:

$$DAP = CAP/\pi$$

3.3.2.2 Volumen de madera

El volumen real (V) fue calculado mediante la siguiente ecuación;

$$V = AB \times \text{altura total} \times \text{factor de forma}$$

El factor de forma que tomado fue de 0,5.

3.3.2.3 Incremento medio anual (IMA)

Es el crecimiento por año de un individuo para un determinado parámetro. Para este caso el parámetro utilizado para calcular el IMA fue el volumen de madera (m^3/ha), dividiendo este por la edad en años.

3.3.3 Medición del PAR e índice área foliar (IAF)

Los montes se caracterizaron también a través del IAF que es determinante para el valor del PAR, estos indicadores se obtienen mediante la utilización de un ceptómetro (Accupar LP-80) que brinda la información del PAR la cual es proporcional a la estimación de IAF.

Para todos los casos se midió primero el PAR a la intemperie y luego debajo del monte, en un punto medio entre las filas y los árboles.

3.3.4 Temperatura en abrigo meteorológico

Se instalaron parcelas de medición, las cuales están provistas de instrumentos encargados de monitorear el ambiente térmico en abrigo meteorológico, cercado por un alambre que protege a los mismos del ganado. Las mediciones en las parcelas consisten en registradores automáticos de temperatura (HOBO-Pendant) ubicados en abrigos meteorológicos a 1,5 m de altura. Los registros se llevaron cada 15 minutos y se iniciaron el 9 de junio de 2017, hasta el 6 de abril de 2018.

Para los casos No.2 y No.3 se instalaron parcelas debajo del monte (DM) en un punto medio entre filas y entre árboles además de otra parcela contigua al monte a cielo abierto (FM).

Para el caso No.1 se colocó una parcela de medición en el centro del potrero (CC) rodeado por la cortina, la cual forma un perímetro rectangular, además de una parcela dentro del monte (DM) y otra a cielo abierto (FM).

3.3.5 Índices biometeorológicos

3.3.5.1 Temperatura en esfera de Vernon

Para la temperatura en esfera de Vernon se registro dentro del período comprendido desde el 12 de diciembre 2017 al 3 de abril del 2018 en las mismas parcelas que la temperatura en abrigo meteorológico, pero con registradores automáticos de temperatura i-Buttons Dallas (Thermochron DS1921G-F5) ubicados también a 1,5 m de altura, pero dentro de esferas de 15 cm de diámetro de cobre, huecas y pintadas de color negro mate (esferas de Vernon). El procesamiento de los datos de temperatura en esfera de Vernon se realizó con los valores de la fase diurna considerada desde las 5:00 hs. a las 21:00 hs.

3.3.5.2 ITH

Por otro lado el ITH fue calculado para el caso No.1 tanto para FM como DM entre el 12 de diciembre de 2017 hasta 6 de abril de 2018.

Para su cálculo se emplearon los datos de humedad del aire y temperatura del aire en la siguiente conversión de la ecuación original de ITH, realizada por Valtorta y Gallardo (1996): $ITH = (1,8 Ta + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) \times (1,8 Ta - 26)$.

Donde Ta: temperatura del aire (°C)

HR: humedad del aire (%)

3.3.5.3 BGHI

El BGHI fue calculado en el caso No.1 para DM y FM desde el 14 de diciembre del 2017 al 8 de marzo del 2018. Para llegar a su cálculo se utilizó la humedad del aire y temperatura del aire, las cuales permitieron determinar la presión de vapor saturante y presión actual de vapor, siendo estos necesarios para determinar la temperatura de punto de rocío. Con este último factor y la temperatura en esfera de Vernon se llega al BGHI en la siguiente ecuación:

$$BGHI = tbg + 0.36 \times tpr + 41.5$$

Dónde:

tbg= temperatura del globo negro (C°)

tpr= temperatura del punto de rocío (C°)

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DASOMÉTRICOS

A continuación, se detalla los inventarios realizados para cada cortina. Sobre los casos No.1 y No.2 se reporta resultados dasométricos muy similares ya que se trata de árboles con la misma edad, especie y plantados en sitios muy cercana alcanzando un incremento medio anual (IMA) en el entorno de 11 m³/ha/año. Por otro lado el caso No.3 se trata de un monte de mayor densidad y edad el cual alcanza un IMA de 40,1 m³/ha/año.

Se estimó el número de árboles (No. árb/ha), altura media (H media, m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), área basal (AB, m²/ha), incremento medio anual (IMA, m³/ha/año) y el volumen de madera (V, m³/ha).

4.1.1 Caso No.1

En cuadro No.1, se detalla los resultados del inventario, estos se calcularon a partir del promedio de las 4 parcelas medidas en la cortina.

Cuadro No.1. Resultado del inventario caso No.1

Densidad (árb/ha)	H media (m)	DAP medio (cm)	AB (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)
933	8	12	11	45	11

4.1.2 Caso No.2

En el cuadro No.2, se detalla los resultados del inventario, estos se calcularon a partir del promedio de las 3 parcelas medidas en la cortina.

Cuadro No 2. Resultado del inventario caso No.2

Densidad (árb/ha)	H media (m)	DAP medio (cm)	AB (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)
920	8	13	11	44	11

4.1.3 Caso No.3

En el cuadro No.3, se detalla los resultados del inventario, estos se calcularon a partir del promedio de las 4 parcelas medidas en la cortina.

Cuadro No.3. Resultado del inventario caso No.3

Densidad (árbo/ha)	H media (m)	DAP medio (cm)	AB (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/año)
1207	19	19	37	361	40

4.2 RADIACIÓN SOLAR Y IAF

Al igual que los resultados dasométricos para el caso No.1 y caso No.2 los valores de IAF y PAR son muy similares, siendo mayor el porcentaje (%) de interceptación de PAR para el caso No.3.

Cuadro No.4. Resultados de IAF y PAR a partir de los datos relevados con ceptómetro para los tres casos de estudio

	Caso No.1	Caso No.2	Caso No.3
IAF	1,9	1,3	5,0
PAR (%)	76	67	92

Es importante mencionar que el caso No.2 presentó al momento de las mediciones del PAR problemas sanitarios con la posible reducción del IAF.

4.3 CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

La caracterización térmica se realizó con los registros por hora en el período abarcado entre junio 2017 y marzo 2018 con los datos de la temperatura en abrigo meteorológico. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los 3 casos, dentro de monte (DM) y fuera de monte (FM), agregando para el caso No.1 centro de corral (CC).

4.3.1 Caso No.1

La temperatura promedio para todos los meses medidos es de $18,0 \pm 3,16^{\circ}\text{C}$ y $17,8 \pm 3,18^{\circ}\text{C}$ para DM y FM respectivamente. La máxima y mínimo promedio fueron de $24,5 \pm 4,03^{\circ}\text{C}$ y $12,3 \pm 3,37^{\circ}\text{C}$ para DM y $24,0 \pm 4,01^{\circ}\text{C}$ y $12,0 \pm 3,44^{\circ}\text{C}$ para FM, existiendo una diferencia entre DM y FM de $0,43^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima promedio y $0,25^{\circ}\text{C}$ para la mínima promedio.

Para CC la temperatura promedio es de $18,0 \pm 3,20^{\circ}\text{C}$, la máxima y mínimo promedio fueron $25,0 \pm 4,11^{\circ}\text{C}$ y $11,7 \pm 3,56^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Mientras que para DM la amplitud promedio fue de $12,2 \pm 1,66^{\circ}\text{C}$, para FM la amplitud promedio fue de $12,0 \pm 1,78^{\circ}\text{C}$ y en CC fue de $13,4 \pm 3,86^{\circ}\text{C}$. A continuación, en los siguientes cuadros se detallan el comportamiento térmico por tratamiento para cada mes.

Cuadro No.5. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para los tres tratamientos del caso No.1

Fecha	Máx. promedio FM	Máx. promedio DM	Máx. promedio CC
Jun. 2017	$18,4 \pm 4,62$	$18,9 \pm 4,55$	$18,6 \pm 4,58$
Jul. 2017	$17,0 \pm 4,49$	$17,4 \pm 4,48$	$17,0 \pm 4,49$
Ago. 2017	$18,2 \pm 3,12$	$18,9 \pm 3,06$	$18,2 \pm 3,07$
Set. 2017	$19,2 \pm 4,06$	$19,7 \pm 4,17$	$19,2 \pm 4,02$
Oct. 2017	$21,8 \pm 3,78$	$22,4 \pm 3,83$	$21,9 \pm 3,61$
Nov. 2017	$25,8 \pm 4,21$	$26,7 \pm 4,28$	$25,5 \pm 4,02$
Dic. 2017	$30,3 \pm 4,26$	$30,6 \pm 4,54$	$31,5 \pm 4,9$
Ene. 2018	$31,2 \pm 3,47$	$31,2 \pm 3,63$	$34,0 \pm 3,86$
Feb. 2018	$30,6 \pm 3,54$	$30,7 \pm 3,59$	$33,6 \pm 3,59$
Mar. 2018	$27,8 \pm 4,55$	$28,1 \pm 4,6$	$30,6 \pm 4,94$
Promedio	$24,0 \pm 4,01$	$24,4 \pm 4,08$	$25,0 \pm 4,11$

(Máx.: temperatura máxima, \pm desvío estándar, DM y CC, dentro de monte y centro corral)

Cuadro No.6. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para los tres tratamientos del caso No.1

Fecha	Mín. promedio FM	Mín. promedio DM	Mín. promedio CC
Jun. 2017	$8,7 \pm 4,97$	$9,1 \pm 4,83$	$8,8 \pm 5,03$
Jul. 2017	$8,2 \pm 4,32$	$8,4 \pm 4,17$	$8,1 \pm 4,39$
Ago. 2017	$10,4 \pm 4,01$	$9,3 \pm 4,03$	$8,9 \pm 4,22$
Set. 2017	$10,4 \pm 3,31$	$10,7 \pm 3,19$	$10,4 \pm 3,34$
Oct. 2017	$10,1 \pm 3,13$	$10,6 \pm 2,95$	$10,0 \pm 3,21$
Nov. 2017	$11,3 \pm 2,45$	$11,6 \pm 2,6$	$10,9 \pm 2,6$

Dic. 2017	15,6 ± 3,33	15,8 ± 3,26	15,3 ± 3,43
Ene. 2018	17,0 ± 2,59	17,3 ± 2,54	16,7 ± 2,78
Feb. 2018	16,1 ± 3,1	16,3 ± 3,14	15,7 ± 3,32
Mar. 2018	13,3 ± 3,22	13,7 ± 2,98	12,8 ± 3,28
Promedio	12,1 ± 3,44	12,3 ± 3,37	11,7 ± 3,56

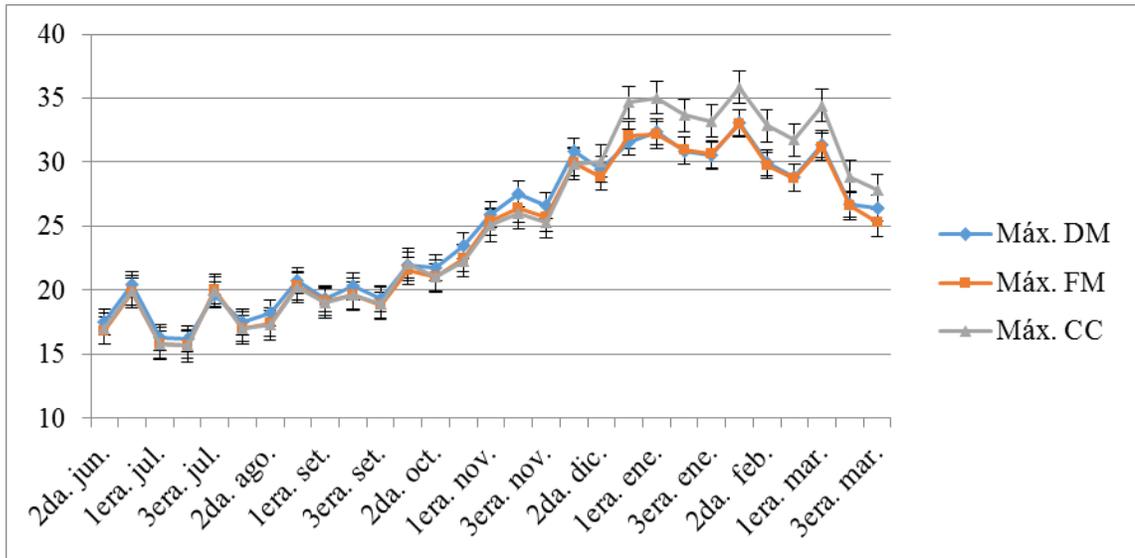
(Mín.: temperatura mínima, ± desvío estándar, DM y CC, dentro de monte y centro de corral)

