

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LA REGIÓN NORESTE DE  
URUGUAY Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCCIÓN GANADERA

por

Soledad PEREZ BECOÑA

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2016

Tesis aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. Gabriela Cruz Brasesco

---

Ing. Agr. Laura Astigarraga

---

Ing Agr. Celmira Saravia

Fecha:

14 de diciembre de 2016

Autor:

---

Soledad Perez Becoña

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a todo el equipo de Agrometeorología, quienes me han acompañado durante todos estos años, donde he aprendido tantas cosas, en especial a Gabriela Cruz, quien confió en mí y me apoyó en todo este proceso de tesis e investigación. Agradezco también a Laura Astigarraga por su interés y aportes.

A mi familia por su apoyo incondicional y paciencia, principalmente a Cristian y mi madre Silvia, quienes estuvieron presentes durante todo el proceso, incluso en los momentos de mayor tensión, mi padre Eduardo y mis hermanos, ¡gracias!

Agradezco a todo lo que la FAgro me dejó, principalmente mis amigos, fundamentales en cada etapa, Emi, Vale, Tati, Negra, Checha, Lupe, Mari, Nati, Mati y Lean.

Por último quiero agradecer a Cris, Ana y Laurita por su apoyo, ideas, intercambios y aportes. A todas las personas y enseñanzas que el intercambio académico me dejó y a Elías, mi colega y amigo, con quien he compartido y comparto tantos conocimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	4
2.1. <u>CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DE URUGUAY</u> .....	4
2.1.1. <u>Precipitaciones</u> .....	4
2.1.2. <u>Temperatura del aire</u> .....	5
2.1.3. <u>Heladas agrometeorológicas</u> .....	8
2.1.4. <u>Régimen hídrico</u> .....	9
2.1.4.1. Almacenaje de agua en el suelo o agua disponible (AD) .....	9
2.1.4.2. Deficiencias .....	10
2.1.4.3. Excesos o agua no retenida por los suelos .....	10
2.1.4.4. Índice hídrico (IH) .....	11
2.2. <u>EL CLIMA COMO RIESGO</u> .....	12
2.3. <u>EFFECTOS DIRECTOS DEL CLIMA SOBRE LOS ANIMALES</u> .....	12
2.3.1. <u>Elementos del clima y mecanismos de transferencia de                     energía que influyen en el equilibrio térmico</u> .....	14
2.3.2. <u>Ganadería y estrés térmico</u> .....	16
2.3.2.1. Estrés por calor .....	17
2.3.2.2. Estrés por frío .....	19
2.3.3. <u>Índices de confort y estrés térmico</u> .....	20
2.3.3.1. Índices de estrés por calor.....	20
2.3.3.2. Índices de estrés por frío .....	22
2.4. <u>EFFECTOS INDIRECTOS DEL CLIMA</u> .....	23
2.4.1. <u>Cobertura vegetal</u> .....	23
2.4.3. <u>Aspecto sanitario</u> .....	24
2.5. <u>EL CLIMA COMO RECURSO</u> .....	25

2.5.1. <u>Radiación solar</u> .....	26
2.5.2. <u>Temperatura del aire</u> .....	26
2.5.2.1. Acción positiva de la temperatura del aire sobre el crecimiento .....	26
2.5.2.2. Acción positiva de la temperatura del aire sobre el desarrollo .....	27
2.5.3. <u>Contenido de agua en el suelo</u> .....	27
2.5.4. <u>Viento y humedad del aire</u> .....	28
2.6. LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL BERNARDO ROSENGURTT .....	28
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	32
3.1. MATERIALES.....	32
3.2. METODOLOGÍA.....	35
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	37
4.1. RESULTADOS .....	37
4.1.1. <u>Caracterización agroclimática de la región Noreste de             Uruguay</u> .....	37
4.1.1.1. Temperatura del aire .....	37
4.1.1.2. Precipitaciones .....	39
4.1.1.3. Heladas .....	40
4.1.2. <u>Caracterización detallada de Melo</u> .....	42
4.1.2.1. Precipitaciones .....	42
4.1.2.2. Resultados del balance hídrico.....	43
4.1.2.3. Índice de temperatura y humedad .....	44
4.1.2.4. Índice de enfriamiento (Chill Index) .....	47
4.1.3. <u>Comparación Melo- Colonia</u> .....	49
4.1.3.1. Temperatura del aire.....	49
4.1.3.2. Heladas agrometeorológicas .....	50
4.1.3.3. Precipitaciones .....	51
4.1.3.4. Balance hídrico .....	52
4.1.3.5. Índice de temperatura y humedad (ITH).....	55
4.1.4. <u>Comparación Melo- Salto</u> .....	58

4.1.4.1. Temperatura del aire .....	58
4.1.4.2. Heladas agrometeorológicas .....	58
4.1.4.3. Precipitaciones .....	59
4.1.4.4. Balance hídrico .....	60
4.1.4.5. Chill index .....	63
4.2. DISCUSIÓN .....	66
4.2.1. <u>Caracterización agroclimática</u> .....	66
4.2.2. <u>Distribución de la lluvia a lo largo del año según región del país</u> .....	67
4.2.3. <u>Efectos del clima sobre la producción</u> .....	72
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	75
6. <u>RESUMEN</u> .....	78
7. <u>SUMMARY</u> .....	79
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	80

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Rangos térmicos para los distintos grupos fotosintéticos.....	23
2. Temperaturas mínima media, máxima media y media, y amplitud térmica a nivel estacional según localidad, período 1986- 2007.....	38
3. Precipitaciones acumuladas promedio por estación del año (mm), porcentaje del total anual y coeficiente de variación (%) para las localidades de Treinta y tres, Melo, Cebollatí, Minas de Corrales, Paso de los Toros, Rivera, y Vichadero. Período 1960- 2014.....	40
4. Fechas de primera y última helada, período con heladas y período libre de heladas en días para las localidades de Melo, Treinta y tres, Rivera, Paso de los Toros, y Tacuarembó. ....	41
5. Índice de Temperatura y Humedad máximo y mínimo promedio para la localidad de Melo en el período 2010- 2015. ....	46
6. Fechas de primera y últimas heladas, y período con heladas y período libre de heladas en días para las localidades de Melo y Colonia.....	51
7. Índice hídrico mensual y diferencias entre lluvia y Evapotranspiración potencial para Melo y Colonia, período 1986- 2015. ....	54
8. Comparación de las probabilidades de ocurrencia de ITM máximo mayor al umbral entre las localidades de Melo y Colonia en el período 2010- 2015.....	57
9. Fechas de primera y últimas heladas, y período con heladas y período libre de heladas en días para las localidades de Melo y Salto.....	59
10. Índice hídrico mensual y diferencias entre oferta y demanda de agua para Melo y Salto, período 1986- 2015. ....	62
11. Comparación de las probabilidades de ocurrencia de valores de Chill index diarios mayores o iguales al crítico entre las localidades de Melo y Salto en el período 2011- 2015.....	65
12. Días con heladas. ....	67
Figura No.	
1. Aptitud pastoril según región del país. ....	3

2. Precipitación acumulada anual (mm), media período 1980- 2009. ....	5
3. Temperatura media anual (°C), período 1980- 2009.....	6
4. Temperatura máxima media anual (°C), período 1980- 2009. ....	7
5. Temperatura mínima media anual (°C), período 1980- 2009. ....	7
6. Días con ocurrencia de heladas agrometeorológicas anualmente de mayo a octubre, período 1980- 2009. ....	8
7. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia animal.....	14
8. Isolíneas de ITH promedio mensual para enero, período 1961- 1990. ....	21
9. Algunos potreros destinados a la ganadería de carne en la estación.....	29
10. Potrero destinado a ovinos.....	30
11. Ensayos en producción lechera llevados a cabo en la estación. ....	31
12. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el relevamiento de datos.....	34
13. Coordenadas de las estaciones meteorológicas utilizadas para el relevamiento de datos.....	34
14. Regionalización de Uruguay según régimen de precipitación a lo largo del año. ....	68
15. Producción de forraje según estación del año. ....	74

Gráfico No.

1. Evolución mensual de la temperatura media, mínima media y máxima media para el período 1986- 2014 en Treinta y Tres, Melo y Tacuarembó.....	38
2. Número promedio con helada agrometeorológica (en días) para el período 1992- 2010 en las localidades de Melo, Treinta y tres, Rivera, Paso de los Toros, y Tacuarembó. ....	41
3. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1960- 2014, localidad de Melo. ....	44
4. Índice de Temperatura y Humedad máximo diario para la localidad de Melo en el período 2010- 2015. ....	45
5. Índice de Temperatura y Humedad mínimo diario para la localidad de Melo en el período 2010- 2015. ....	46

6. Probabilidad de ocurrencia de Índice de Temperatura y Humedad máximos con valores mayores o igual al umbral, para todos los meses del año en Melo. Período 2010- 2015.....	47
7. Chill Index diario para la localidad de Melo en el período 2011- 2015. ....	48
8. Probabilidad de ocurrencia de Chill index con valores mayores o iguales al crítico, para todos los meses del año en Melo. Período 2011- 2015. ....	49
9. Evolución mensual de la temperatura media, mínima media y máxima media para el período 1986- 2007 en Colonia y Melo. ....	50
10. Número de días con helada agrometeorológica para el período 1992- 2010 en las localidades de Colonia y Melo. ....	51
11. Precipitaciones acumuladas promedio para las localidades de Melo y Colonia, en el período de 1986- 2014, agrupado por estaciones del año. ....	52
12. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1980- 2015, para las localidades de Melo y Colonia. ....	53
13. Resultados promedio (1980- 2015) del balance hídrico seriado en las localidades de Colonia y Melo. ....	54
14. Comparación del Índice de Temperatura y Humedad máximo entre Melo y Colonia para el período 2010- 2015. ....	56
15. Probabilidad de ocurrencia de Índice de Temperatura y Humedad con valores mayores o igual al umbral, para los diferentes meses del año en Colonia. Período 2010- 2015.....	57
16. Evolución mensual de la temperatura media, mínima media y máxima media para el período 1986- 2007 en Melo y Salto. ....	58
17. Número de días con helada agrometeorológica para el período 1992- 2010 en Salto y Melo. ....	59
18. Precipitaciones acumuladas promedio para las localidades de Melo y Salto, en el período de 1986- 2014, agrupado por estaciones del año. ....	60
19. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1980- 2014, para las localidades de Melo y Salto. ....	61
20. Resultados promedio (1980- 2015) del balance hídrico seriado en las localidades de Salto y Melo. ....	62
21. Chill index correspondiente al período 2011- 2015 en las localidades de Sato y Melo. ....	64

22. Probabilidad de ocurrencia de Chill index con valores mayores o igual al crítico, para los diferentes meses del año en Melo. Período 2010- 2015.....	65
23. Comparación de las curvas de distribución de la precipitación a lo largo del año en Melo y Cebollatí, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 4 .....	69
24. Comparación de las curvas de distribución de la precipitación a lo largo del año en Minas de Corrales, Rivera y Vichadero, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 3.....	70
25. Comparación de la curva de distribución de la precipitación a lo largo del año en Treinta y Tres, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 2 .....	71
26. Comparación de la curva de distribución de la precipitación a lo largo del año en Paso de los Toros, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 1. ....	72

## 1. INTRODUCCIÓN

Uruguay presenta un clima templado, con precipitaciones todo el año, donde las cuatro estaciones están claramente diferenciadas, con veranos calurosos e inviernos fríos, variando en los valores extremos según la región del país (Cruz et al., 2014).

Tanto la temperatura media como las extremas se ven influenciadas por la variabilidad climática, en todas sus escalas temporales. Dicha variabilidad puede producir una mayor o menor frecuencia de eventos extremos<sup>1</sup>, teniendo efectos directos sobre el ganado (Cruz, 2009a), como indirectos a través de la oferta de pasturas, que es la fuente principal de alimentación para los animales en las condiciones ganaderas de Uruguay. En estudios nacionales se ha verificado que la producción de ganado lechero se ve significativamente afectada por el calor estival (Cruz, 2009a).

Según Saravia (2009), en los sistemas de producción pastoriles existentes en nuestro país, los animales domésticos están expuestos permanentemente al ambiente, que afecta directamente las respuestas fisiológicas y productivas, e indirectamente el plano de nutrición por variaciones en la cantidad y calidad de pasturas y cultivos, que son los principales componentes en la alimentación.

A nivel de promedios climáticos mensuales (30 años), la precipitación se muestra relativamente homogénea a lo largo del año, aunque presenta una variabilidad interanual elevada, mostrando un coeficiente de variación superior al 50% en cualquier punto del país.<sup>1</sup> A nivel promedio, la disponibilidad de agua en los suelos presenta un comportamiento similar al de la evapotranspiración potencial (ETP), la cual está definida como la cantidad de agua evaporada y transpirada en una unidad de tiempo por una cubierta vegetal en activo crecimiento, de gran extensión, que cubre completamente del suelo, cultivado en grandes superficies, libre de enfermedades y con condiciones óptimas de agua en el suelo (Allen et al., 1998). La ETP presenta una marcada variación estacional, siendo máxima en los meses de verano y mínima en invierno. Esta situación implica que a nivel climático hay meses en los cuales se presenta déficit hídrico (verano) y meses en los cuales hay excesos (invierno), afectando ambas situaciones los sistemas de producción agropecuaria.

Las lluvias excesivas ocasionan disminuciones en el consumo de alimento por parte del ganado, ya que este permanecerá cubierto en lugar de ir

---

<sup>1</sup> Renom, M. 2012. Com. personal.

a comer, y como consecuencia de esto disminuirá la productividad. En el caso de las vacas en lactación, en situaciones de suelo anegado pierden una gran cantidad de energía en su traslado a las zonas de pastoreo o de ordeño, por lo que queda menos cantidad de energía disponible para la producción de leche. Por otra parte, en situaciones de déficit hídrico, las consecuencias se observan sobre las pasturas, las cuales presentan un rendimiento mucho menor por la falta de agua. También en estos casos se verifican efectos directos sobre el animal, en la producción de leche o carne, ya que los lugares donde el animal concurre para tomar agua están secos, o con poca agua y/o de mala calidad.<sup>2</sup> Considérese además que el requerimiento de agua para producir un litro de leche en vacas Holando es del orden de 6-7 litros en verano.<sup>3</sup>

Para este trabajo se eligió como zona de estudio el Noreste de Uruguay, donde los antecedentes de caracterización agroclimática son escasos, y así contribuir a adecuar las medidas de manejo nivel a de sistemas de producción agropecuaria, permitiendo aprovechar los recursos del ambiente climático y minimizar los perjuicios. Se enfoca en la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt de la Facultad de Agronomía (EEBR) en el departamento de Cerro Largo. La estación experimental está ubicada en el kilómetro 408 de la Ruta Nacional No. 26 Brigadier General Leandro Gómez (tramo Melo-Tacuarembó), en la zona de Bañado de Medina, a 28 km de la ciudad de Melo.

También se eligió esta región debido a que es una zona con alta aptitud pastoril, siendo una de las típicas regiones ganaderas del país y con un alto potencial productivo para la lechería (ver figura No. 1).

---

<sup>2</sup> Astigarraga, L. 2012. Com. personal.

<sup>3</sup> Mello, R. 2016. Com. personal.

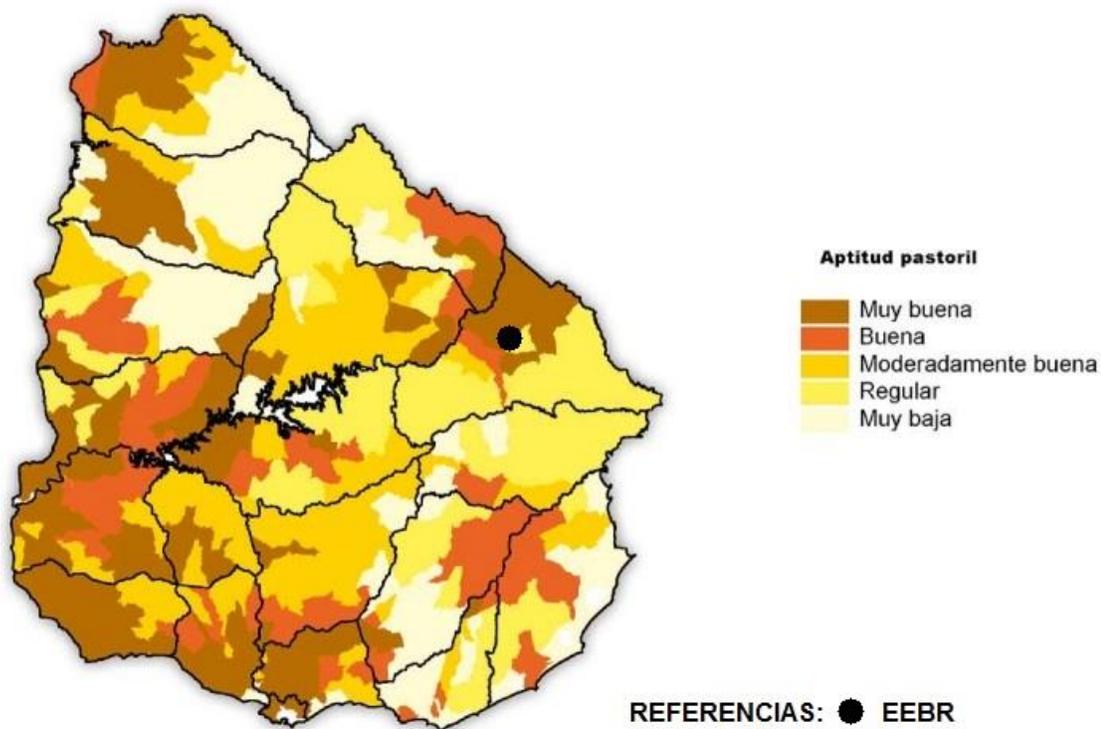


Figura No. 1. Aptitud pastoril según región del país.

Fuente: adaptado de MGAP. DIEA (2014).

En la figura No. 1 se observa que la región donde se encuentra la EEBR posee una muy buena aptitud pastoril, considerándose, como fue mencionado anteriormente, una excelente región ganadera y lechera.

El objetivo general de este trabajo es caracterizar agroclimáticamente la región Noreste de Uruguay, con la finalidad de identificar y representar los potenciales efectos perjudiciales o benéficos del clima en sistemas pastoriles de producción lechera y de ganadería de carne.

Adicionalmente, se busca evaluar algunos efectos del clima sobre las pasturas y el ganado en producción, y realizar una caracterización agroclimática de la zona de Bañado de Medina, donde se encuentra la EEBR.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Agroclima es el conjunto de las condiciones climáticas principales, determinantes de otras que son su consecuencia, en sus valores de intensidad, duración, frecuencia y época de ocurrencia, que posibilitan el cultivo económico de una especie determinada (Barioglio, 2006).

La planificación y evaluación del potencial productivo mediante registros climáticos asociados a la producción agropecuaria requiere disponer de una caracterización agroclimática en base a registros históricos, que contribuya a la definición de áreas con un comportamiento homogéneo esperado para las actividades productivas. Para ello es necesario estudiar la climatología (promedios de 30 años) de la región de estudio y la variabilidad histórica de las observaciones climáticas más relevantes para la producción agropecuaria. Es importante complementar la información climatológica con el estudio del régimen hídrico, lo que usualmente se hace en base a modelos de balance hídrico de suelos (Castaño et al., 2011). La planificación y evaluación del potencial productivo, requiere también el conocimiento de las especies agropecuarias de interés y sus respuestas a los elementos del clima.

### 2.1. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DE URUGUAY

Uruguay está situado entre los 30 y 35° de latitud Sur, en una zona subtropical templada.

Según Koeppen (1918), el clima uruguayo se caracteriza como templado- subtropical sin una estación seca marcada (Cfa). Se caracteriza por una temperatura media en el mes más cálido superior a los 22°C, y la de los meses más fríos menor a 18°C y superior a -3°C. Las precipitaciones son constantes a lo largo del año, por lo que no se considera ninguna estación del año como seca.

#### 2.1.1. Precipitaciones

Los valores medios de precipitación acumulada anual sobre el país (ver figura No. 2) se sitúan entre 1200 y 1600 milímetros (mm), con los menores valores situados al Suroeste (SW) y los máximos al Noreste (NE). El gradiente, por lo tanto, es incremental de SW a NE (Castaño et al., 2011).

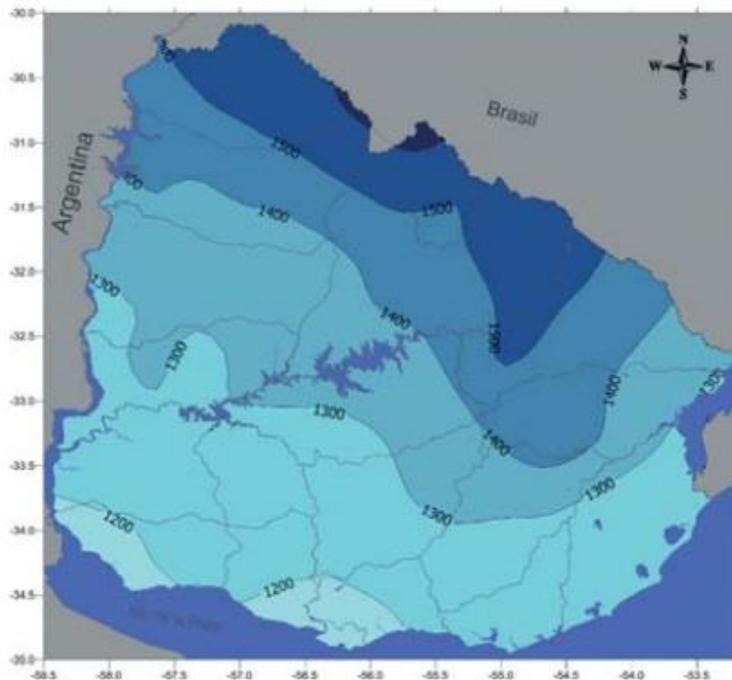


Figura No. 2. Precipitación acumulada anual (mm), media período 1980- 2009.  
Fuente: Castaño et al. (2011).

Los valores promedio acumulados de la lluvia a nivel mensual varían entre 60 mm/mes y 140 mm/mes (Castaño et al., 2011), según la región y la época del año.