Cuadro No.7. Caracterización promedio mensual de la variable amplitud térmica (°C) para los tres tratamientos del caso No.1

Fecha	Amplitud promedio FM	Amplitud promedio DM	Amplitud promedio CC
Jun. 2017	9,4 ± 2,89	9,1 ± 4,83	9,8 ± 3,13
Jul. 2017	8,8 ± 3,69	9,1 ± 3,89	8,9 ± 3,76
Ago. 2017	9,0 ± 3,1	9,6 ± 3,44	9,3 ± 3,21
Set. 2017	8,8 ± 3,94	9,0 ± 4,09	8,8 ± 3,98
Oct. 2017	11,7 ± 4,24	11,9 ± 4,39	11,9 ± 4,04
Nov. 2017	14,6 ± 3,91	15,1 ± 4,06	14,6 ± 3,84
Dic. 2017	14,7 ± 3,45	14,8 ± 3,79	16,2 ± 3,89
Ene. 2018	14,3 ± 3,3	14,0 ± 3,59	17,3 ± 3,86
Feb. 2018	14,52 ± 2,87	14,4 ± 3,03	17,9 ± 3,06
Mar. 2018	14,6 ± 3,35	14,4 ± 2,98	17,8 ± 3,64
Promedio	12,0 ± 3,47	12,1 ± 3,81	13,3 ± 3,64

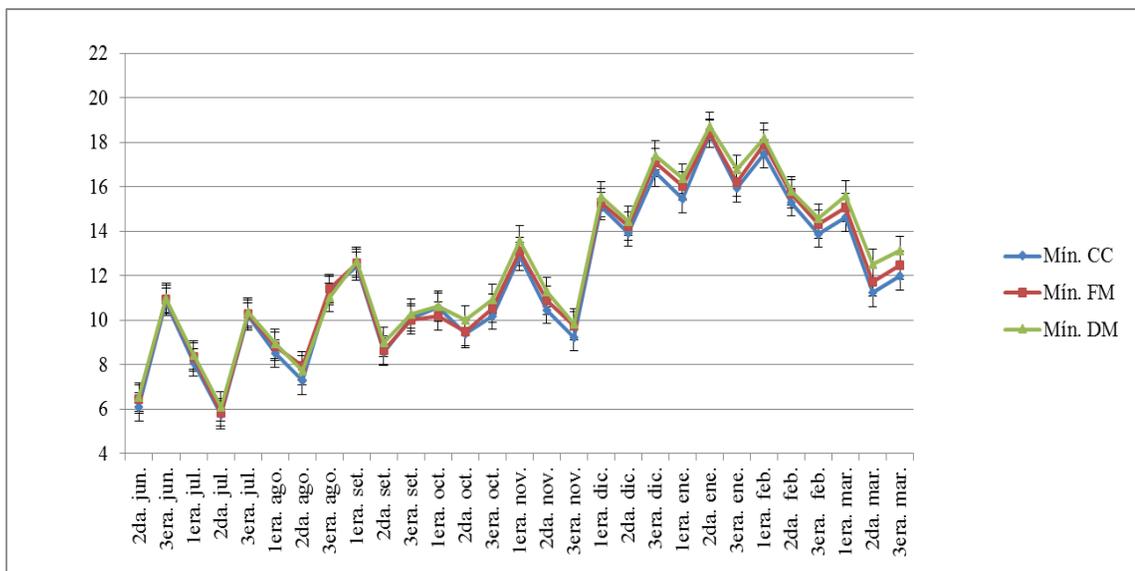
(± desvío estándar, DM, FM y CC, dentro, fuera de monte y centro de corral respectivamente)

Si se tiene en cuenta solamente los meses de verano (diciembre, enero y febrero) la temperatura máxima promedio DM fue de $30,9 \pm 3,92^{\circ}\text{C}$, para FM fue de $30,7 \pm 3,75^{\circ}\text{C}$ y CC $33,0 \pm 4,11^{\circ}\text{C}$, siendo esta última más elevada que DM y FM, las cuales resultaron muy similares. A continuación, en la figura No.13 se puede apreciar este comportamiento.



(DM, FM y CC, dentro de monte, fuera de monte y centro de corral respectivamente)

Figura No.13. Distribución de las temperaturas máximas (°C) promedio de cada tratamiento para el caso No.1



(DM, FM y CC, dentro de monte, fuera de monte y centro de corral respectivamente)

Figura No.14. Distribución de las temperaturas mínimas (°C) promedio de cada tratamiento para el caso No.1

4.3.2 Caso No.2

La temperatura promedio para todos los meses medidos es de $18,1 \pm 3,16^{\circ}\text{C}$ y $18,3 \pm 3,25^{\circ}\text{C}$ para DM y FM respectivamente. Las máximas y mínimas promedio fueron de $25,4 \pm 4,13^{\circ}\text{C}$ y $11,8 \pm 3,74^{\circ}\text{C}$ para DM y $26,7 \pm 4,24^{\circ}\text{C}$ y $10,9 \pm 4,15^{\circ}\text{C}$ para FM, existiendo una diferencia entre DM contra FM de $1,3^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máxima promedio y $0,9^{\circ}\text{C}$ para las mínimas promedio.

Para el tratamiento DM la amplitud promedio fue de $13,7 \pm 4,14^{\circ}\text{C}$. Para el tratamiento FM la amplitud fue de $15,9 \pm 4,51^{\circ}\text{C}$. A continuación, en los siguientes cuadros se detalla el comportamiento térmico por tratamiento para cada mes.

Cuadro No.8. Caracterización promedio mensual de la variable temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para los dos tratamientos del caso No.2

Fecha	Máx. promedio FM	Máx. promedio DM
Jun. 2017	$20,2 \pm 4,48$	$19,4 \pm 4,58$
Jul. 2017	$18,5 \pm 4,81$	$17,7 \pm 4,67$
Ago. 2017	$20,9 \pm 3,11$	$19,9 \pm 3,18$
Set. 2017	$21,4 \pm 4,48$	$20,1 \pm 4,22$
Oct. 2017	$24,6 \pm 4,04$	$23,1 \pm 3,88$
Nov. 2017	$28,5 \pm 4,2$	$26,8 \pm 4,08$
Dic. 2017	$33,6 \pm 4,83$	$31,8 \pm 4,64$
Ene. 2018	$34,9 \pm 3,82$	$33,1 \pm 3,74$
Feb. 2018	$34,0 \pm 3,8$	$32,5 \pm 3,41$
Mar. 2018	$30,8 \pm 4,89$	$29,7 \pm 4,91$
Promedio	$26,7 \pm 4,24$	$25,4 \pm 4,13$

(Máx.: temperatura máxima, \pm desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Cuadro No.9. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura mínima (°C) para los dos tratamientos del caso No.2

Fecha	Mín. promedio FM	Mín. promedio DM
Jun. 2017	7,6 ± 5,72	8,2 ± 5,28
Jul. 2017	8,2 ± 4,57	8,5 ± 4,33
Ago. 2017	7,6 ± 5,47	8,5 ± 4,85
Set. 2017	9,8 ± 4,01	10,3 ± 3,76
Oct. 2017	8,6 ± 3,61	9,7 ± 3,17
Nov. 2017	10,0 ± 3,06	11,1 ± 2,74
Dic. 2017	14,7 ± 3,52	15,5 ± 3,2
Ene. 2018	16,0 ± 3,6	16,9 ± 3,01
Feb. 2018	14,8 ± 4,08	16,0 ± 3,61
Mar. 2018	11,3 ± 3,9	13,0 ± 3,42
Promedio	10,9 ± 4,15	11,8 ± 3,74

(Mín.: temperatura mínima, ± desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

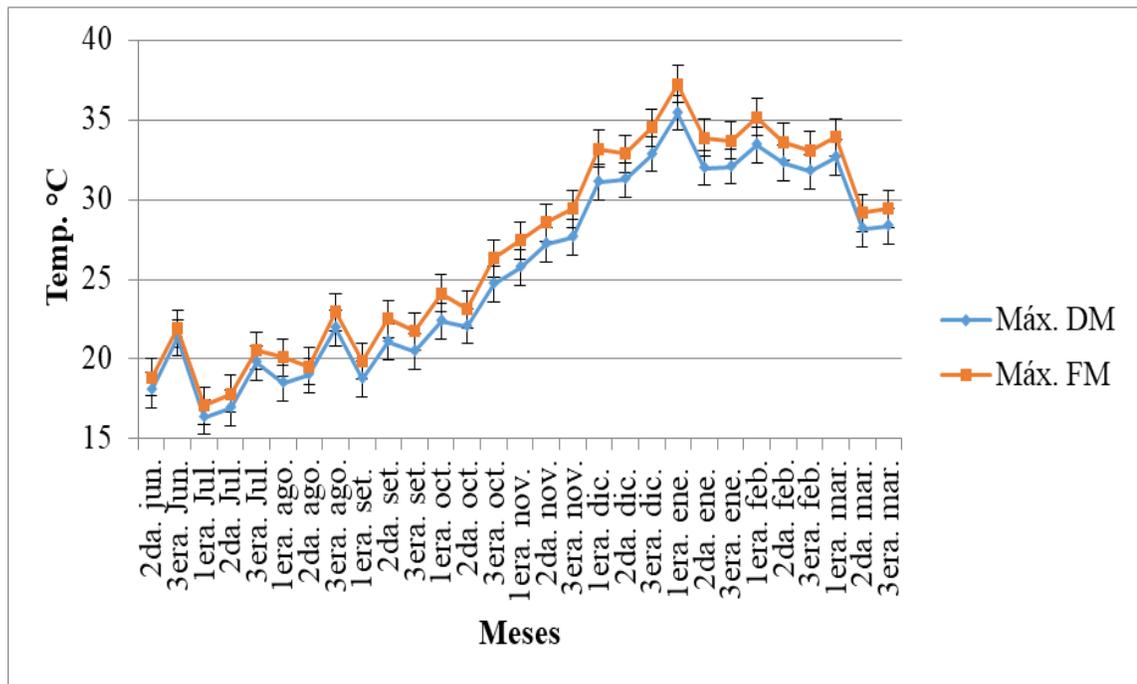
Cuadro No.10. Caracterización promedio mensual para la variable amplitud térmica (°C) para los dos tratamientos del caso No.2

Fecha	Amplitud promedio FM	Amplitud promedio DM
Jun. 2017	12,5 ± 4,34	11,3 ± 3,89
Jul. 2017	10,4 ± 5,06	9,3 ± 4,5
Ago. 2017	13,3 ± 4,56	11,4 ± 4,28
Set. 2017	11,6 ± 5,44	9,8 ± 4,8
Oct. 2017	16,0 ± 4,76	13,4 ± 4,37
Nov. 2017	18,5 ± 4,25	15,8 ± 4,02
Dic. 2017	18,9 ± 4,43	16,2 ± 3,95
Ene. 2018	18,9 ± 4,41	16,2 ± 4,06
Feb. 2018	19,2 ± 3,76	16,6 ± 3,42

Mar. 2018	19,5 ± 4,07	16,71 ± 4,07
Promedio	15,9 ± 4,51	13,7 ± 4,14

(± desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

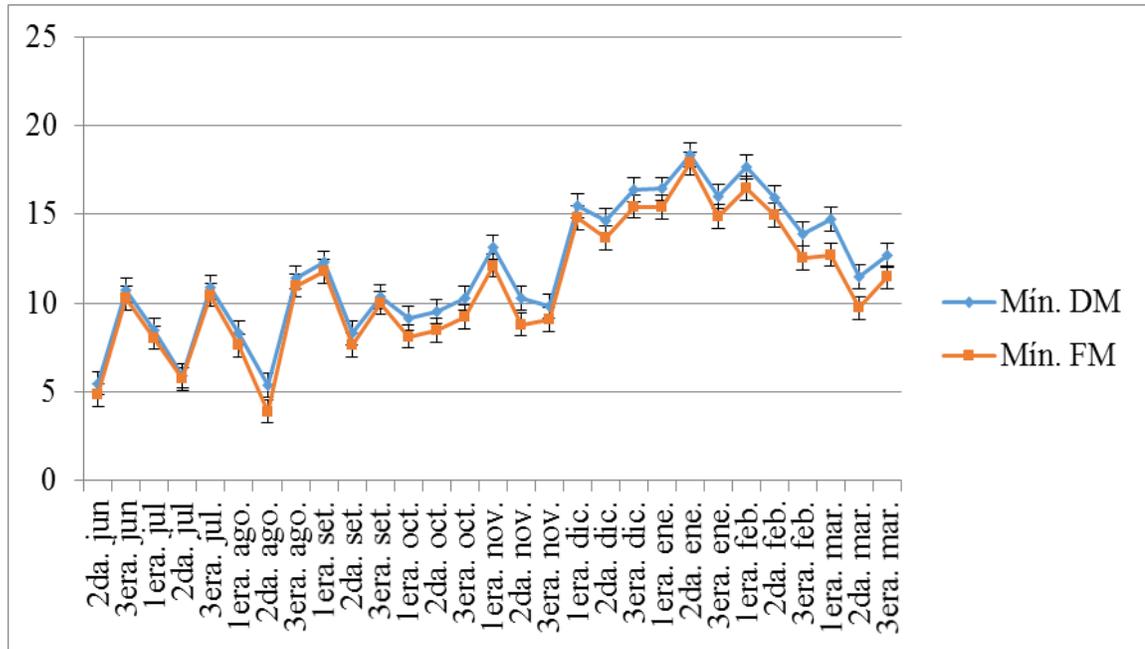
Si se tiene en cuenta solamente los meses de verano (diciembre, enero y febrero) la temperatura máxima promedio DM fue de $33,5 \pm 3,93^{\circ}\text{C}$ y para FM fue de $34,2 \pm 4,15^{\circ}\text{C}$, siendo mayor FM, esta diferencia es muy similar durante todo el período de estudio. A continuación, en la figura No.15 se observa esta tendencia.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.15. Distribución de las temperaturas máximas promedio ($^{\circ}\text{C}$) de cada tratamiento para el caso No.2