Los valores mensuales de precipitación registrados en un año particular, se pueden apartar considerablemente de los promedios, dada la gran variabilidad interanual. Esta variabilidad se constata en todos los meses del año aproximadamente en la misma magnitud, registrándose en los años extremos valores mínimos inferiores a 20 mm/mes y máximos superiores en todos los meses a 250 mm/mes (Castaño et al., 2011).

### 2.1.2. Temperatura del aire

La temperatura media anual del Uruguay es de 17,7°C, variando desde 19,8°C en el Noroeste (NW), hasta 16,6°C en la costa Sur (S) del país (ver figura No. 3).

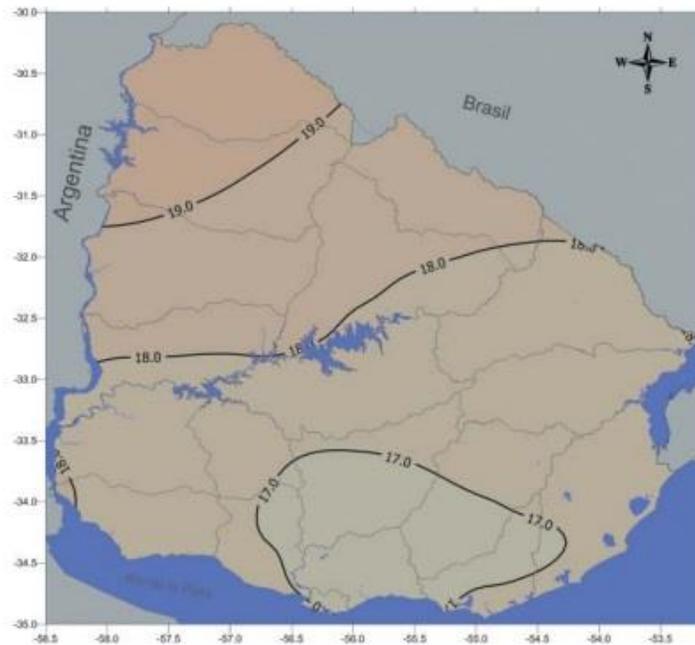


Figura No. 3. Temperatura media anual (°C), período 1980- 2009.  
 Fuente: Castaño et al. (2011).

Las temperaturas medias más altas se presentan en los meses de enero y febrero, y las más bajas en junio y julio de acuerdo a la región estacionalidad debida a la componente astronómica del clima.

Los promedios nacionales de las temperaturas del aire extremas anuales se caracterizan por una temperatura máxima media de 22,6°C y una mínima media de 12,9°C (ver figuras No. 4 y 5).

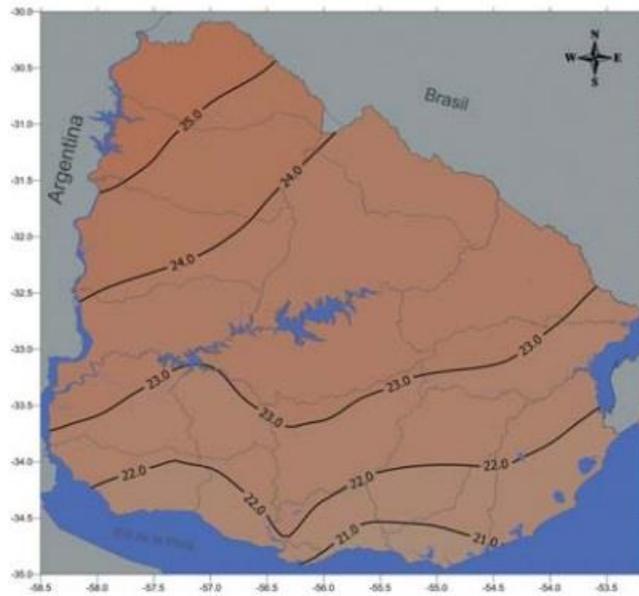


Figura No. 4. Temperatura máxima media anual (°C), período 1980- 2009.  
Fuente: Castaño et al. (2011).

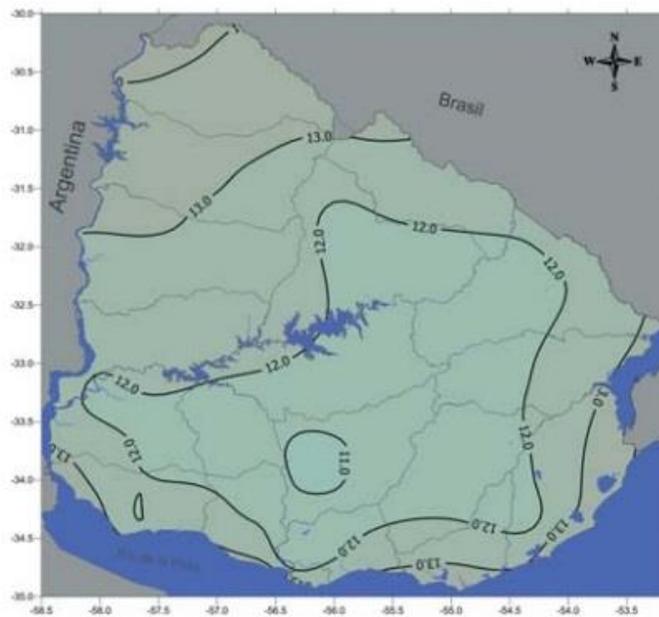


Figura No. 5. Temperatura mínima media anual (°C), período 1980- 2009.  
Fuente: Castaño et al. (2011).

Se puede ver que las temperaturas del aire extremas medias sobre el país presentan durante todo el año un gradiente creciente de S a Norte (N) de unos 5°C para las máximas medias y de unos 4°C para las mínimas medias (Castaño et al., 2011), consecuencia de la componente geográfica del clima.

### 2.1.3. Heladas agrometeorológicas

Se denomina helada agrometeorológica la ocurrencia de temperaturas mínimas diarias registradas a 5 cm del suelo, cuyos valores sean menores o igual a 0°C (punto de congelamiento del agua a una atmósfera de presión) (Pascale y Damario, 2004).

El número de heladas agrometeorológicas ocurridas anualmente (período mayo- octubre) varía entre 20 y 25 días en el N y S del país, mientras que alcanza más de 35 días en el centro (ver figura No. 6).

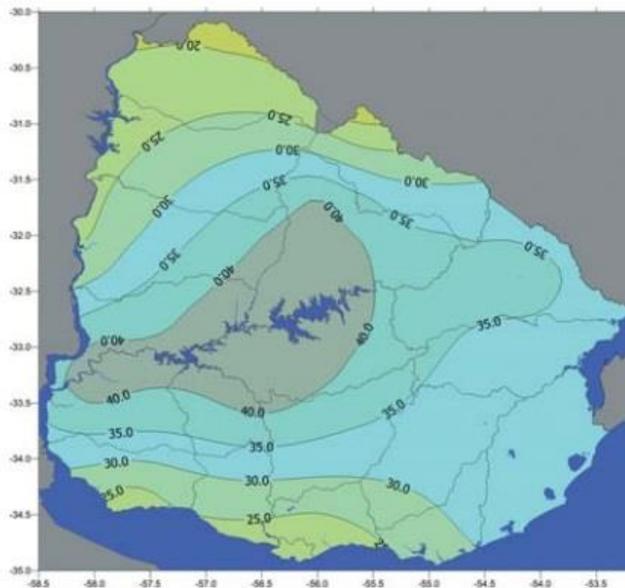


Figura No. 6. Días con ocurrencia de heladas agrometeorológicas anualmente de mayo a octubre, período 1980- 2009.

Fuente: Castaño et al. (2011).

En promedio, durante el mes de julio es donde se registra el mayor número de heladas, entre 7 y 11 días dependiendo de la zona del país, seguido del mes de junio, (6 a 10 días), agosto (4 a 8 días), mayo y setiembre (2 a 6 días), y finalmente el mes de octubre es el que presenta promediamente los

menores registros, por debajo de un día para casi toda la totalidad del país (Castaño et al., 2011).

#### 2.1.4. Régimen hídrico

La metodología más empleada para el análisis del régimen hídrico de los suelos es la de los balances hídricos de suelos propuesta por Thornthwaite y Mather (1967).

El balance hídrico de un suelo consiste en la cuantificación de las pérdidas y ganancias de agua que se producen en el sistema y las consecuencias que de ello se deriva en la cobertura vegetal. Se representa de la siguiente manera:

$$\text{Precipitación} + \text{Riego} = \text{ET} + \text{Var. Alm.} + \text{Ecurr.} + \text{Drenaje}$$

Dónde:

- ET= Evapotranspiración
- Var. Alm. = Variación del almacenaje de agua disponible en el suelo
- Ecurr.= Escurrimiento superficial
- Drenaje= Drenaje profundo

De la realización de balances hídricos de suelos se pueden obtener varios resultados, los cuales serán detallados en los siguientes capítulos.

##### 2.1.4.1. Almacenaje de agua en el suelo o agua disponible (AD)

La capacidad de almacenar agua de los suelos en el país presenta una alta variabilidad, con zonas de suelos superficiales, con capacidad de almacenaje inferior a 30 mm, y zonas de suelos profundos, con capacidad mayor a 170 mm (Castaño et al., 2011).

Según Cruz et al. (2000), en términos promedios o climáticos en los meses de verano el almacenaje de agua en los suelos se encuentra entre 20 y 40 mm. A nivel espacial se observa un aumento de los niveles de agua en el suelo hacia el NE, de la misma forma que existe una mayor precipitación hacia esta zona (la región delimitada en ese trabajo incluyó las localidades de Salto, Tacuarembó, Young, Paysandú, Paso de los Toros, Mercedes, Durazno y Trinidad).

En otoño, comienza la recarga de agua en el suelo, alcanzando al final del período los 80 mm. El gradiente del almacenaje de agua de los suelos se constata de S a NE.

Los máximos niveles de almacenaje se dan en invierno, alcanzando los 90 mm en julio hacia el este (E) los mismos disminuyen notablemente hacia el NW.

Castaño et al. (2011) realizaron una caracterización agroclimática de todo el territorio nacional. En la misma se manifiesta que los suelos presentan menor AD desde el inicio de primavera al inicio de otoño, donde los valores más bajos se dieron en los meses de verano, donde los suelos presentan no más del 60% de su capacidad de almacenaje. En enero, la mayor parte del país presenta valores menores al 50% de su capacidad de almacenaje. Esto indicaría, según los autores, que los valores de almacenaje se sitúan por debajo de los umbrales críticos para cultivos extensivos, y en algunas zonas también para pasturas.

Al igual que las precipitaciones, los valores de agua disponible en los suelos presentan una gran variabilidad entre años, por estar afectados principalmente por la ocurrencia de las mismas. Esta variabilidad es máxima en los meses de verano y mínima en el invierno (Castaño et al., 2011).

#### 2.1.4.2. Deficiencias

Es la diferencia entre la demanda (ETP) y la evapotranspiración real (ETR). El período de deficiencias está comprendido entre octubre y marzo.

Desde primavera, el promedio mayor de las deficiencias se desplaza de N a SE del litoral del país, presentándose el máximo valor en enero, con más de 100 mm. Se recuerda que la región delimitada por Cruz et al. (2000) incluyó las localidades de Salto, Tacuarembó, Young, Paysandú, Paso de los Toros, Mercedes, Durazno y Trinidad.