Las temperaturas mínimas son mayores DM respecto FM durante todo el período de estudio. A continuación, se observa el comportamiento indicado en la figura No.16.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.16. Distribución de las temperaturas mínimas promedio (°C) de cada tratamiento para el caso No.2

4.3.3 Caso No.3

La temperatura promedio para todos los meses medidos es de $18,8 \pm 3,20^{\circ}\text{C}$ y $19,4 \pm 3,20^{\circ}\text{C}$ para DM y FM respectivamente. Las máximas y mínimas promedio fueron de $25,2 \pm 3,38^{\circ}\text{C}$ y $12,8 \pm 3,38^{\circ}\text{C}$ para DM y $27,8 \pm 4,11^{\circ}\text{C}$ y $12,1 \pm 3,75^{\circ}\text{C}$ para FM, registrándose una diferencia entre DM contra FM de $2,7^{\circ}\text{C}$ para la temperatura máximas promedio y $0,7^{\circ}\text{C}$ para las mínimas promedio en todo el período de estudio.

Para el tratamiento DM la amplitud promedio fue de $12,3 \pm 3,64^{\circ}\text{C}$ y $15,7 \pm 4,07^{\circ}\text{C}$ para FM. A continuación, en los siguientes cuadros se detalla el comportamiento térmico por tratamiento para cada mes.

Cuadro No.11. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura máxima (°C) para los dos tratamientos del caso No.3

Mes	Máx. promedio FM	Máx. promedio DM
Jun. 2017	$21,1 \pm 4,71$	$19,6 \pm 4,73$
Jul. 2017	$19,5 \pm 4,79$	$18,1 \pm 4,39$
Ago. 2017	$21,4 \pm 3,43$	$19,3 \pm 3,19$

Set. 2017	22,8 ± 4,55	20,1 ± 4,19
Oct. 2017	25,7 ± 4,26	22,4 ± 3,67
Nov. 2017	30,1 ± 4,17	27,0 ± 4,33
Dic. 2017	34,5 ± 4,36	31,4 ± 4,00
Ene. 2018	35,8 ± 3,12	32,6 ± 3,13
Feb. 2018	35,3 ± 3,59	32,0 ± 3,41
Mar. 2018	32,1 ± 4,45	29,1 ± 4,08
Promedio	27,8 ± 4,14	25,2 ± 3,91

(Máx.: temperatura máxima, ± desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Cuadro No.12. Caracterización promedio mensual para la variable temperatura mínima (°C) para los dos tratamientos del caso No.3

Mes	Mín. promedio FM	Mín. promedio DM
Jun. 2017	8,4 ± 5,53	8,9 ± 5,28
Jul. 2017	8,6 ± 4,78	9,2 ± 4,42
Ago. 2017	8,8 ± 4,80	9,6 ± 4,25
Set. 2017	11,2 ± 3,25	11,4 ± 3,04
Oct. 2017	10,4 ± 3,01	11,2 ± 2,81
Nov. 2017	12,0 ± 2,87	12,6 ± 2,77
Dic. 2017	16,0 ± 3,23	16,5 ± 3,09
Ene. 2018	17,1 ± 3,03	17,9 ± 2,67
Feb. 2018	16,1 ± 3,26	17,1 ± 3,04
Mar. 2018	12,3 ± 3,83	14,0 ± 3,55
Promedio	12,1 ± 3,76	12,8 ± 3,49

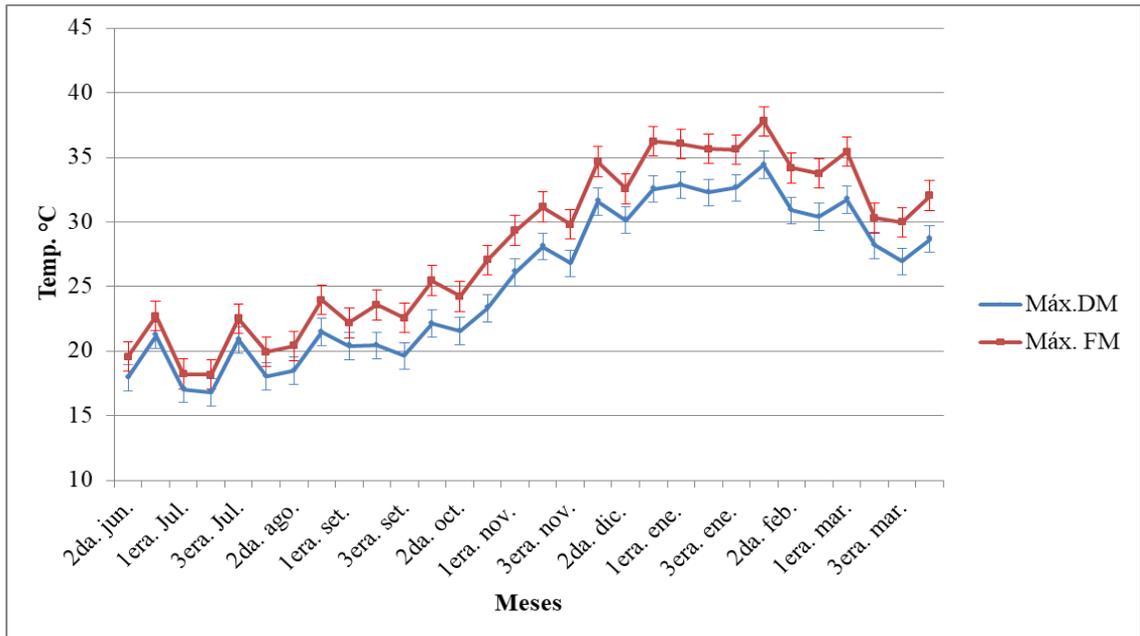
(Mín.: temperatura máxima, ± desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Cuadro No.13. Caracterización promedio mensual para la variable amplitud térmica (°C) para los dos tratamientos del caso No.3

Mes	Amplitud promedio FM	Amplitud promedio DM
Jun. 2017	12,7 ± 3,42	10,7 ± 3,15
Jul. 2017	10,9 ± 5,03	8,9 ± 4,14
Ago. 2017	12,6 ± 4,61	9,7 ± 4,13
Set. 2017	11,5 ± 4,39	8,7 ± 3,50
Oct. 2017	15,3 ± 5,05	11,2 ± 4,21
Nov. 2017	18,1 ± 4,43	14,4 ± 4,45
Dic. 2017	18,5 ± 3,77	14,9 ± 3,35
Ene. 2018	18,7 ± 3,58	14,7 ± 3,44
Feb. 2018	19,2 ± 3,11	14,9 ± 2,81
Mar. 2018	19,7 ± 3,34	15,1 ± 3,26
Promedio	15,7 ± 4,07	12,3 ± 3,64

(± desvío estándar, DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

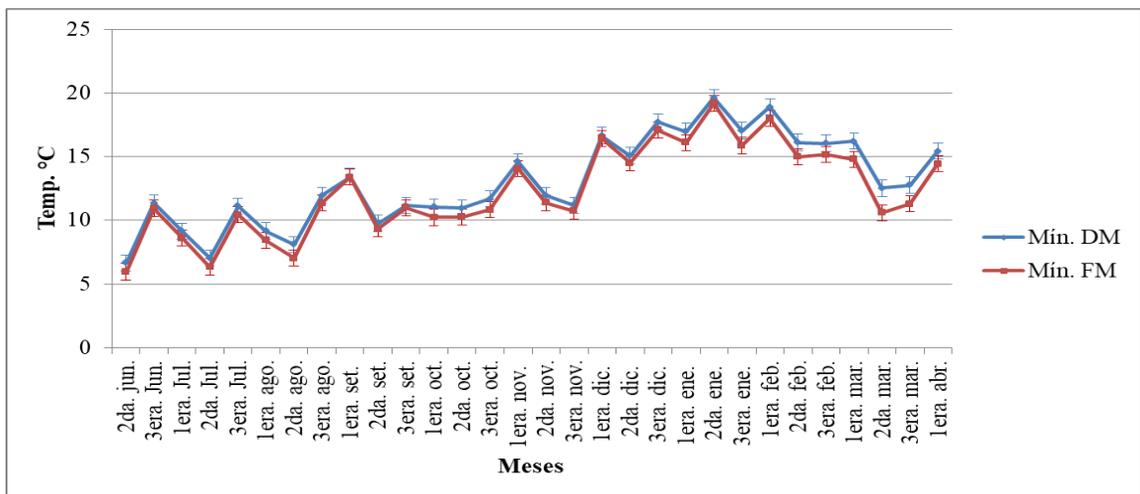
De tener en cuenta solamente los meses de verano (diciembre, enero y febrero) la temperatura máxima promedio DM fue de $32,0 \pm 3,51^{\circ}\text{C}$ y para FM fue de $35,2 \pm 3,96^{\circ}\text{C}$ siendo mayor para FM, esta diferencia fue muy similar durante todo el período de estudio observándose esta tendencia en la figura No.17. Por otro lado, las diferencias marcadas son superiores respecto a los casos No.1 y No.2.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.17. Distribución de las temperaturas máximas (°C) promedio de cada tratamiento para el caso No.3

A su vez las temperaturas mínimas son mayores DM respecto FM observándose en mayor medida en los meses de verano, como se puede observar en la figura No.18.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.18. Distribución de las temperaturas mínimas (°C) promedio de cada tratamiento para el caso No.3

4.4 CARACTERIZACIÓN CON ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS

La caracterización a través de índices biometeorológicos se realizó con los registros por hora en el período abarcado entre diciembre 2017 y marzo 2018.

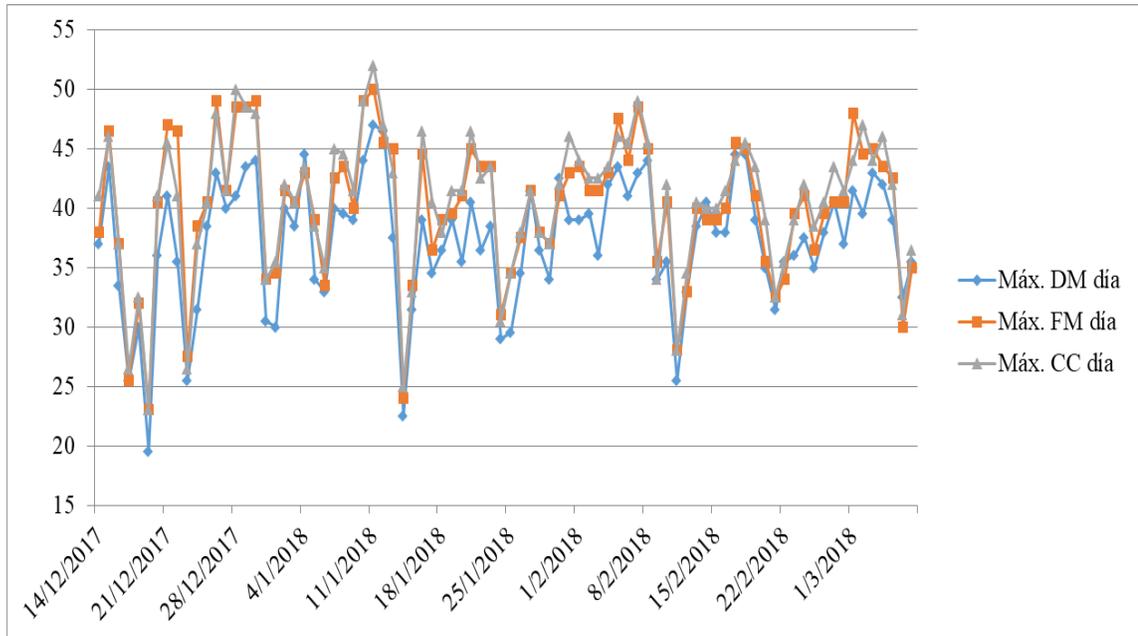
4.4.1 Esferas de Vernon

4.4.1.1 Caso No.1

Para este caso las temperaturas medias alcanzadas en todo el período de estudio fueron de 25,2 °C y 26,5°C para DM y FM respectivamente. Solamente un 0,5% de los registros totales presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Del total de días medidos un 11% registró diferencias entre tratamientos en algún momento del día con un promedio de 1,1 hs. con registro de diferencias.

Se colocó esfera de Vernon en el centro del corral (CC) observándose en el total de los registros una temperatura media de 26,4°C. Al comparar este con el tratamiento DM se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en un 0,74% del total de los registros. Por último, se comparó CC respecto FM arrojando diferencias significativas ($p < 0,05$) en un 0,50% de los registros para la temperatura media.

Por otro lado para DM la máxima promedio fue de 37,3°C la mínima promedio fue de 16,0°C siendo la amplitud promedio 21,3°C, mientras que para FM la máxima promedio fue de 40,0°C, la mínima promedio 15,7°C y la amplitud promedio 26,4°C y para CC la máxima promedio fue de 40,5°C, la mínima promedio fue 14,8°C y la amplitud promedio de 25,8°C.



(DM, FM y CC, dentro de monte, fuera de monte y centro de corral respectivamente)

Figura No.19 Temperatura máxima (°C) promedio en esfera de Vernon por tratamiento para caso No.1

Para analizar la frecuencia de cada horario donde se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$), se consideró un rango que va desde las 07:00 hs. a las 20:59 hs. Dentro de ese rango, el horario con mayor incidencia en la comparación DM contra FM, fue entre las 11:00 hs. y 13:59 hs, como se observa en el cuadro No.14.

Cuadro No.14. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos DM y FM para el caso No.1

Mes	Frecuencias según franja horaria			
	7:00 a 10:59	11:00 a 13:59	14:00 a 16:59	17:00 a 20:59
Diciembre	0	0	1	2
Enero	1	2	1	0
Febrero	0	1	0	1
Marzo	0	1	0	0
Total	1	4	2	3
%	10	40	20	30

A diferencia del resto de los casos, el caso No.1 tiene 3 tratamientos para comparar entre sí, por lo tanto, a continuación, se muestran los cuadros No.15 y No.16 donde se comparan los tratamientos DM y FM respecto a CC.

Cuadro No.15. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos DM y CC para el caso No.1

Mes	Frecuencias según franja horaria			
	07:00 a 10:59	11:00 a 13:59	14:00 a 16:59	17:00 a 20:59
Diciembre	0	0	2	0
Enero	2	2	3	0
Febrero	2	1	0	0
Marzo	2	1	0	0
Total	6	4	5	0
%	40	27	33	0

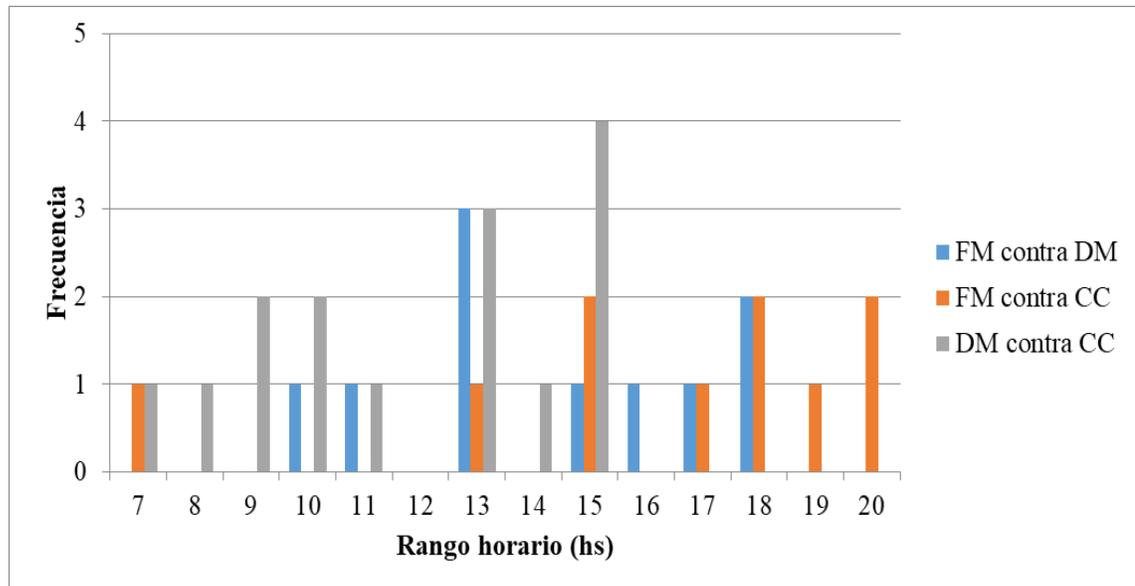
Esta comparación arrojó un 0,74% de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos del total de datos estudiados, mientras que de todos los días medidos un 16,5% registró al menos en algún momento del día una diferencia y dentro de estos últimos al menos se detectó 1,07 hs. con diferencias. Dichas diferencias se dan con más frecuencia en el horario de 07:00 hs. a 10:59 hs.

Cuadro No.16. Frecuencia de datos con diferencia significativa por rango horario entre los tratamientos FM y CC para el caso No.1

Mes	Frecuencias según franja horaria			
	7:00 a 10:59	11:00 a 13:59	14:00 a 16:59	17:00 a 20:59
Diciembre	0	0	0	3
Enero	1	0	1	1
Febrero	0	0	0	2
Marzo	0	1	1	0
Total	1	1	2	6
%	10	10	20	60

Esta última comparación marcó un 0,50% de diferencias significativas ($p < 0,05$) del total de datos medidos, mientras que un 11,9% de los días tuvo alguna diferencia al menos durante 1 hora. Como se ve en el cuadro anterior, las diferencias se dan con mayor frecuencia en el rango de las 17:00 hs. a 20:59 hs.

A continuación, se muestra en la figura No.20 la comparativa de la frecuencia de datos con diferencia significativa para los tres tratamientos dentro del caso No.1.



(DM, FM y CC, dentro de monte, fuera de monte y centro de corral respectivamente)

Figura No.20. Frecuencia que representa cada horario en el rango de 07:00 hs. a 20:00 hs. para los tres tratamientos dentro del caso No.1

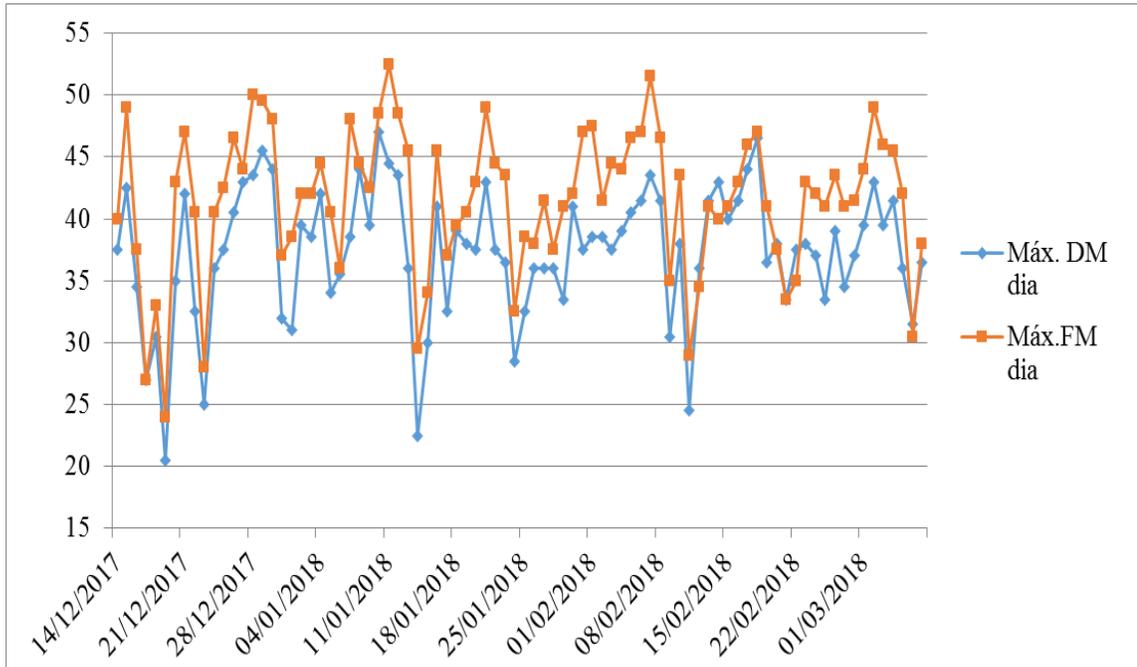
4.4.1.2 Caso No.2

Para este caso las temperaturas promedio alcanzadas en todo el período de estudio fueron de 24,5°C y 26,4°C para DM y FM respectivamente. Por otro lado, para DM la máxima promedio fue de 37,4°C la mínima promedio fue de 15,7°C siendo la amplitud promedio 21,7°C, mientras que para FM la máxima promedio fue de 41,5°C, la mínima promedio 14,4°C y la amplitud promedio de 27,1°C.

Del total de días evaluados, un 62% registro al menos en algún momento del día diferencias significativas entre tratamientos, siendo el promedio 1,7 hs. con diferencias entre tratamientos por día.

Un 4,3% del total de los registros presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, por otro lado, aunque las diferencias no sean significativas existió del total de los datos un 47% con diferencias mayores a un grado y 42% con diferencia mayores a dos grados entre DM y FM.

Dentro del 4,3% las temperaturas medias se situaron en 30,2°C y 38,1°C para DM y FM respectivamente, lo que marca unas diferencias de 7,9°C y una máxima diferencia absoluta de 15,5°C superior en FM. A continuación, en la figura No.21 se pueden apreciar las diferencias marcadas.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.21. Temperatura máxima (°C) promedio en esfera de Vernon por tratamiento para el caso No.2

El rango horario en cual existieron diferencias significativas entre tratamientos va desde las 07:00 hs. a las 18:00 hs., siendo entre las 7:00 hs. a las 12:59 hs., las horas con mayores registros de diferencias significativas, representado el 63% del rango horario, como se puede observar en el cuadro No.17.

Cuadro No.17. Frecuencia de datos con diferencia significativa y porcentaje de cada franja horaria por mes para el caso No.2

Mes	Frecuencia según franja horaria			
	7:00 a 9:59	10:00 a 12:59	13:00 a 15:59	16:00 a 18:59
Diciembre	6	3	3	4
Enero	10	10	6	3
Febrero	6	10	8	5

Marzo	5	5	1	2
Total	27	28	18	14
%	31	32	21	16

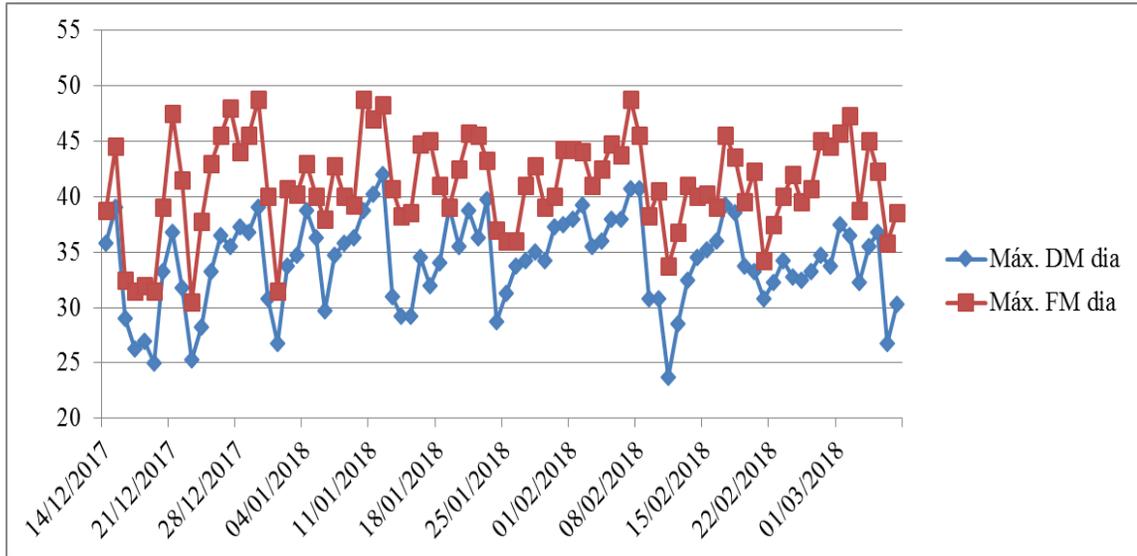
4.4.1.3 Caso No.3

Las temperaturas promedio registradas fueron de 25,1°C y 27,2°C para DM y FM respectivamente y una máxima diferencia absoluta dentro de los registros con diferencia significativa ($p < 0,05$) de 15,8°C. Por otro lado, del total de los registros para DM la máxima promedio fue de 34,1°C la mínima promedio fue de 17,3°C siendo la amplitud promedio 16,9°C, mientras que para FM la máxima promedio fue de 41,1°C, la mínima promedio 15,6 °C y la amplitud promedio de 25,5°C.