En diciembre y enero es cuando se verifican las mayores diferencias a nivel espacial, en el orden de los 70 mm entre el NE y SE del litoral (Cruz et al., 2000).

#### 2.1.4.3. Excesos o agua no retenida por los suelos

Es la cantidad de agua que queda como excedente, luego de haberse completado el almacenaje del suelo.

Los valores máximos (70 mm) se presentan en julio. En este mes se presenta también la mayor variación regional en los excesos, con aproximadamente 50 mm de diferencia entre el E y el W del litoral del país. Los mayores valores de excesos se dan desde el NE hacia el SE de la misma región, para el período comprendido entre abril y setiembre (Cruz et al., 2000).

Según Castaño et al. (2011), en los meses de otoño e invierno, es cuando se registran en promedio valores significativos de agua excedente,

como consecuencia de una menor ETP registrada en estas estaciones del año debido a la componente astronómica del clima. Durante los meses de verano se observan en promedio valores extremadamente bajos o nulos de agua no retenida.

#### 2.1.4.4. Índice hídrico (IH)

El índice hídrico vincula la oferta (precipitación, RR) con la demanda (evapotranspiración potencial, ETP), y se calcula de la siguiente manera:

$$IH_{\text{mes de cada año}} = RR_{\text{mes de cada año}} / ETP_{\text{mes de cada año}}$$

Los valores obtenidos se sitúan entre 0 y 1. Los valores de índice alrededor de la unidad expresan un equilibrio entre los aportes de precipitación (RR) y la demanda atmosférica (ETP). Aquellos valores netamente por encima de 1 representan excesos de lluvia. Más aún, por encima de 2 o 3, están indicando que en ese mes en particular hubo una contribución muy importante de la hidrología superficial y freática con posibles desbordes de espejos y cursos de agua de sus cauces “normales”. Los valores netamente menores a 1 implicarían, según la capacidad de almacenaje de los suelos, un consumo importante del stock de agua en el suelo, así como deficiencias severas para el desarrollo vegetal, cuanto más cerca del punto de marchitez se llegue. Esto último no puede ser evaluado más que cualitativa e indirectamente con el IH, ya que es independiente de las reservas tanto potenciales como reales del suelo. Sin embargo, una racha de varios meses con IH netamente inferior a 1 es sinónimo de período con deficiencias hídricas importantes, lo que representaría un estrés importante en cultivos y pasturas naturales (Caffera, 2005).

Caffera (2005), calculó el IH para 29 puntos del país, durante el período 1948- 2000. Los resultados obtenidos por cada mes se resumen a continuación:

- **diciembre:** el IH en el mes de diciembre es deficitario casi por igual en todo el territorio.
- **enero:** es el mes deficitario por excelencia respecto del régimen hídrico.
- **febrero:** continúa la situación deficitaria, pero menor que en los meses anteriores. Para los 29 puntos del país analizados por el autor, en 11 de los mismos el IH está entre 0,5 y 0,8. La mayor demanda atmosférica en el N está ligeramente compensada con las mayores precipitaciones en esa región.
- **marzo:** los valores del IH se acercan a la unidad, salvo en unos pocos puntos situados en el centro y centro- E del territorio, en donde se mantienen cercanos a 0,5.
- **abril:** la distribución espacial del IH mediano muestra valores cercanos a la unidad en todo el territorio, con excesos en el extremo N (Bella Unión).

Se presentan valores ligeramente deficitarios en el SW, menos en Colonia y Nueva Palmira.

- **mayo:** el campo mediano de IH solo mantiene valores ligeramente deficitarios en el SW, y excesos en el N y centro- E.
- **junio y julio:** similar a mayo, pero se ven notables excesos (IH mayor a 3) en la región Centro- E y Rivera.
- **agosto:** muestra una disminución general de los valores de IH, por un ligero aumento de la ETP y una pequeña disminución en los valores de lluvia.
- **setiembre:** IH con valores cercanos a la unidad en la mayor parte del territorio.
- **octubre:** deficiencias en la franja central del territorio, con valores de IH menores a 0,8.
- **noviembre:** IH deficitario en todo el territorio. Los mayores déficit se ven hacia el SE.

## 2.2. EL CLIMA COMO RIESGO

El clima afecta al ganado directa e indirectamente, ya que modifica la calidad y/o cantidad de alimentos disponibles, los requerimientos de agua y energía, la cantidad de energía consumida y el uso de ésta.

El efecto se considera directo cuando los elementos del clima (temperatura del aire, precipitaciones, humedad relativa, radiación solar y viento) determinan el grado de confort/estrés en el medio en que se encuentran los animales, y permiten o no un buen aprovechamiento de la alimentación, para el crecimiento y la reproducción. Es indirecto cuando esos mismos elementos climáticos determinan el nivel de producción de los alimentos naturales que los deben sustentar, y cuando favorecen o limitan sus enfermedades y parásitos (Valtorta et al., 2013).

## 2.3. EFECTOS DIRECTOS DEL CLIMA SOBRE LOS ANIMALES

Los vacunos, como todos los mamíferos, son animales homeotermos o de sangre caliente, es decir que mantienen una temperatura corporal relativamente constante, utilizando o disipando energía. Estos animales poseen un sistema termorregulador, que mantiene una temperatura corporal y un ambiente interno estable (homeostasis) mediante la conversión de la energía de los alimentos en calor (Valtorta et al., 2013).

En el organismo animal, aproximadamente el 25% de la energía total generada queda disponible para una función determinada (producción de carne, producción de leche), en forma de fosfatos ricos en energía. El resto se libera en forma de calor. El equilibrio térmico de un organismo es el resultado de la

regulación, por parte del aparato hipotálamo- adenohipofisario, de la génesis y cesión de calor. Esta regulación permite a los animales homeotermos adaptarse a las necesidades energéticas y térmicas de cada momento y mantener una temperatura corporal constante (Castillo et al., 2001).

El calor producido puede tener varios orígenes, tales como los procesos metabólicos vitales (respiración, circulación, digestión de los alimentos, fermentación ruminal, actividad muscular y ejercicio), y la utilización de los nutrientes para procesos productivos como crecimiento, reproducción y lactación, así como de la absorción de la radiación solar y otras fuentes externas (Echevarría et al., 2002).

En la figura No. 7 se muestra esquemáticamente la relación entre la temperatura del aire, la temperatura corporal y las zonas de confort, homeotermia y sobrevivencia del animal. La zona termo-neutral es el rango de temperatura del aire dentro del cual la producción de calor interna del animal no es afectada (Bianca, citado por Cruz, 2009a). Dentro de este rango, la utilización de alimento es óptima, y los animales pueden expresar su máximo potencial productivo (Valtorta et al., 2013). Las zonas A → B para condiciones frías y A' → B' para condiciones de calor, representan cambios en la temperatura ambiental que demanda esfuerzos mínimos para mantener su temperatura corporal. En la zona B → C los animales requieren activar mecanismos termorregulatorios fisiológicos y de comportamiento para conservar la temperatura corporal. En la zona C → D los animales infructuosamente intentan hacer frente al desbalance energético para tratar de mantener las condiciones homeotérmicas; la temperatura corporal es afectada pudiendo conducir al animal a la muerte por hipotermia o hipertermia.

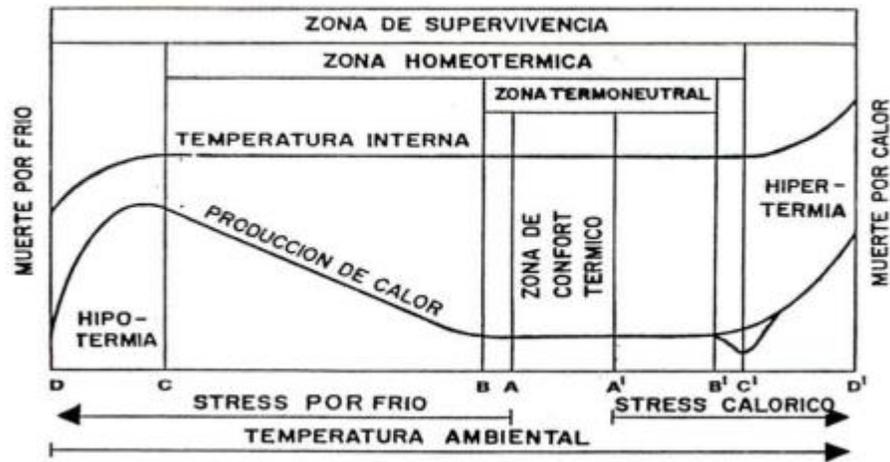


Figura No. 7. Representación esquemática de las condiciones ambientales críticas para la supervivencia animal.

Fuente: adaptado de Bianca (1972).

Dentro de la zona de termoneutralidad, la energía de la dieta es utilizada para mantenimiento, crecimiento, producción de leche y/o carne, y actividad física; mientras que bajo o sobre la zona de termoneutralidad la energía es reorientada a funciones tendientes a mantener la condición homeotérmica y en algunos casos puede existir un aumento en la demanda de energía para estos procesos (Collin et al., 2001).

La temperatura crítica mínima y máxima para la ganancia de peso en corderos es de aproximadamente 10 y 20°C respectivamente. En caso de los bovinos, a pesar de existir pocos datos disponibles, para evaluar el efecto de las temperaturas críticas en la ganancia corporal, se indica que las ganancias de peso son menores por encima de la zona termoneutral para cada raza en particular (Saravia y Cruz, 2003).

### 2.3.1. Elementos del clima y mecanismos de transferencia de energía que influyen en el equilibrio térmico

Si bien la temperatura ambiental ha sido reconocida como uno de los factores más influyentes en la productividad del ganado, también se ha reconocido que ésta es alterada por la acción del viento, humedad, precipitación y radiación entre otros factores (NRC, 1981).

La radiación solar representa siempre ganancias de calor, la cual se vuelve más importante en el período estival. Esto se debe no solo a la mayor

cantidad de energía recibida por unidad de superficie (intensidad), sino también a la mayor duración de la fase diurna, lo que provoca mayor tiempo de exposición (Cruz, 2009a).

La temperatura y la humedad del aire ejercen un efecto combinado, siendo mayor el perjuicio, en condiciones de calor, a medida que ambas variables aumentan (Cruz, 2009a).

Los principales efectos de la humedad relativa (HR) están asociados a una reducción de la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración (Blackshaw y Blackshaw, 1994).

Altas HR reducen el potencial de disipación de calor tanto de la piel como del aparato respiratorio (Da Silva, 2006), afectando a los animales especialmente en medioambientes en los que la disipación del calor por vías evaporativas es crucial para mantener la condición homeotérmica (NRC, 1981). A través de la sudoración y el jadeo, se produce el cambio de estado de líquido a vapor, el cual consume aproximadamente 580 calorías por gramo de agua evaporado. El control fisiológico sobre este mecanismo involucra la cantidad de agua eliminada (sudor) y/o el volumen de aire que circula por las vías respiratorias (jadeo) (Cruz, 2009a). La eficacia de estos mecanismos depende del nivel de humedad en el aire. Ambientes secos favorecen la evaporación de la humedad de las vías respiratorias y el sudor, con la consiguiente pérdida de calor desde el animal, debido a la energía consumida en este cambio de estado. En cambio, en una atmósfera saturada de vapor de agua, este flujo se ve disminuido (Cruz, 2009a).