Un 90% de los días en estudio presentaron al menos 1 hora con diferencias significativas entre FM y DM, registrándose en promedio 3,6 hs. por día con estas diferencias.

De las temperaturas registradas cada una hora en todo el período, existe un 13% con diferencia significativa ($p < 0,05$) entre DM y FM, por otro lado, aunque las diferencias no sean significativas un 47% y 45% del total de registros presentaron diferencias de más de 1°C y 2°C respectivamente entre los tratamientos.

Dentro del 13% de los registros con diferencias significativas ($p < 0,05$), se observó una temperatura media de 28,2°C y 36,4°C para DM y FM respectivamente, arrojando una diferencia entre los promedios de 8,2°C dentro de un rango de entre 0,5°C y 15,8°C. En la figura No.22 se puede observar estas diferencias las temperaturas máximas promedio.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.22. Temperatura máxima (°C) promedio en esfera de Vernon por tratamiento para caso No.3

El rango horario en el cual hubo diferencias fue desde las 07:00 hs. a las 20:00 hs., siendo entre las 08:00 hs. y las 10:00 hs. las horas con más significancia representando el 43% del rango horario.

Cuadro No.18. Frecuencia y porcentaje de cada franja horaria por mes para el caso No.3

Mes	Frecuencias según franja horaria			
	7:00 a 10:59	11:00 a 13:59	14:00 a 16:59	17:00 a 20:59
Diciembre	24	13	15	4
Enero	34	24	18	4
Febrero	42	20	22	8
Marzo	19	16	11	0
Total	119	73	66	16
%	43	27	24	6

4.4.1.4 Comparativa de la frecuencia entre los 3 casos.

En la figura No.23 se muestra la comparativa entre los tres casos para la frecuencia de datos con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para la temperatura en las esferas de Vernon.

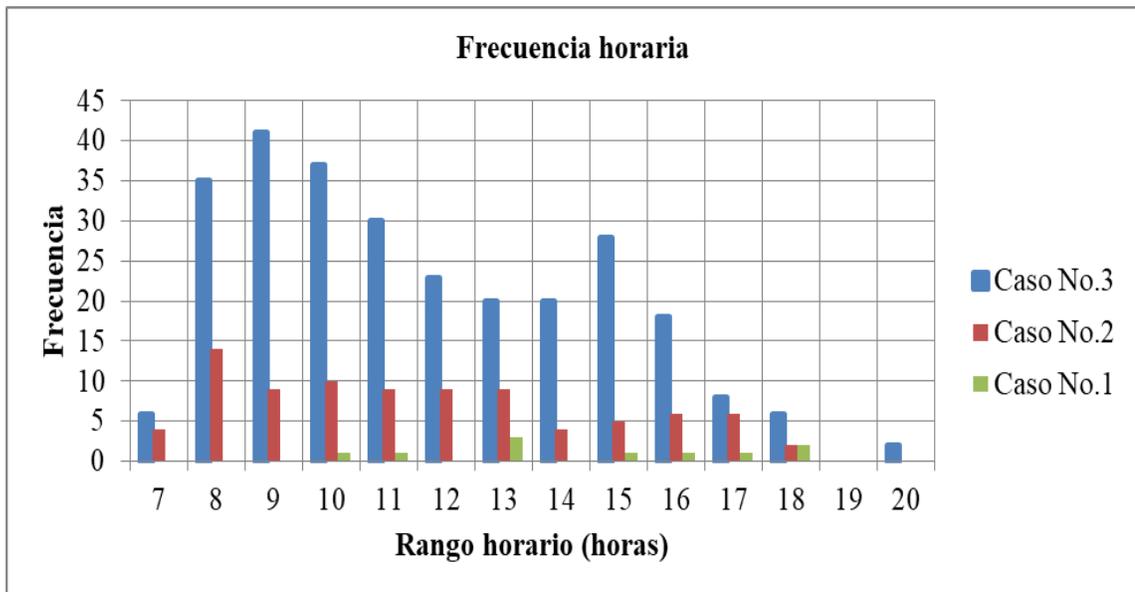


Figura No.23. Frecuencia que representa cada hora con diferencias significativas para los tres casos en estudio dentro del rango de 07:00 a 20:00 hs

4.4.2 Índice de temperatura y humedad

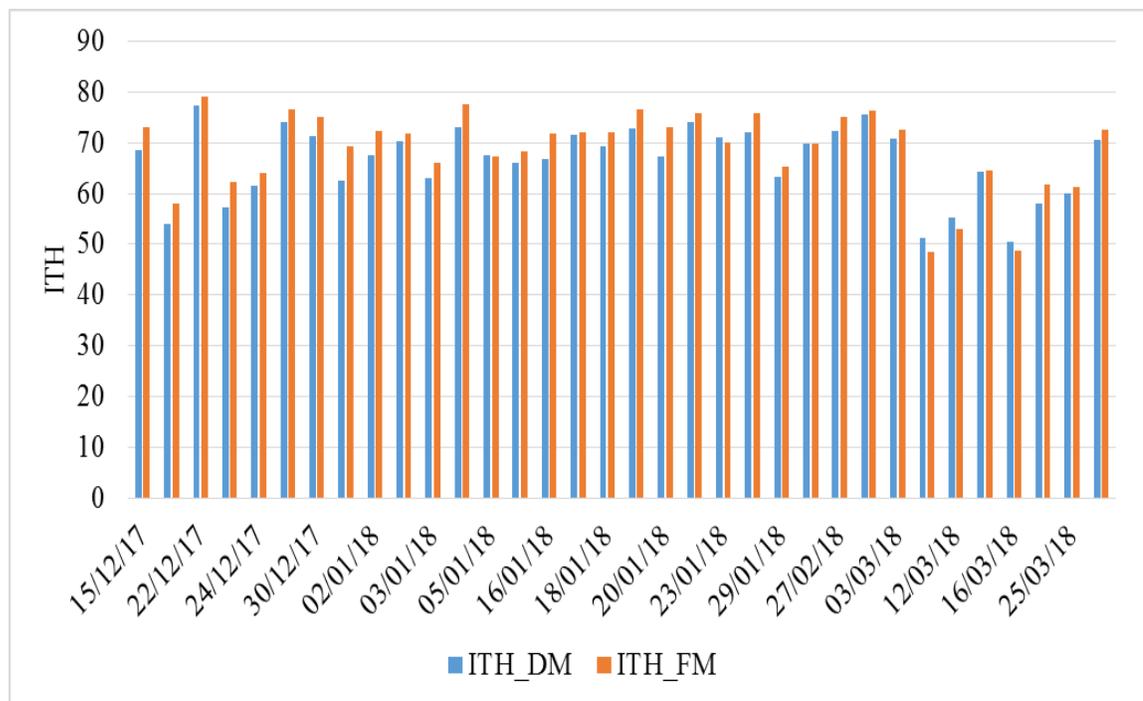
El estudio de este índice se efectuó en el caso No.1 durante el período comprendido entre diciembre 2017 y marzo 2018, comparándose DM contra FM.

Un 23,7% de los días presentó al menos en algún momento una diferencia significativa ($p < 0,05$), la hora más temprana en que se registraron estas diferencias fue a las 7hs., la más tardía a las 19 hs. y en promedio a las 10hs.

Del total de los registros solamente el 1,2% (34 horas) dio significativamente diferente ($p < 0,05$), entre tratamientos. Dentro de este 1,2% el ITH promedio para DM fue de 66,5 y para FM fue de 68,7. Los máximos se situaron en 77,2 DM y 79 FM, los mínimos en 50,5 DM y 48,4 FM. El 48% de estas diferencias significativas ($p < 0,05$), se da en el mes de enero, para diciembre y febrero representan un 21,2% cada uno. Los rangos horarios con más incidencia son de 07:00 hs. a 11:00 hs. con un 73,3%. La cantidad de horas por cada umbral siempre fue mayor FM respecto DM, pudiendo observar este comportamiento en el siguiente cuadro.

Cuadro No.19. Cantidad de horas acumuladas de ITH y tratamiento, para los datos con diferencias significativas

Horas para el índice de ITH y tratamiento		
	DM	FM
≥ 70	14	18
≥ 72	8	15
≥ 74	4	9



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.24. Registro de los valores del ITH significativos por día y tratamiento

Por otro lado, un 16,9% y 6,8% del total de datos registran una diferencia entre tratamientos mayor a 1 y 2 en la escala del índice respectivamente.

Discriminando el ITH en horas por umbral, se observó que del total de horas medidas, un 34,3% superó el umbral crítico de 72 DM y un 34,8% FM. Si se considera el total de horas acumuladas por día (días en los que se registran eventos >72) en DM se registró un promedio de 9,7 hs. y FM 8,4 hs. Se observó que a medida aumenta el umbral hasta 78, aumenta la diferencia entre tratamientos, siendo mayor la cantidad

promedio de horas acumuladas que superan el crítico en DM respecto FM. Con un índice de 82 se mantiene la diferencia, pero es menor. Este comportamiento se puede apreciar en el cuadro No.21 y figura No.25.

Cuadro No.20. Porcentaje y diferencias de cada categoría por DM y FM en el total de los registros

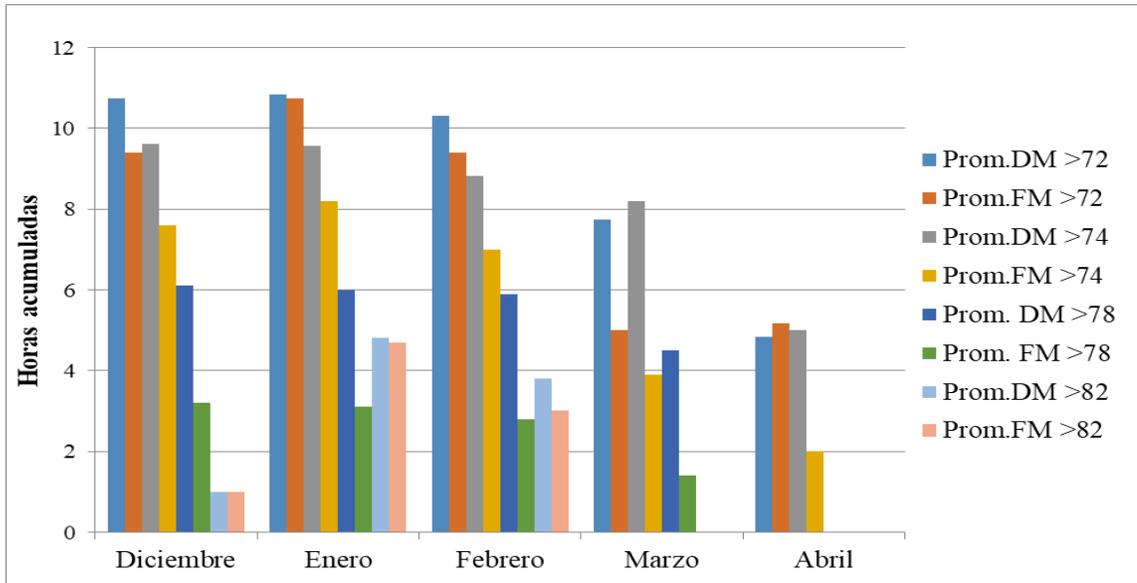
	Categorías ITH							
	DM>72	FM>72	DM>74	FM>74	DM>78	FM>78	DM>82	FM>82
Total de horas	2735	2735	2735	2735	2735	2735	2735	2735
Horas	938	952	710	719	279	276	35	27
%	34,3	34,8	26,0	26,3	10,2	10,1	1,3	1,0
Promedio FM - DM	0,5		0,3		-0,1		-0,3	

(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Cuadro No.21. Cantidad de horas acumuladas en promedio, de todos los días donde se registraron ITH mayores o iguales a los umbrales de 72, 74,78 y 82 en cada tratamiento

Umbrales	Horas acumuladas promedio		
	DM	FM	Dif. FM-DM
≥ 72	9,7	8,4	-1,3
≥ 74	8,9	6,3	-2,6
≥ 78	5,7	2,4	-3,3
≥ 82	3,9	3,4	-0,5

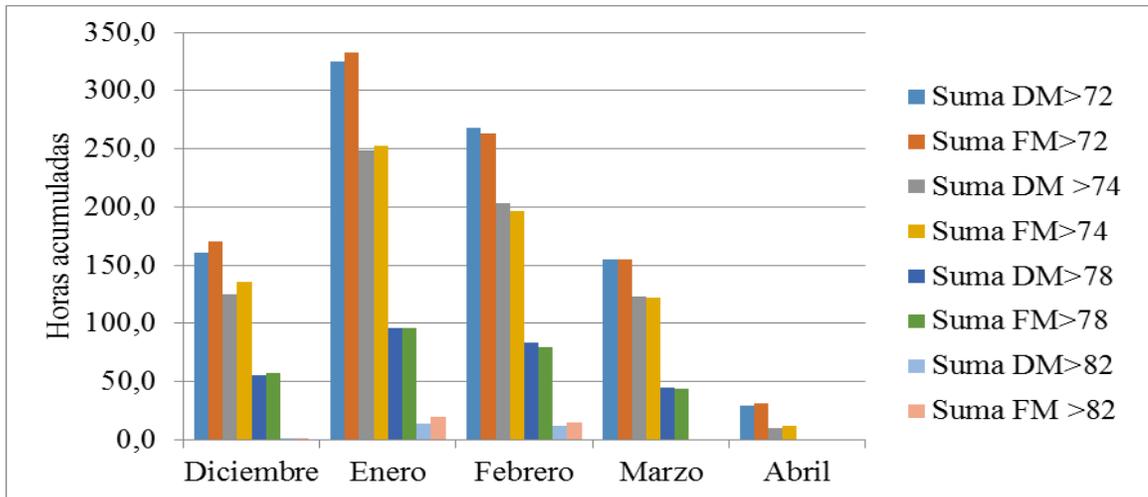
(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.25. Cantidad de horas acumuladas en promedio, de todos los días donde se registraron ITH mayores o iguales a los umbrales de 72, 74,78 y 82

Sin embargo, como se puede ver en la figura No.26, cuando se considera la suma de horas acumuladas >72 por mes, las diferencias entre tratamientos se diluyen, incluso suman más FM respecto DM.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

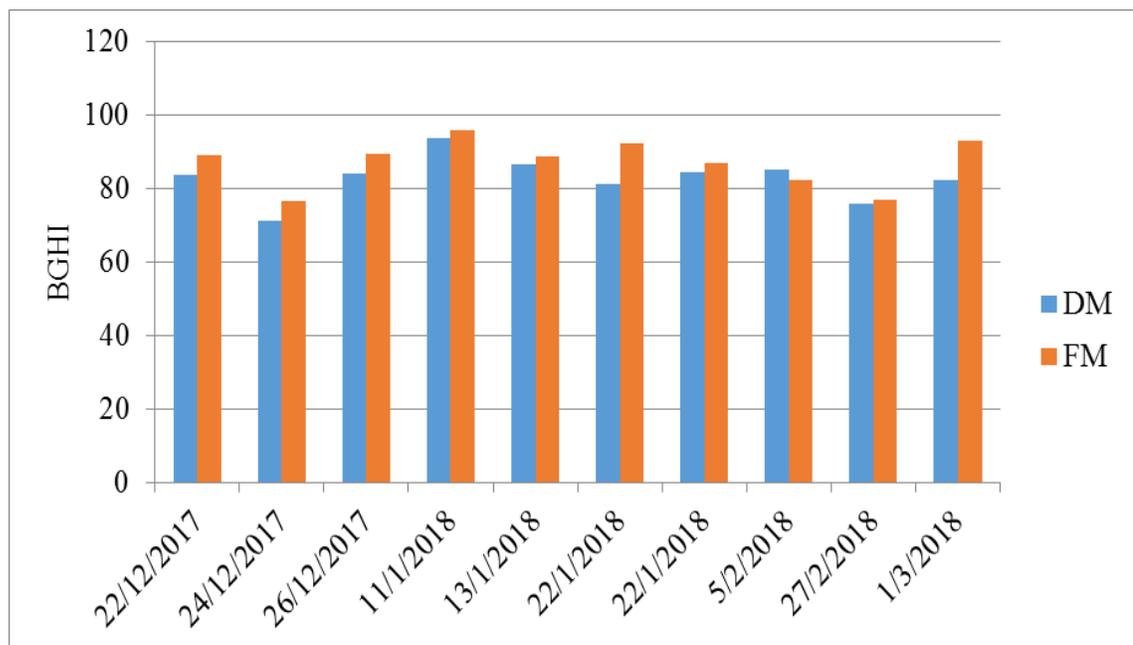
Figura No.26. Suma de horas acumuladas por mes y categoría de ITH

4.4.3 Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI)

El estudio de este índice se estimó para el caso No.1, en el período comprendido entre diciembre 2017 y marzo 2018. Del total de los datos evaluados solamente un 0,5% dieron significativamente diferentes ($p < 0,05$). Sin embargo, un 43% y un 31% del total registran una diferencia mayor a 1 y 2 en la escala del índice respectivamente siendo para DM el valor promedio de 72,1 y para FM 73,4.

Por otro lado, un 11,8% de los días presentó al menos en alguna hora diferencias significativas ($p < 0,05$).

Todos los registros de BGHI que dieron significativamente diferentes ($p < 0,05$) fueron por encima del umbral crítico de 72. De los 10 registros 7 fueron por encima de 82, siendo en promedio 82,5 y 87,6 para DM y FM respectivamente existiendo una diferencia de 5,1 con un máximo de 11,0 y un mínimo de 1,1. Los mínimos se situaron en 71,3 y 76,5 para DM y FM. Los máximos fueron 93,9 DM y 95,7 FM. En la figura No.27 se puede apreciar las diferencias entre tratamientos para los datos con diferencias significativas.



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.27. Registro de los valores de BGHI para aquellos días con diferencias significativas por tratamiento

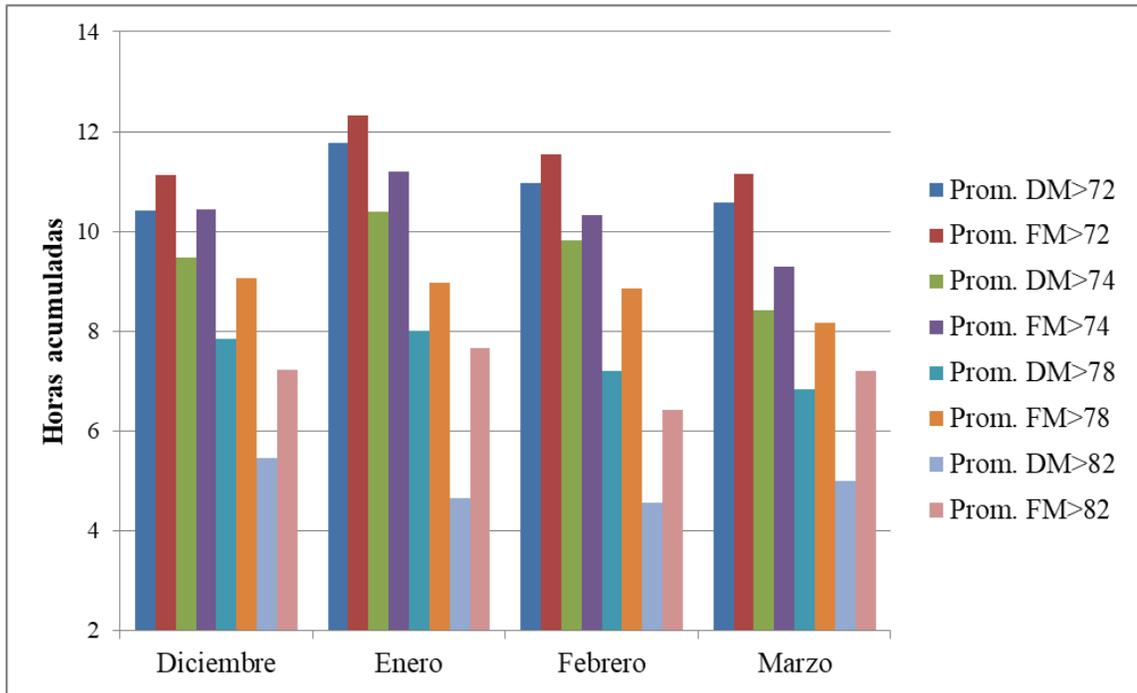
El horario más temprano en el que se registró una diferencia fue a las 10hs., el más tardío 18hs. y en promedio a las 14hs.

Discriminando el BGHI en horas por umbral, se observó que del total de horas medidas, un 45,2% superó el umbral crítico de 72 DM y un 48,2% FM. Por otro lado también para el total de datos pero por encima del umbral de 72 hay 11,1 hs. acumuladas para DM y 11,7 hs. para FM, en promedio. A medida que aumenta el umbral aumenta la diferencia entre tratamiento, siendo siempre mayor la cantidad de horas para FM. Este comportamiento se puede observar en el cuadro No.22 y figura No.28.

Cuadro No.22. Cantidad de horas en que existen diferencias significativas entre tratamientos en el Índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI) estimados para los diferentes tratamientos

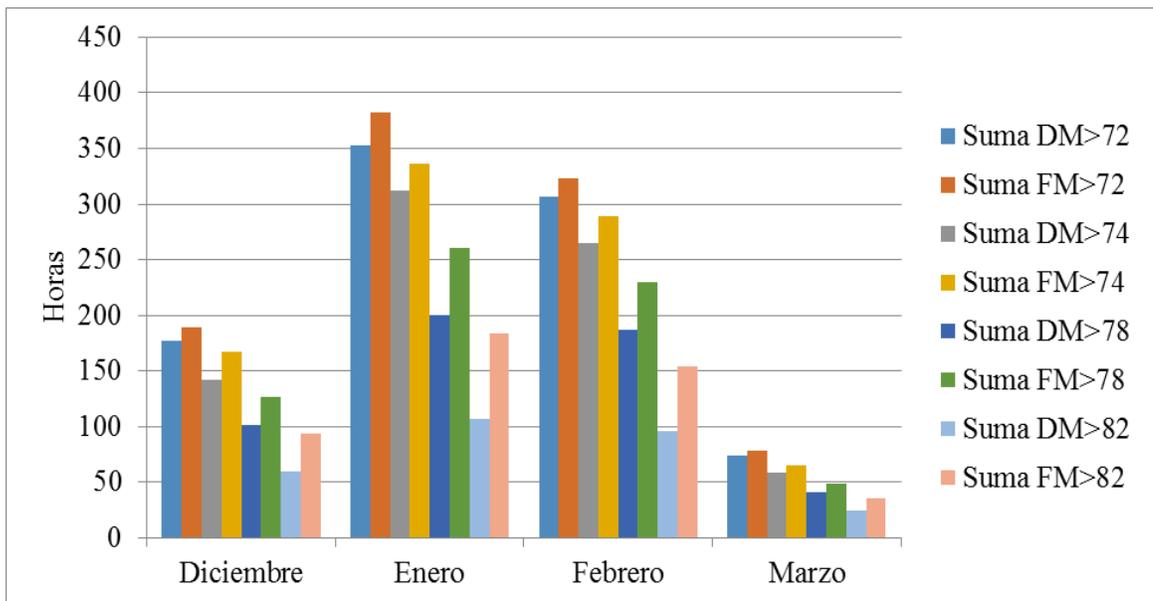
	Categorías							
	DM>72	FM>72	DM>74	FM>74	DM>78	FM>78	DM>82	FM>82
Total de horas	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Horas	911	972	778	857	530	666	288	468
%	45,2	48,2	38,6	42,5	26,3	33,0	14,3	23,2
Prom. FM-DM	2,7		3,0		3,3		3,7	

(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.28. Cantidad promedio de horas acumuladas por mes y por categoría de BGHI



(DM y FM, dentro y fuera de monte respectivamente)

Figura No.29. Suma de horas acumuladas por mes y categoría de BGHI

5. DISCUSIÓN

Al igual que lo expuesto por Gómez (2004), Pezzopane et al. (2014) para los 3 casos de estudio los árboles atenuaron la incidencia del PAR. El valor de intercepción más alto se dió para el caso No.3 llegando al 92%, explicado esto por la mayor edad y densidad del monte (1207 árb/ha), considerándose un dosel cerrado.