La convección es la transferencia de calor debido a la remoción de la capa de aire inmediata a la superficie corporal, mecanismo que se vuelve más importante en condiciones de viento. Representa usualmente pérdidas de calor, pero representaría una ganancia si el aire circulante tiene mayor temperatura que la del animal. El viento ayuda a reducir los efectos del estrés por calor durante el verano, mejorando los procesos de disipación de calor por vías evaporativas (Mader et al., citados por Arias, 2008). Sin embargo, en la zona N de Uruguay este hecho puede no necesariamente ser así, considerando las grandes masas de aire caliente que provienen desde Brasil durante el verano. En este caso, el mecanismo de convección en lugar de tener un efecto positivo sobre la reducción del estrés calórico, podría tener un efecto negativo (Saravia, 2009).

Mediante la conducción se transfiere calor por el contacto del animal con una superficie. Nuevamente resultará una ganancia o pérdida de energía de acuerdo al gradiente térmico entre ambas. Si el animal está de pie, la superficie de contacto para la transferencia es muy pequeña, y las pérdidas o ganancias por conducción se vuelven despreciables.

### 2.3.2. Ganadería y estrés térmico

Según Silanikove (2000), el calor generado por el metabolismo está dado por la suma de las ganancias o pérdidas de energía por radiación, convección y conducción, pérdidas evaporativas y almacenaje de calor.

Los animales hacen frente a las condiciones adversas del clima mediante la modificación de mecanismos fisiológicos y de comportamiento para mantener su temperatura corporal dentro de un rango normal (Valtorta et al., 2013), por ejemplo aumento del consumo para aumentar la producción de calor corporal que permita sobrellevar el estrés por frío, como se visualiza en el rango B- C en la figura No. 7.

En situaciones de calor ambiental, el mecanismo más importante para disipar calor en los vacunos es la evaporación (rango A' → B' de la figura No. 7), registrándose aumentos en la frecuencia respiratoria, y en el volumen de la sudoración (Kadzere et al., 2003).

En general, se considera que el ganado bovino se adapta mejor a condiciones frías. Sin embargo, cuando las temperaturas mínimas son extremas, éstas producen menores ganancias de peso, extensión del período de engorde, reducción de la eficiencia en la conversión de alimento y reducción en la cantidad de leche producida (Birkelo y Johnson, 1986). El ganado lechero es generalmente más sensible al estrés por calor y más resistente al estrés por frío (Collier et al., 1982).

A su vez, cabe destacar que los animales *Bos indicus* son más resistentes al calor que los *Bos taurus* (la mayoría de las razas utilizadas en el país), no sólo por las características de adaptación frente al clima y la escasez de alimento, sino también por las ventajas de la termorregulación (González, citado por Vélez y Uribe, 2010), ya que poseen mayor cantidad de glándulas sudoríparas por superficie (Kibler y Brody, Allen, citados por Kadzere et al., 2002). Los rangos de temperatura ambiental reportados para el confort térmico en animales de tipo *Bos taurus* oscilan entre 0 y 20°C, mientras que para *Bos indicus* se ubican entre 10 y 27°C, con 70% de humedad ambiental en ambos casos. Existen también diferencias según edad, estado fisiológico, sexo y variaciones individuales dentro de una misma raza (Johnson, 1987a).

Los ovinos, por otra parte, están adaptados a ambientes extremos, esto debido a su vellón que tiene la capacidad de controlar el intercambio de calor con el ambiente (aislante). Los mayores problemas de estrés térmico aparecen cuando los animales están recién esquilados, o en el caso de los corderos recién nacidos, ya que los mismos al nacer tienen los mecanismos termorregulatorios inmaduros. En el caso de los corderos recién nacidos, la recuperación ante una situación de estrés térmico debe ser lo suficientemente rápida mediante la alimentación, para evitar el agotamiento de las reservas

corporales. Al nacimiento, el cordero se expone a un shock térmico que significa pasar de 39,5 °C en el medio uterino a la temperatura ambiental. Este proceso puede inducirle una baja de su temperatura corporal de hasta 11°C (Alexander y Mc Cance, 1958). Este descenso térmico se ve incrementado cuando a las bajas temperaturas externas, se le suma el efecto del viento y lluvia.

#### 2.3.2.1. Estrés por calor

El estrés calórico (A' → D' en la figura No. 7) se produce cuando la combinación de diferentes elementos meteorológicos, como temperatura, humedad y velocidad del viento determinan una temperatura efectiva, mayor que el límite superior de la zona de termoneutralidad (Toneatti et al., 2014). El estrés por calor se produce cuando la cantidad de calor que reciben los animales es mayor que su capacidad de disiparlo (Valtorta et al., 2013).

La respuesta del ganado frente a condiciones de estrés calórico se manifiesta en cambios en los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más afectados cuando los bovinos se encuentran fuera de la zona de confort. Estos cambios en los requerimientos, así como las estrategias adoptadas por los animales para enfrentar el período de estrés térmico, provocan una reducción en su desempeño productivo (Saravia, 2009).

Los bovinos son animales grandes, y tienen por lo tanto poca área superficial por unidad de peso. Esto implica una menor pérdida de calor corporal en relación al calor producido. Además, ingieren alimentos fibrosos, los que tienen un mayor incremento calórico debido a la rumia, produciendo más calor en el interior de sus cuerpos en relación a su tamaño (Echevarría et al., 2002).

El apetito disminuye a medida que aumenta la exposición a altas temperaturas. En el caso de los rumiantes, el descenso en el consumo se da principalmente sobre la porción forrajera de la dieta, porque genera un mayor calor de digestión. En contraste, aumenta la ingestión de alimento en ambiente frío, para aumentar la producción de calor que permita mantener la temperatura corporal constante (rango B → C de la figura No. 7). Sin embargo, es posible que se produzca una disminución en la ingestión en condiciones de severo estrés por frío (rango C → D de la figura No. 7, Castillo et al., 2001).

En todas las especies, las dietas altas en fibra contribuyen al estrés calórico. Estos alimentos producen un alto incremento calórico por cada caloría consumida, lo que implica que se genere una gran cantidad de calor corporal extra, en el proceso de digerir y utilizar este tipo de alimentos (Echevarría et al., 2002).

El ganado tiene una necesidad de agua de tres a cuatro veces superior al consumo de alimento, necesitando más agua en épocas más cálidas (Echevarría et al., 2002).

El consumo de agua varía con el consumo de alimento y con la temperatura ambiental. Cuando la temperatura sube, incrementándose la pérdida de calor evaporativo, el requerimiento de agua se incrementa drásticamente; en los bovinos a 32°C el consumo de agua se da por lo menos cada dos horas (Echevarría et al., 2002). Los requerimientos de agua para vacas lecheras en lactación están correlacionados positivamente con la cantidad de leche que producen (Little et al., 1978).

Según Castillo et al. (2001), en rumiantes se ha observado que en condiciones de estrés por calor se produce una menor absorción de nutrientes, debido a un menor flujo sanguíneo en órganos internos, ya que se prioriza la irrigación sanguínea superficial para disipar calor. Por otra parte, la motilidad del tracto digestivo es menor, y se da un ligero aumento en la digestibilidad, que no compensa los efectos negativos.

Sobre la reproducción también se produce una respuesta negativa en la estación calurosa en mamíferos y aves, principalmente a causa del descenso de la ingestión de alimentos.

En hembras mamíferas sometidas a estrés por calor se detecta retraso en la aparición de la pubertad, y una reducción en la intensidad y manifestación del celo. Las temperaturas altas en el ambiente uterino tienen efecto letal sobre embriones jóvenes. En machos disminuye la libido y hay efectos deletéreos sobre la producción espermática a altas temperaturas en detrimento de la fertilidad (Castillo et al., 2001).

En rumiantes se ha detectado que con temperaturas altas al final de la gestación puede disminuir el flujo de sangre uterino y el peso de la placenta, y dar lugar a retrasos en el crecimiento fetal, aunque no varía la duración de la gestación (Castillo et al., 2001).

Una vaca expuesta a un estrés por exceso de calor pierde producción de leche, especialmente a causa del descenso de la ingestión. Además, la leche contiene menos grasa, porque los forrajes, que es el alimento que el animal deja de consumir en mayor proporción, favorece la síntesis de grasa láctea (Castillo et al., 2001). Por otro lado, se ha demostrado que la reducción de la ingesta de alimento explica sólo el 35% de la disminución de la producción de leche (Wheelock et al., 2010). Una gran parte de los efectos del estrés por calor puede ser consecuencia de una distinta partición de nutrientes, independiente del cambio en la magnitud de la ingesta. Este cambio en la partición de nutrientes en condiciones de estrés por calor, son mecanismos adaptativos que

se manifiestan para priorizar el mantenimiento de la normotermia (Baumgard y Rhoads, 2013).

La zona de confort térmico para vacas lecheras en producción toma valores de ITH (ver capítulo 2.3.3.1.) entre 35 y 70 y se han determinado umbrales críticos para la producción de leche por estrés por calor en vacas Holando, cuyos valores varían de acuerdo al modo de estimación, lugar y sistema de producción, y mejoramiento genético (Johnson et al. 1961, Cruz 2009a).

Cruz y Saravia (2008) han encontrado probabilidades mayores a 55% de ocurrencia de valores medios de ITH por encima de 72 al norte del Rio Negro durante el mes de enero. El valor de 72 para el ITH umbral o crítico ha sido reportado por Johnson et al. (1961).

Se considera como ola de calor a un período anormalmente cálido y húmedo, que dura de varios días a varias semanas (SAM, 1989).

Al caracterizar olas de calor ocurridas en Salto en una serie de cinco años (diciembre a marzo), Saravia y Cruz (2006) concluyeron que las olas de calor de mayor duración ocurren durante los meses de diciembre y enero con un promedio de diez horas con ITH mayores o iguales al umbral de peligro (78, ver capítulo 2.3.3.1.) y seis horas en promedio por encima del umbral de emergencia (82), por lo que según su intensidad y duración se pueden considerar de fuertes a severas.

En situaciones de olas de calor se agravan aún más los efectos en la productividad, debido a que los mecanismos de control de la termorregulación animal resultan severamente afectados en condiciones de estrés agudo.

En Rafaela (Santa Fe, Argentina), Valtorta y Gallardo (2002) observaron una reducción significativa del 17% de la producción de leche Holando de alta producción (25 L/d). Saravia (2009) en Salto (Uruguay) observó una disminución de 18% en la producción de leche, grasa y proteína durante la ocurrencia de olas de calor severas, en vacas primíparas Holando.

#### 2.3.2.2. Estrés por frío

Eventos extremos de frío, combinados con precipitaciones y fuertes vientos, afectan la productividad animal, especialmente por mortalidad de animales recién esquilados y corderos, constituyendo un componente importante de los bajos índices de procreo nacionales, siendo neonatales la mayoría de las muertes. Aproximadamente el 80- 84% respecto al total de muertes registradas ocurren en las primeras 48- 72 horas de vida, debidas al complejo exposición- inanición, el cual se constituye por una situación de temporal (Caffera et al., 2014).

Ante situaciones de baja temperatura del aire, la lluvia y el desplazamiento de las masas de aire enfrían al animal, ya que aceleran las pérdidas de calor por convección y evaporación (Saravia y Cruz, 2003).

El frío incrementa las necesidades energéticas de mantenimiento, la utilización de las reservas energéticas y disminuye el periodo de supervivencia (rango A → D de la figura No. 7, Johnson, 1987b).

La menor productividad durante el invierno está asociada a mayor demanda de energía para manutención y a menor digestibilidad del alimento (Arias et al., 2008).

Para mantener la homeotermia, la pérdida de calor del animal debe igualar su producción de calor. Durante el invierno y en condiciones secas (sin lluvia) se incrementa marcadamente la pérdida de calor no evaporativo (radiación, conducción y convección).

En el caso de corderos recién nacidos, al ser animales muy pequeños, tienen más superficie por masa, por lo que son más propensos a perder calor; es por esto que el peso al nacer de los mismos es muy importante.<sup>4</sup>

### 2.3.3. Índices de confort y estrés térmico

#### 2.3.3.1. Índices de estrés por calor

El índice más frecuentemente utilizado para medir el estrés por calor es el índice de temperatura y humedad (ITH).

El índice de temperatura y humedad (Thom, 1959) ha sido ampliamente utilizado para estimar los niveles en estrés por calor. El mismo fue generado para detectar niveles de estrés por calor en humanos.

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

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

Dónde:

Ta= temperatura del aire en °C.

HR= humedad relativa (%)

Según Johnson et al. (1961), la zona de confort térmico para vacas Holando en lactación toma valores de ITH entre 35 y 70, y el valor umbral se ubica en 72. Esto fue determinado en cámaras climáticas y previo al importante

---

<sup>4</sup> Van Lier, E. 2015. Com. personal.

mejoramiento genético realizado en las últimas décadas. En Uruguay, se ha verificado la ocurrencia de niveles de ITH superiores al umbral de 72 mencionado (Cruz y Saravia, 2008).

Cruz (2009a) estimó umbrales de ITH para vacas primíparas Holando en pastoreo, en las condiciones típicas de Uruguay y en lactación, obteniendo valores críticos de: 75 para el ITH del día del control lechero, 75 para el ITH del día anterior y 72 para el ITH de dos días antes.

Según Collier et al. (1982), disminuciones significativas en producción de leche y en parámetros reproductivos ocurren con un ITH medio diario por encima de 76.

En Uruguay, los niveles de ITH en verano aumentan de S a N del país, obteniéndose a nivel medio mensual los mayores valores para el mes de enero (Cruz y Saravia, 2008). La mayor duración promedio diaria de estrés se dio en enero en los departamentos de Salto y Artigas, con 10 horas en la fase diurna y 4 horas en la fase nocturna. Este trabajo fue realizado para las localidades de Artigas, Salto, Paysandú, Paso de los Toros, Melo, Rivera, Treinta y Tres, Mercedes, Rocha y Montevideo, para el período 1992- 1997.

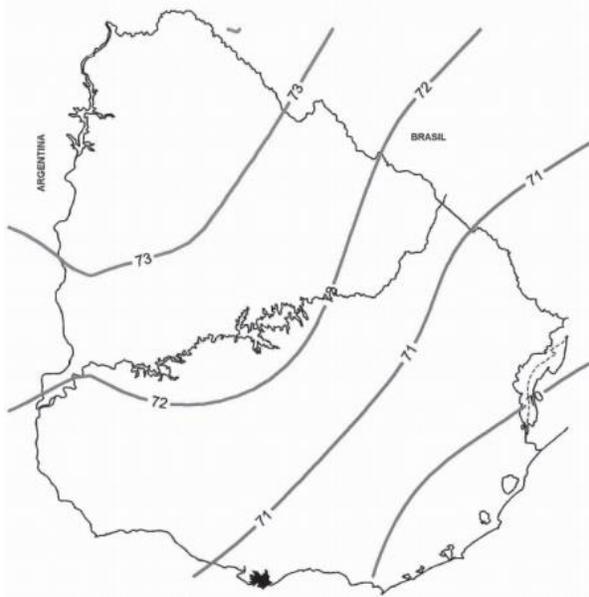


Figura No. 8. Isolíneas de ITH promedio mensual para enero, período 1961-1990.

Fuente: Cruz y Saravia (2001).

En Salto se encontró una probabilidad de 85% de  $ITH \geq 72$  para enero a nivel diario en el período 1992- 1997 (Cruz y Saravia, 2008).

Los animales precisan 8 horas con un  $ITH$  menor a 72 para recuperar la normotermia, sino se les hace muy difícil luchar con el calor al día siguiente. Si esto no se logra, ya el animal comienza a mostrar síntomas de enfermedad, y la primera respuesta a nivel productivo es disminuir la producción de leche (Saravia, 2009).

### 2.3.3.2. Índices de estrés por frío

Existen varios índices para medir el estrés por frío; los más utilizados son el índice de enfriamiento por el viento (Wind Chill Index, Siple y Passel, 1945) y el índice de enfriamiento (Chill Index, Nixon-Smith 1972, Donnelly 1984). En el presente trabajo se utilizará únicamente el Chill Index, ya que además de la temperatura del aire y la velocidad del viento considera la variable precipitación, siendo un factor importante en las condiciones de enfriamiento para los animales en condiciones pastoriles en nuestro país.

Donnelly (1984) utilizó el Chill Index para estimar el potencial de enfriamiento del ambiente sobre corderos mellizos Merino durante los tres primeros días de vida, así como para ovejas recién esquiladas.

$$C = (11,7 + 3,1V^{0,5}) * (40 - T) + 481 + R$$

Dónde:

C = pérdidas potenciales de calor ( $\text{kJ/m}^2/\text{hora}$ )

V = velocidad del viento media diaria ( $\text{m/s}$ )

T = temperatura media diaria del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )

R = efecto de la lluvia.  $418 (1 - e^{-0.04x})$  donde x es la precipitación total diaria ( $\text{mm}$ )

En el experimento de Donnelly (1984), a valores del índice de enfriamiento de  $1120 \text{ kJ/m}^2/\text{h}$  (valor crítico), la probabilidad de encontrar corderos moribundos en los tres primeros días de vida fue de 69% a un peso maternal de 35 kg y de 51% para ovejas de 55 kg. A un índice de  $850 \text{ kJ/m}^2/\text{h}$ , la probabilidad de muerte se redujo a 14 y 7% respectivamente.

Por este motivo, es que más allá de los valores obtenidos de pérdidas potenciales de calor en el Chill Index, es importante considerar otros aspectos propios del animal, los cuales podrían disminuir considerablemente los riesgos de mortandad. Por ejemplo: la condición corporal y estado nutricional de las madres al momento de la parición, largo y tipo de vellón, peso al nacer de los

corderos y % de grasa parda (es un tejido adiposo que solo poseen los corderos al nacer, de alta tasa energética y de rápido metabolismo), consanguinidad y comportamiento materno. Para el caso de las ovejas recién esquiladas es muy importante tener una buena condición corporal, con gran cantidad de reservas, abrigo o zonas de resguardo y buena alimentación disponible para hacer frente a condiciones adversas. También influye la raza del animal, y su grado de aclimatación al frío.<sup>4</sup>

## 2.4. EFECTOS INDIRECTOS DEL CLIMA

Como se mencionó anteriormente, el clima afecta al ganado indirectamente, cuando los elementos del clima determinan el nivel de producción de los alimentos naturales que los deben sustentar, y cuando favorecen o limitan sus enfermedades y parásitos (Valtorta et al., 2013).

### 2.4.1. Cobertura vegetal

A nivel nacional, en los campos predominan las gramíneas perennes, encontrándose especies templadas (C3) que se han adaptado a condiciones de mayor temperatura y especies tropicales (C4), adaptadas a condiciones de menor temperatura. Las especies C3, presentan ciclo invernal y son productivas mayoritariamente en otoño, invierno y primavera. Las especies C4 presentan ciclo estival y permanecen productivas en primavera, verano y otoño. Las especies C4 son las más frecuentes, participando con 60% a 80% de la cobertura del suelo (Berreta, 1998).

No existe una base de datos para los requerimientos de cada una de las especies vegetales nativas, sin embargo, los pastos de zonas templadas están constituidos por una mezcla de especies C3 y C4 que poseen requerimientos térmicos similares dentro de cada grupo (C3 y C4) (ver cuadro No. 1, Bettoli et al., 2010).

Cuadro No. 1. Rangos térmicos para los distintos grupos fotosintéticos.

<b>GRUPO SEGÚN PATRON FOTOSINTÉTICO</b>	<b>RANGO TEMP. SOBREVIVENCIA (°C)</b>	<b>RANGO TEMP. OPTIMO (°C)</b>
C3 adaptada a mayores temp.	10- 35	25- 30
C4 adaptada a menores temp.	10- 40	15- 30

Fuente: Bettoli et al. (2010).

En el país, los periodos de bajas temperaturas, así como aquellos de baja disponibilidad de agua en el suelo son críticos para el crecimiento de las

especies forrajeras, y son determinantes de las variaciones estacionales en la oferta de forraje que caracteriza a las pasturas anuales y perennes (Mazzanti et al., 1992).

Las diferencias entre las tasas de crecimiento de forraje del invierno y primavera son del orden de 1:5 y hasta 1:10 (Agnusdei et al., 2001). Cuando los sistemas de producción son extensivos, la dotación anual de animales es altamente dependiente de la capacidad de carga de las pasturas en las épocas en que las mismas son menos productivas. Esto genera bajas eficiencias de utilización del crecimiento de forraje en las distintas estaciones del año y acumulaciones de material muerto que perjudican la calidad y la persistencia productiva de las pasturas (Agnusdei et al., 2001).

Las curvas estacionales de crecimiento de pasturas constituyen una herramienta básica para la presupuestación forrajera. Las mismas caracterizan la dinámica de crecimiento de las pasturas para las condiciones agronómicas y ecológicas en que fueron determinadas, tales como el nivel de fertilización mineral y el tipo de suelo y clima (Agnusdei et al., 2001).

#### 2.4.3. Aspecto sanitario

El clima influye sobre el aspecto sanitario de los animales. Es decir, sobre la alimentación (pasturas o suplementos), pudiendo afectar la ingesta de las mismas o bien provocar pérdidas en la ganancia de peso, intoxicación, etc.; o directamente sobre el animal, favoreciendo la incidencia de enfermedades.

Investigaciones realizadas en la Cuenca Lechera Santafesina (Argentina) han confirmado que cuando ocurren olas de calor se altera el recuento de células somáticas, el porcentaje de grasa butirosa y de proteínas, no sólo por los trastornos fisiológicos que causa por sí mismo el estrés sino también porque dicha condición favorece la ocurrencia de mastitis subclínicas (Muñoz et al., 2013).

La suplementación proteica con afrechillo de trigo, puede contener una cantidad considerable de esclerotos (estructuras de resistencia) de *Claviceps purpurea*. Esto se corrobora con los análisis realizados en el laboratorio de Toxicología del INTA Balcarce, donde durante el año 2003 se analizaron 95 muestras de alimentos resultando positivas a la presencia de ergocalcoides 26 de las mismas. Bovinos que recibieron 35 g. de esclerotos durante 50 días tuvieron una ganancia de peso 50% menor que los animales que no consumieron esclerotos, con presentación de signos de estrés térmico (Odriozola, 2009).