Para la temperatura del aire en abrigo meteorológico al comparar los promedios entre DM y FM para los 3 casos no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), esto es consistente con los estudios realizados por Rovira y Velazco (2008), Baliscei et al. (2013). El uso de las cortinas cambia el balance de radiación recibido por el animal, pero no tiene efecto en la temperatura del aire en abrigo meteorológico.

En el estudio realizado por Pezzopane et al. los valores más altos de temperatura del aire máxima se obtuvieron en el punto medio entre las cortinas con un valor de 29,5°C seguido de las mediciones realizados a cielo abierto con una máxima de 28,0°C y el punto más cercano a la cortina obtuvo el menor valor siendo de 27,5°C. Los autores atribuyen estos resultados a las diferencias tanto en la radiación como en la velocidad del viento provocada por la cortina siendo más alta la humedad, resultando en valores mayores de temperatura máxima en el punto medio entre las cortinas.

Resultados similares fueron obtenidos para el caso No.1 si se tiene en cuenta las temperaturas máxima promedio en abrigo meteorológico en los meses de verano (diciembre, enero y febrero), mostrando valores máximos promedio de 32,4 \pm 1,66, 30,2 \pm 1,40 y 30,0 \pm 1,49°C en CC, DM y FM respectivamente. Estos resultados permiten inferir el efecto de la disminución de la convección y turbulencia del aire sobre el proceso de intercambio gaseoso y de energía en el aire por parte de la cortina, resultando en una menor disipación del calor y mayores valores de temperatura máxima en el aire para CC.

El arreglo de forma rectangular que tiene la cortina del caso No.1 a pesar de que es un monte con pocas filas (tres filas de *Eucalyptus dunnii* más una fila de *Casuarina cunningghamiana*), joven y con problemas de implantación, generó estos efectos en las temperaturas máximas del aire en abrigo meteorológico en CC. Es de esperar que en su desarrollo se acentúen estos resultados pudiendo ser beneficioso para indicadores como el estrés por frío durante el invierno pero se debería asegurar mejor ventilación para atenuar los efectos del estrés por calor durante el verano.

Por otro lado si se toman en cuenta la temperatura máxima promedio en abrigo meteorológico para todo el período de estudio se observan resultados similares a los expuestos por Munka et al. (2017). En términos descriptivos con valores mayores FM en el entorno de 1,3 y 2,7°C en el caso de la forestación de 933 árboles/ha (caso No.2) y 1206 árboles/ha (caso No.3) respectivamente. Vale destacar que los meses de verano presentaron las diferencias más altas en los valores de temperatura máxima del aire.

La amplitud térmica promedio en abrigo meteorológico para todo el período de estudio en el monte con densidad de 1207 árb/ha fue $15,7 \pm 4,1^{\circ}\text{C}$ y $12,3 \pm 3,6^{\circ}\text{C}$ para el monte de 933 árb/ha $15,87 \pm 4,51^{\circ}\text{C}$ y $13,7 \pm 4,14^{\circ}\text{C}$ mientras en el dosel con 920 árb/ha fue $12,0 \pm 3,47$ y $12,1 \pm 3,81$ para FM y DM respectivamente. Si se tiene en cuenta solamente los meses estivales (diciembre, enero, febrero) estas diferencias en las amplitudes son aún mayores, siendo para el monte de densidad 1207 árb/ha $19,2 \pm 3,5$ y $14,8 \pm 3,2$ para FM y DM respectivamente. Estos resultados son consistentes con Gómez (2004), el cual manifiesta que bajo la cubierta forestal los máximos anuales son más bajos y las mínimas más altas siendo de esta forma menor la amplitud térmica.

Para las temperaturas promedio en esfera de Vernon al igual que, Rovira y Velazco (2008), Baliscei et al. (2013), Munka et al. (2017), se encontraron diferencias significativas entre DM y FM siendo estas mayores en el monte de densidad 1207 árb/ha correspondiente al caso No.3, arrojando un 13% de las horas con diferencias significativas entre tratamientos, seguido por el caso No.2 con 4,3% del total de los registros con diferencias significativas y el caso No.1 con solamente 0,5%. Esta diferencia se puede deber no solamente a la edad y tamaño del monte sino al marco de plantación, teniendo el caso No.1 tres filas de *Eucalyptus dunnii* más una fila de *Casuarina cunninghamiana* en comparación con el caso No.2 que tiene nueve filas de *Eucalyptus dunnii* más tres filas de *Casuarina cunninghamiana*.

Por otro lado el rango horario en el que se encuentran diferencias significativas para el caso No.1 fue desde las 7:00 hs. a las 20:00 hs. siendo mayor que para el caso No.2 que va desde las 7:00 hs. a las 18:00 hs. Para el caso No.3 dentro del 13% de datos significativos existe una diferencia de $8,2^{\circ}\text{C}$ mayor para FM respecto a DM.

Por otro lado para las temperaturas máximas promedio de las esferas de Vernon en todo el período de estudio, el caso No.3 arroja una diferencia entre DM y FM de $7,0^{\circ}\text{C}$ para el caso No.2 de densidad 933 árb/ha la diferencia fue de $4,2^{\circ}\text{C}$ mientras que para el caso No.1 con 920 árb/ha fue de $2,8^{\circ}\text{C}$, superior para FM en todos los casos. Estos resultados se dan por la mayor reducción en radiación directa ya que las esferas de Vernon detectan las diferencias en temperatura asociadas a la radiación. Pudiendo nuevamente deberse estas diferencias no solamente al tamaño de las cortinas sino al arreglo de las mismas.

En sintonía con lo expuesto por Zimbelman et al. (2009) en Arizona, Estados Unidos, donde el ITH mínimo para que se registre una merma en la producción de leche es de 65, los resultados del presente trabajo arrojaron un ITH promedio ($p < 0,05$) de 68,7 para FM, donde los animales estarían más expuestos al estrés y un ITH de 66,5 para DM. Ambos umbrales se encuentran en los niveles de riesgo leve de estrés por calor según lo indicado por estos autores los cuales registraron pérdidas en el rendimiento de leche de 2.2 kg/día, sugiriendo que el enfriamiento de las vacas lecheras debe iniciarse cuando el ITH mínimo sea 65 o superior.

Además, según Zimbelman et al. (2009) las pérdidas de producción son significativas a partir de las 17 hs. de exposición a un ITH promedio de 68, en este trabajo se tomaron en cuenta el total de horas registradas a modo de caracterización y se cuantificó que dichas horas por día para un índice mayor a 72 (umbral crítico considerado en este trabajo tomando como referencia al Livestock Weather Safety Index, Livestock Conservation Institute) son de 9,7 hs. para DM y 8,4 hs. FM en promedio. Si bien la cantidad de horas acumuladas son menores a 17, el índice crítico promedio es mayor a 65.

El bajo porcentaje de diferencias significativas entre tratamientos y la cantidad de horas acumuladas bajo altos niveles de ITH, mayores en DM respecto a FM puede deberse a pocas o nulas diferencias significativas en los niveles de temperatura y humedad ambiente entre tratamientos.

Al igual que Baliscei et al. (2013) el BGHI fue menor DM respecto a FM. Para el caso No.1, al considerar solamente los datos con diferencias significativas ($p < 0,05$) los promedios fueron de 82,5 y 87,6 para DM y FM respectivamente. Tomando todos los datos evaluados el BGHI para DM fue de 72,1 y 73,4 para FM. Las diferencias encontradas son menores a las de los autores citados, esto se puede deber a que el monte es joven (3 años y 920 árb/ha) incidiendo de menor forma sobre la disminución de PAR y confort térmico reflejándose sobre el BGHI.

Dado que todas las diferencias significativas ($p < 0,05$) para el BGHI entre tratamientos son por encima de 72 y se acentúan cada vez más a medida que se aumenta de un umbral de 72 hasta 82, se concluye lo mismo que Buffington et al. (1981), Baliscei et al. (2013), este índice es más preciso para determinar el confort térmico que el ITH cuando los animales están expuestos a elevados niveles de radiación.

6. CONCLUSIONES

Además de los parámetros meramente productivos del monte, los cuales incrementan el patrimonio del productor, la introducción de la forestación modifica el microclima mejorando las condiciones para la producción pecuaria por la atenuación de los valores extremos de factores meteorológicos e indicadores de estrés animal. Esta disminución fue mayor para el monte de densidad más alta (1207 árb/ha) en comparación con los otros dos montes que tienen una densidad que ronda los 930 árb/ha, viéndose reflejada en la temperatura del aire en abrigo meteorológico.

Al comparar ambos tratamientos (dentro de monte contra fuera de monte) para el monte de densidad de 1207 árb/ha, bajo dosel se dan condiciones más favorables de microclima que a cielo abierto ya que se determinó un valor más alto de intercepción de la radiación solar incidente (PAR), una temperatura del aire máxima promedio en abrigo meteorológico 2,7°C menor y una amplitud térmica promedio en abrigo meteorológico 4,4°C menor.

Los registros de temperatura en esferas de Vernon arrojaron un promedio 8,2°C menor de los datos con diferencia significativa dentro del monte respecto a fuera del monte para el caso de 1207 árb/ha.

A pesar que los indicadores de estrés térmico (ITH y BGHI) se midieron en uno de los montes (el de menor edad y densidad) estos registraron diferencias entre los tratamientos dentro de monte y fuera de monte.

Para el caso del ITH, las diferencias significativas que se encontraron entre tratamientos arrojaron valores promedio de ITH 2,24 menor bajo dosel y valores de ITH máximos 1,8 menor bajo dosel. Casi el 50% de las diferencias se registraron en el mes de enero, con mayor frecuencia en horas de la mañana.

Asimismo, todos los registros de BGHI que indicaron diferencias significativas entre tratamientos superaron el umbral crítico de 72 y en promedio la diferencia entre ambos fue de 5,1 menor para dentro del monte. En promedio las diferencias se registraron al mediodía y la cantidad de horas acumuladas por encima del crítico siempre fueron mayores para fuera del monte y cualquiera de los umbrales de BGHI.

7. RESUMEN

Una práctica ampliamente utilizada en Uruguay en predios de características familiares es la implantación de montes de abrigo y sombra. Esta práctica es señalada como una medida con efecto positivo para la adaptación y mitigación a la variabilidad y eventos climáticos extremos. El estudio del microclima bajo montes de abrigo y sombra y como afectan el entorno inmediatamente cercano al mismo, donde los animales habitan, es de sumo interés para buscar una alternativa que aporte al bienestar animal. Un claro ejemplo de lo anterior es la producción lechera, la cual necesita ser cada vez más flexible y resiliente a la variabilidad climática, para mantener una producción sostenible y hacer frente a la competitividad con otros rubros. El objetivo de este trabajo fue cuantificar y caracterizar las modificaciones que se dan en el ambiente bajo cortinas de abrigo y sombra desde el punto de vista microclimático y compararlo respecto al cielo abierto, pudiendo de esta manera estimar las condiciones que podrían afectar la productividad animal. El estudio se llevó adelante en tres predios en el departamento de Flores dos de los cuales son productores lecheros y un agrícola ganadero, entre junio del 2017 a marzo 2018. Se registró la temperatura del aire en abrigo meteorológico, temperatura en esfera de Vernon y radiación fotosintéticamente activa (PAR) tanto dentro de monte (DM) como fuera de monte (FM) para los tres predios mediante registradores automáticos de temperatura (HOBO-Pendant) para la temperatura en abrigo meteorológico y registradores automáticos de temperatura i-Buttons Dallas (Thermochron DS1921G-F5) para temperatura en esfera de Vernon. La temperatura del aire máxima, mínima, promedio y amplitud térmica en abrigo meteorológico se presentan con parámetros básicos descriptivos. Mientras que para el Índice de Temperatura y Humedad (ITH), índice de temperatura y humedad en globo negro (BGHI) y temperatura en esfera de Vernon además de tomar los parámetros básicos descriptivos se ajustó un modelo ARIMA (autoregressive integrated moving average) de tipo (1,0,0) (1,0,1) 24. El modelo fue del tipo multiplicativo, con un componente estacional, uno de autorregresión, un componente de integración y un componente de medias móviles considerando significancia al 5%. Para los 3 casos de estudio los árboles atenuaron la incidencia del PAR. El valor de intercepción más alto se dio para el caso No.3 llegando al 92%, explicado esto por la mayor edad y densidad del monte (1207 árb/ha). Para la temperatura del aire en abrigo meteorológico al comparar los promedios entre DM y FM para los 3 casos no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), por otro lado si se toman en cuenta la temperatura máxima promedio en abrigo meteorológico en términos descriptivos se pudo determinar valores mayores FM en el entorno de 1,3 y 2,7°C en el caso de la forestación de 933 árboles/ha y 1207 árboles/ha respectivamente. La amplitud térmica promedio en abrigo meteorológico para todo el período de estudio en el monte con densidad de 1207 árb/ha fue $15,7 \pm 4,1$ y $12,3 \pm 3,6$, para el monte de 933 árb/ha $15,87 \pm 4,51$ y $13,7 \pm 4,14$ mientras en el dosel con 920 árb/ha fue $12,0 \pm 3,47$ y $12,1 \pm 3,81$ para FM y DM respectivamente. Para las temperaturas promedio en esfera de Vernon se encontraron diferencias significativas

entre DM y FM siendo estas mayores en el monte de densidad 1207 árb/ha correspondiente al caso No.3, arrojando un 13% de las horas con diferencias significativas entre tratamientos exponiendo a su vez una diferencia entre DM y FM de 7,0°C. El BGHI fue menor DM respecto a FM. Para el caso No.1, al considerar solamente los datos con diferencias significativas ($p < 0,05$) los promedios fueron de 82,5 y 87,6 para DM y FM respectivamente. Para el ITH se observó un promedio ($p < 0,05$) de 68,7 para FM y 66,5 para DM. Además, para ambos índices y considerando los datos significativos ($p < 0,05$) la cantidad de horas acumuladas que superan los valores críticos, son mayores FM respecto DM. A partir de esto se concluye que la introducción de la forestación modifica el microclima de tal manera que mejora las condiciones para la producción lechera a través de la atenuación de los valores de factores climáticos comprendidos en los índices biometeorológicos.