En 2014 en el INTA Cuenca del Salado (Argentina), se estudió las causas de muerte de varios bovinos de cría, de diferentes categorías. Los signos clínicos variaron de muerte inesperada a depresión, excitación, ptialismo

o sialorrea (segregación excesiva de saliva), disnea (dificultad en la respiración), taquipnea (aumento de la frecuencia respiratoria), rinorragia unilateral (hemorragia de las fosas nasales) y búsqueda de sombra. En muchos de los casos se describió que los animales afectados estaban cubiertos “de barro hasta el lomo”. Se trata de síndrome distérmico (Rodríguez et al., 2014). El síndrome distérmico se caracteriza por temperatura alta, entre 40°C y 42°C, estrés térmico, disnea marcada, algunos bovinos permanecen con la boca abierta, presentan protrusión de lengua, el pelo sin brillo, disminución del consumo de alimento, excesivo consumo de agua y poliuria. La oferta forrajera estaba compuesta por especies de raigrás y otras gramíneas, constatándose que gran parte de las inflorescencias estaban infectadas con el hongo *Claviceps purpurea*, productor de ergocalcoides. Al momento del problema, se constataron días de alto porcentaje de humedad y elevada temperatura ambiental (emergencia: ITH > 83, Rodríguez et al., 2014).

Otro caso difundido fue el de la *Festuca arundinacea* contaminada con un hongo endófito, *Neotyphodium coenophialum*, el cual puede producir toxinas cuyos síndromes en vacas y ovejas se manifiestan como gangrena o pie de festuca (se manifiesta en invierno), síndrome distérmico (se presenta en verano), necrosis grasa y trastornos reproductivos. Una de las variedades de *Festuca arundinacea* contaminada con *Neotyphodium coenophialum* puede reducir a la mitad la ganancia de peso diario y hacer que la preñez llegue al 59% en rodeos bovinos, sumado a episodios de mortandad (Odriozola, 2014).

Cambios repentinos de tiempo atmosférico y largos períodos de inundación son factores predisponentes que disminuyen la resistencia del animal y facilitan el ataque de *Listeria monocytogenes*, una bacteria que se desarrolla intracelularmente y es causante de Listeriosis. La Listeriosis es una enfermedad infecciosa que se caracteriza generalmente por meningoencefalitis, aunque en algunas ocasiones puede producir abortos o septicemia (Odriozola, 2009).

## 2.5. EL CLIMA COMO RECURSO

Los elementos de carácter físico de la biosfera, comprendiendo los meteorológicos, astronómicos y edáficos, que actúan sobre los procesos de crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos, reciben la denominación general de elementos biometeorológicos (Pascale et al., 2004).

Los elementos biometeorológicos auxégenos son aquellos que favorecen o regulan el crecimiento, y los anaptígenos son los que satisfacen las exigencias para el desarrollo.

En cada sub período vegetal existe una combinación óptima de elementos bioclimáticos para un crecimiento o desarrollo con vigor máximo (Pascale et al., 2004).

#### 2.5.1. Radiación solar

La radiación solar es el elemento fundamental de todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la biosfera.

La misma tiene efectos fotoenergéticos, producidos por la cantidad o intensidad de energía provista para el proceso de formación de materia orgánica por fotosíntesis, actuando como un elemento auxégeno.

También tiene efectos fotoestimulantes, producidos por la calidad lumínica, sea en el alargamiento de los tallos, expansión foliar y formación de pigmentos, y especialmente por la duración diaria del período luminoso a través del fotoperíodo. En este caso, la radiación solar estaría actuando como un elemento anaptígeno (Pascale et al., 2004).

#### 2.5.2. Temperatura del aire

Es el elemento meteorológico más importante en el crecimiento y el desarrollo de los vegetales determinando, en gran medida, la distribución geográfica de las comunidades botánicas naturales y la de los cultivos agrícolas.

La acción biometeorológica de la temperatura se manifiesta, ya sea por la intensidad de sus valores actuales y extremos, por la permanencia y continuidad en niveles específicos o por la amplitud de las variaciones que registran su marcha diaria y anual.

##### 2.5.2.1. Acción positiva de la temperatura del aire sobre el crecimiento

La acción de la temperatura del aire sobre los procesos de crecimiento, se opera principalmente por su magnitud a través de las conocidas “temperaturas cardinales”, las cuales se corresponden con los “puntos cardinales” de crecimiento ya mencionados.

En condiciones de ilimitada provisión de intensidad lumínica e hídrica, la temperatura del aire condiciona el tercer proceso integrante de la fotosíntesis. Asimismo, la temperatura actúa favoreciendo la intensidad respiratoria, por lo que el balance entre la formación de materia por fotosíntesis y el consumo por respiración explicaría la curva de temperaturas cardinales de crecimiento.

A niveles térmicos inferiores a la temperatura mínima vital, la disponibilidad de CO<sub>2</sub> por los cloroplastos está limitada por la reducción en la permeabilidad celular. A medida que la temperatura supera este nivel, se va

incrementando paulatinamente la cantidad de asimilación neta hasta que se alcanza el rango de temperaturas óptimas.

Cada cultivo manifiesta diferentes valores térmicos para cada punto cardinal, los cuales también pueden variar dentro de ciertos límites según otras condiciones acompañantes para el crecimiento, pero atendiendo a los dos grandes grupos de cultivos anuales pueden señalarse, para cultivos invernales como cereales (trigo, avena, cebada, centeno), hortalizas (repollo, espinaca, haba, arveja, lenteja), forrajeras (tréboles, vicias, agropiro) e industriales (lino y colza), los niveles térmicos de 5 y 35°C como valores auxógenos para el comienzo y fin de crecimiento, y entre 15 y 25°C para el rango de temperaturas óptimas. Para cultivos anuales estivales, los respectivos valores son 10 (girasol, arroz, tomate, maíz, mijo, poroto, alfalfa perenne, sorgo forrajero, entre otros) o 15 (soja, tabaco, caña de azúcar, algodón, alfalfa común, sorgo granífero, caupí, melón, batata, berenjena, etc) - 45°C y 30- 32°C (Pascale et al., 2004).

#### 2.5.2.2. Acción positiva de la temperatura del aire sobre el desarrollo

A diferencia del crecimiento, donde el incremento diario o periódico se puede medir fácilmente, la cuantificación del cumplimiento del desarrollo solo puede evaluarse por la duración en días de los subperíodos y la energía de fase que los caracterice. Por esta circunstancia, se torna dificultoso poder revelar la acción anaptígena de la temperatura considerada solamente como evaluadora de la disponibilidad calórica, en primer lugar por su relación con el crecimiento, y secundariamente, porque para ciertas manifestaciones del desarrollo actúa conjuntamente con otros factores biometeorológicos (Pascale et al., 2004).

#### 2.5.3. Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo actúa con acciones positivas y negativas sobre el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos.

Sus aspectos auxégenos y anaptígenos se vinculan con el contenido hídrico de libre disponibilidad, en virtud del cual la planta puede utilizar toda el agua que necesita para cumplir satisfactoriamente sus procesos vitales y productivos.

El agua es el mayor constituyente fisiológico activo de los tejidos de las plantas. Interviene en la fotosíntesis e hidrólisis, es el solvente en el cual las sales, azúcar y otros solutos pasan de una célula a otra y de un órgano a otro, siendo un elemento esencial para el mantenimiento de la turgencia, necesaria para el crecimiento de la célula. Además, es necesaria para la transpiración, que aunque no ejerce una función útil en el crecimiento y desarrollo de las plantas, desempeña diversos efectos benéficos.

Deficiencias de agua no solo reducen el rendimiento, sino que también alteran la forma de crecimiento. En general, la profundidad de las raíces disminuye con el aumento de la humedad del suelo, ya que con poca humedad la raíces tienden a profundizar, se hacen más finas y más largas. Los riegos frecuentes conducen a un crecimiento superficial de las raíces, lo cual resultaría inconveniente durante épocas de sequías.

Si la transpiración es mayor que la absorción de agua, el balance hídrico de la planta es negativo, circunstancia que la planta puede evitar aumentando la expansión radicular o aumentando la fuerza de succión para obtener mayor cantidad de agua retenida por el suelo (Pascale et al., 2004).

#### 2.5.4. Viento y humedad del aire

Por sí mismo, el viento no es un factor esencial para la vida vegetal. Sin embargo, ejerce directa o indirectamente una serie de acciones, que de acuerdo a sus características e intensidad provocan efectos favorables o perjudiciales, tanto sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos, como sobre otros factores biológicos y procesos de la producción agropecuaria.

El efecto favorable de los movimientos del aire en la biosfera es importante como proveedor de CO<sub>2</sub> a la vegetación.

La acción del viento sobre los procesos de crecimiento vegetal es compleja y está relacionada con su influencia en la pérdida de agua desde la superficie por evaporación o evapotranspiración que, excluyendo las características físicas y/o biológicas de la superficie, depende principalmente de su velocidad, temperatura y contenido de vapor (Pascale et al., 2004).

## 2.6. LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL BERNARDO ROSENGURTT

La Estación Experimental (ver figura No. 1) está ubicada en el kilómetro 408 de la Ruta Nacional número 26 (tramo Melo- Tacuarembó), en la zona de Bañado de Medina, a 28 km de la ciudad de Melo. Se eligió esta región debido a que es una de las típicas regiones ganaderas del país con alto potencial productivo para la lechería, siendo una cuenca no tradicional.<sup>2</sup>

La EEER cuenta con 997 ha, de las cuales 200 ha están dedicadas a la lechería, 80 ha están destinadas a montes artificiales que se orientan a trabajos experimentales en el rubro forestal, y la superficie restante se dedica a la ganadería de carne.

El tipo de cobertura vegetal predominante en los sistemas de producción lechera de la EEER es de base pastoril, predominando la utilización de praderas sembradas “permanentes” (mezclas de gramíneas y leguminosas forrajeras de ciclo invernal y estival, como *Festuca arundinacea*, *Trifolium*

*repens* y *Lotus corniculatus*). Las especies más frecuentemente incorporadas en las praderas sembradas son *Lolium multiflorum*, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus*. En invierno verdeos, como avena y raigrás, y en verano se siembra sorgo forrajero como verdeo de verano.<sup>5</sup>

Para la ganadería de carne se destina principalmente campo natural y campo natural mejorado.

Se presentan a continuación algunas figuras de las producciones y potreros utilizados para las diferentes producciones en la EEBR.



Figura No. 9. Algunos potreros destinados a la ganadería de carne en la estación.

---

<sup>5</sup> Astigarraga, L. 2013. Com. personal.



Figura No. 10. Potrero destinado a ovinos.



Figura No. 11. Ensayos en producción lechera llevados a cabo en la estación.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

Se utilizó la siguiente información meteorológica:

- temperatura mensual máxima media, mínima media (período 1986-2007) y media (período 1986- 2014), para las localidades de Melo, Tacuarembó, Treinta y Tres, Salto y Colonia (ver figura No. 12).
- precipitaciones del total mensual para las localidades de Melo, Paso de los Toros, Treinta y Tres, Rivera, Vichadero, Minas de Corrales y Cebollatí (período 1960- 2014), Salto y Colonia (período 1986- 2014, ver figura No. 12).
- información de heladas agrometeorológicas a partir de la temperatura mínima sobre césped (período 1992- 2010), para Melo, Treinta y Tres, Rivera, Paso de los Toros, Tacuarembó, Salto y Colonia (ver figura No. 12).