Palabras clave: Microclima; Estrés térmico; ITH; BGHI; Cortina rompe viento.

8. SUMMARY

A practice widely used in Uruguay on the premises of family characteristics is the introduction of windbreaks. This practice is referred to as a measure with a positive effect for mitigation and adaptation to variability and extreme weather events for which the study of the microclimate under windbreaks and how they affect the environment immediately near the canopy, where the animals inhabit, it is of utmost interest to find an alternative way to contribute to animal welfare. A clear example is the milk production, which needs to be flexible and resilient to climate variability, in order to maintain a sustainable production and to address the competitiveness with other items. The goal of this work was to quantify and characterize the changes that occur in the environment under the windbreaks from the microclimatic point of view and compare it with the full sunlight, being able to estimate the conditions that could affect the animal productivity. The study was conducted in three farms in Flores, two of whom are dairy producers and an agricultural and livestock between June 2017 and March 2018. We recorded the air temperature, black globe temperature and photosynthetically active radiation (PAR), both under windbreaks (DM) as full sunlight (FM) for the three study cases of land by loggers, automatic temperature (HOBO-Pendant) for air temperature and registrars automatic temperature i-Buttons, Dallas (Thermochron DS1921G-F5) for black globe temperature. The maximum, minimum, average and temperature range to the air temperature are presented with basic descriptive parameters. While for the ITH, BGHI and black globe temperature in addition to taking the basic parameters of descriptive set a model ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) of type (1,0,0) (1,0,1) 24. The model was a multiplicative type with a seasonal component, one of autoregression, an integration component and a component of moving averages, considering significance at the 5%. For the 3 cases of study, the trees dampen the impact of the PAR. The value of intercept most high was in the case No.3 reaching 92%, explained by the increasing age and density of the windbreaks (1207 árb/ha). For the air temperature when comparing the averages between DM and FM for the 3 cases significant differences were not observed ($p < 0.05$), on the other hand if you take into account the average maximum temperature in air temperature in descriptive terms it is possible to determine higher values FM in the environment of 1.3 and 2.7°C in the case of the windbreaks of 933 trees/ha and 1207 trees/ha respectively. The average thermal amplitude in air temperature for the entire period of study in the windbreaks with a density of 1207 árb/ha was $15,7 \pm 4,1$ and $12,3 \pm 3,6$, to the windbreaks of 933 árb/ha $15,87 \pm 4,51$ and $13,7 \pm 4,14$ while in the canopy with 920 árb/ha was $12,0 \pm 3,47$ and $12,1 \pm 3,81$ for FM and DM, respectively. For the average temperatures in the black globe temperature there were significant differences between DM and FM, these being higher in canopy density 1207 árb/ha corresponding to the case No.3, resulting in a 13% of the hours with significant differences between treatments by exposing a difference between DM and FM of 7.0. The BGHI was lower DM compared to FM. For the case No.1, considering only data with significant differences ($p < 0.05$) the averages were 82.5

and 87,6 to DM and FM, respectively. For the ITH observed an average ($p < 0.05$) 68. for FM and 66.5 for DM. In addition, for both indices, and considering the significant data ($p < 0.05$) the number of hours accumulated that exceed the critical values, are greater FM respect to DM. From this it is concluded that the introduction of the windbreaks alters the microclimate in such a way that improves the conditions for dairy production through the attenuation of the values of climatic factors included in the ITH and BGHI.

Keywords: Microclimate; Heat stress; ITH; BGHI; Windbreak.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Abraham, J.; Collazo, L. 2015. Efecto del estrés calórico sobre la producción y composición de la leche en vacas Holando. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 54 p.
2. Acevedo, J.; Ibarburu, G. 2011. Evaluación del crecimiento de mezclas forrajeras sembradas en montes de *Eucalyptus globulus ssp globulus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 60 p.
3. Aussenac, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Ann. For. Sci. 57(2): 287-301.
4. Baliscai, M. A.; Barbosa, O. R.; Souza, W de ; Costa, M. A.; Teixeira, K. A.; Queiroz, E. de O. 2013. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. Acta Scientiarum. Animal Sci. 35:49-56.
5. Beede, D. K.; Collier, R. J. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. J. Anim. Sci. 62:543-554.
6. Berbigier, P. 1988. Bioclimatologie des ruminants domestiques en zonetropicale. Paris, INRA. 237 p.
7. Boscana, M.; Varela, F. 2011. Factores que influyen en la incorporación del rubro forestal en los predios agropecuarios de los departamentos de Florida, Flores y Durazno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 160 p.
8. Bouraoui, R.; Lahmar, M.; Majdoub, A.; Djemali, M.; Belyea, R. 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. Anim. Res. 51: 479-491.
9. Buffington, D. E.; Collazo-Arocho, A.; Canton, G. H.; Pitt, D.; Thatcher, W. W.; Collier, R. J. 1981. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. Trans. ASAE 24:711-714.
10. Bussoni, A.; Jaun, C.; Fernández, E.; Boscana, M.; Cabbage, F.; Bentancur, O. 2015. Integrated beef and wood production in Uruguay: potential and

limitations. (en línea). *Agrofor. Syst.* 89: 1107–1118. Consultado feb.2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/281753534_Integrated_beef_and_wood_production_in_Uruguay_potential_and_limitations

11. Combe, J.; Budowski, G. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales; una revisión de la literatura. *In*: Taller de Sistemas Agroforestales en América Latina (1º., 1979, Turrialba, Costa Rica). Trabajos presentados. Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 17-48.
12. Cruz, G.; Saravia, C. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 12(1): 56-60.
13. _____. 2009. *Biometeorología del calor sobre la producción de leche de vacas Holstein en Uruguay*. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Opción Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 84 p.
14. Día de Campo Manejo de Estrés Térmico en Ganado Lechero (2014, La Estanzuela, Colonia, UY). 2014. Trabajos presentados. Montevideo, INIA. 31 p. (Actividades de Difusión no. 728).
15. Du Preez, J. H.; Giesecke, W. H.; Hattingh, P. J. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. 1. Temperature-humidity index mean values during the four main seasons. *OJVR*. 57:77-87.
16. Echeverri, D. 2015. *Efecto de las condiciones meteorológicas sobre el desempeño productivo, comportamental y temperatura corporal superficial de vacas Holstein, en dos hatos lecheros del departamento de Antioquia (Colombia)*. Tesis de Maestría. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia. 75 p.
17. Elías, F.; Castellvi, F. 2001 *Agrometeorología* . 2a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 517 p.
18. Gallardo M, Valtorta S. 2011. *Producción y bienestar animal. Estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación*. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur. 128 p.

19. Gallo, L. 2006 Sistemas silvopastoriles. Revista del Plan Agropecuario. no. 119: 30-35.
20. Gómez, V .2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. Madrid, España, EUIT Forestal. Departamento de Silvopascicultura. pp. 84-100.
21. Gómez, A.; Guerrini, L. 2011. Evaluación del crecimiento de gramíneas forrajeras sembradas bajo un monte de *Eucalyptus globulus ssp globulus*. Tesis Ing. Agr Montevideo Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 88 p.
22. Invernizzi, G.; Marziotte, G. 1998. Efecto de diferente confort térmico sobre la producción de leche en verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 110 p.
23. Johnson, H. D.; Kibler, H. H.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L.; Shanklin, M. D. 1961. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. J. Anim. Sci. 44: 1191-1123.
24. Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N.; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows; a review. Liv. Prod. Sci. 77: 59-91.
25. MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, UY). 2012. Adaptación y mitigación al cambio 89 climático en sistemas agropecuarios del Uruguay: informe final. Montevideo. 240 p.
26. Mora, V. s.f. Pastoreo bajo plantaciones. (en línea).s.n.t. s.p. Consultado ago. 2017. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/manejo%20silvopastoril/40-pastoreo_bajo_plantaciones.pdf.
27. Peri, P. L. 1999. Efecto de la sombra sobre la producción y la calidad de pasturas en sistemas silvopastoriles. SAGP y A Forestal. no. 13: 17- 21.
28. Pezo, D.; Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvopastoriles. Turrialba, Costa Rica, CATIE/GTZ. 258 p.
29. Pezzopane, J.; Bosi, C.; Nicodemo, M.; Santos, P.; Cruz, P.; Parmejian, R. 2014 Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia* (Campinas). 74(1):110-119.

30. Polla, C. 1998. Estrategias de acción en el tema silvopastoreo. In: Taller de Manejo Silvopastoril (2º., 1998, Young). Trabajos presentados. Young, Uruguay, s.e. s.p.
31. Reynolds, S. G. 1995. Pasture – cattle – coconut system. Bangkok, Thailand, FAO. Regional Office for Asia and the Pacific. s.p.
32. Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P.; Vanbaale, M. J.; Collier, R. J.; Sanders, S. R.; Weber, W. J.; Crooker, B. A.; Baumgard, L. H. 2009. Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *J. Anim. Sci.* 92: 1986–1997.
33. Rodrigues, M.; Rufino, M.; Silva, W.; Nascimento, M. 2013. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Anim. Sci.* 35 (1): 49-56.
34. Román, L. C. 2014. Evaluación de medidas de mitigación del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas lecheras. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Opción Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 97 p.
35. Rovira, P. J.; Velazco, J. I. 2008. Cuantificando el estrés calórico en vacunos en pastoreo. *Revista INIA.* no. 16:10-13.
36. Saravia, C. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 140 p.
37. Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Liv. Prod. Sci.* 67: 1-18.
38. Tamang, B.; Rockwood, D.; Andreu, M. 2009. Microclimate modification by tree windbreaks in Florida farms. In: North American Agroforestry Conference (11th., 2009, Columbia). *Agroforestry Comes of Age: putting Science into Practice.* Columbia, Missouri, Springer. pp. 413-419.
39. Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise.* 12: 57-59.
40. Torres, A.; Casella, M.; Cedrés, A.; Munka, M. C.; Pastorini, V.; Pose, J. P. 1995. Diagnóstico de sistemas agroforestales del Uruguay. Facultad de

Agronomía (Montevideo). Nota técnica no. 40. 36 p.

41. UF. IFAS (University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences, US). s.f. Trees for shade and shelter. (en línea). Gainesville. 14 p. Consultado ene. 2018. Disponible en <http://www.crec.ifas.ufl.edu/extension/windbreaks/pdf/UnivMel.-TreesforShadeandShelter.pdf>
42. Valtorta, S. E.; Gallardo, M. R. 1996. El estrés por calor en producción lechera. INTA Rafaela. Miscelánea. no. 81: 173-185.
43. Zimbelman, R. B.; Rhoads, R. P.; Rhoads, M. L.; Duff, G. C.; Baumgard, L.H.; Collier, R. J. 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (ITH) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: Southwest Nutrition and Management Conference (24th., 2009, Tempe, Arizona). Proceedings. s.n.t. pp. 158-169.