Cabe destacar que la zona de estudio incluyó tres estaciones meteorológicas (Salto y Colonia se utilizaron para comparar regiones) y 7 estaciones pluviométricas, para obtener mayor representatividad espacial de la variable lluvia.

Para el caso de la localidad de Melo, se realizó un estudio más completo, utilizando valores de precipitaciones y temperaturas diarias, desde 1960 a 2014.

Se realizaron balances hídricos seriados, para el período 1980- 2015, según la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1967), para los cuales fueron necesarios datos de precipitación mensual, evapotranspiración potencial (ETP), y almacenaje de agua en los suelos.

Se calculó el Índice de temperatura y humedad en Melo, utilizando datos diarios de humedad relativa y temperatura máximas y mínimas para el período de 2010- 2015.

Para la estimación del Chill Index se utilizaron datos de temperatura media diaria, precipitación acumulada diaria y velocidad del viento media diaria para la localidad de Melo del período 2011- 2015. Para el último caso se trabajó con datos de velocidad del viento de 14 hs diarias, y se realizó un promedio de las mismas.

Para comparar las localidades de Colonia y Melo se utilizaron: temperaturas medias, mínima media y máxima media a nivel mensual; precipitación mensual (1986- 2014), precipitación por estación del año (1986-2014), cantidad anual de días con heladas agrometeorológicas (1992 – 2010), y balances hídricos seriados (1980- 2015). Se realizaron comparaciones de ITH

entre Melo y Colonia (2010- 2015), y del Chill index (2011- 2015) entre Melo y Salto.

Todos los datos meteorológicos fueron brindados por el Instituto Uruguayo de Meteorología (InUMet), a excepción de: temperatura y humedad utilizadas para calcular el ITH de Colonia, cuya fuente fue el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), y los datos de temperatura, precipitación y viento utilizados para calcular el Chill index de Salto, cuya fuente fue la estación Agrometeorológica ubicada en la Estación Experimental de Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS).

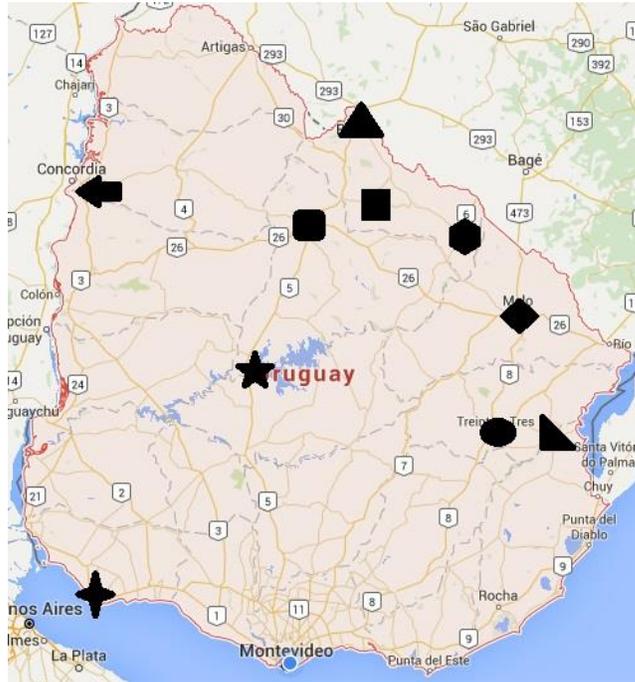


Figura No. 12. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el relevamiento de datos

		LATITUD	LONGITUD
+	COLONIA	-34,46	-57,84
★	PASO DE LOS TOROS	-32,8	-56,53
■	TACUAREMBÓ	-31,42	-55,59
▲	RIVERA	-30,90	-55,54
■	MINAS DE CORRALES	-31,6	-55,47
⬡	VICHADERO	-31,8	-54,72
●	TREINTA Y TRES	-33,22	-54,39
▲	CEBOLLATI	-33,3	-53,82
◆	MELO	-32,37	-54,19
←	SALTO	-31,23	-57,96

Figura No.13. Coordenadas (latitud S y longitud W en grados decimales) de las estaciones meteorológicas utilizadas para el relevamiento de datos.

### 3.2. METODOLOGÍA

Se realizó la descripción del comportamiento de las variables lluvia y temperatura para las distintas localidades, a través de medidas de tendencia central (medias, medianas), y medidas de dispersión (desvíos, coeficientes de variación), para representar la variabilidad interanual.

Se analizó el régimen agroclimático de las heladas agrometeorológicas, para lo que se tomó en cuenta: número de días con heladas al año y fecha de primera y última helada.

En el caso de la localidad de Melo se realizó un procesamiento más detallado: se cuantificó la cantidad de días con lluvia para cada mes, los milímetros acumulados por mes y los milímetros acumulados según la estación del año (diciembre, enero y febrero corresponden al verano; marzo, abril y mayo al otoño; junio, julio y agosto al invierno; setiembre, octubre y noviembre a la primavera).

Para cuantificar las deficiencias o excesos de agua en el suelo se realizaron balances hídricos seriados a paso mensual (Thorntwaite y Mather, 1967) para la localidad de Melo, bajo los siguientes supuestos:

- toda la precipitación es igualmente efectiva. Es decir, que toda la precipitación va a infiltrar, no existiendo ni escurrimiento superficial ni drenaje profundo en tanto no se haya colmado la Capacidad de almacenaje de agua disponible (CAAD).
- la precipitación está disponible en primera instancia para ser evapotranspirada.
- los excesos, que comprenderían el drenaje profundo y el escurrimiento superficial, no se acumulan en el periodo que se generan hacia el siguiente. Se considera que estos se disipan y no se cuentan para el siguiente período (lo cual es válido si se trabaja a nivel mensual o decádico para Uruguay).

Para determinar el valor de la capacidad de almacenaje de agua disponible en el suelo se identificó el tipo de suelo dominante en la zona de estudio, a partir de la carta de reconocimiento de suelos 1:1.000.000 (MAP. DSF, 1976). El mismo correspondió a la formación Lechiguana para la localidad de Melo, Ecilda Paullier- Las Brujas para Colonia y Salto para Salto. A partir de allí se identificó la capacidad de agua disponible para los suelos predominantes de acuerdo a lo indicado por Molfino y Califra (2001) (113 mm, 137 mm y 109 mm respectivamente). Se utilizó la ETP promedio climática de acuerdo a la estimación de Boshell y Chiara (1982).

Se asume que las necesidades hídricas de las pasturas (cobertura vegetal) son equivalentes a la evapotranspiración potencial (Allen et al., 1998).

Se realizó la cuantificación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) según Valtorta y Gallardo (1996) para evaluar el posible efecto depresivo del calor sobre el ganado lechero, así como el índice de enfriamiento (Chill Index, Donnelly, 1984) para evaluar el efecto del frío en corderos.

Se calculó la probabilidad de que ocurran valores de ITH máximos mayores al umbral en todos los meses del año, así como probabilidad de que ocurran valores de Chill index mayores al crítico según el método de frecuencias acumuladas.

Para evaluar diferencias agroclimáticas con posible efecto sobre la producción lechera, se realizó una comparación entre las localidades de Colonia y Melo utilizando los siguientes indicadores: temperaturas medias, mínima media y máxima media mensuales; precipitación mensual acumulada, precipitación acumulada por estación del año, cantidad anual de días con helada agrometeorológica e ITH. Se tomó como referencia Colonia al ser una localidad representativa de la cuenca lechera tradicional.

Esta misma comparación se llevó a cabo para la producción ganadera, entre las localidades de Melo y Salto, siendo esta última una de las típicas regiones ganaderas del país, en especial de producción ovina. Por este motivo, en lugar del ITH se realizó la comparación con el Chill index.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Caracterización agroclimática de la región Noreste de Uruguay

##### 4.1.1.1. Temperatura del aire

La temperatura media anual en la zona Noreste de Uruguay fue de 17,7°C, con un rango de variación entre 11,5°C y 24,1°C. Las mayores temperaturas se registraron en los meses de enero y febrero, y las menores en los meses de junio y julio, en coincidencia con lo reportado para el comportamiento de la temperatura en otras regiones y a nivel de país (Cruz et al. 2000, Castaño et al., 2011).

En el gráfico No. 1 se representan las curvas de la temperatura media, mínima media y máxima media anuales para las localidades de Treinta y Tres, Tacuarembó y Melo, y en el cuadro No. 2 se agrupan las mismas temperaturas para las distintas estaciones del año.

Si bien se trata de una superficie de estudio pequeña a nivel climático, la temperatura presentó ciertas diferencias de acuerdo a las distintas zonas de estudio. La mayor temperatura media se registró en Melo en el mes de enero (24,1°C). Por otra parte, la menor temperatura media se registró en Tacuarembó en el mes de julio (11,5°C, ver gráfico No. 1).

Los valores del coeficiente de variación son bajos, siendo en la mayoría de los casos menor a un 10%, aunque entre los meses de mayo y agosto alcanzan un valor de hasta 20%.

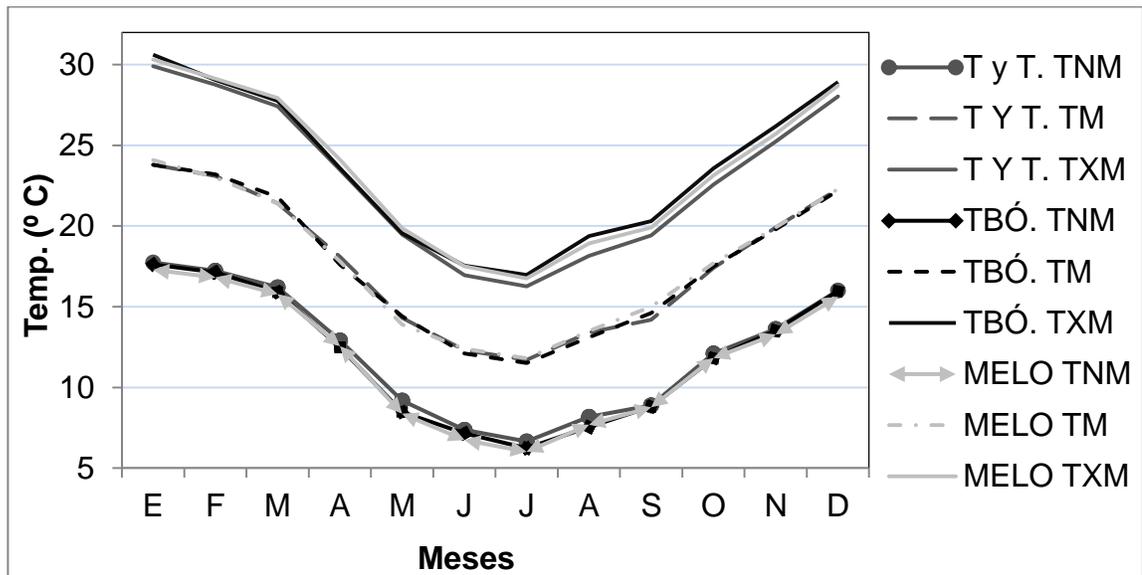


Gráfico No. 1. Evolución mensual de la temperatura media (TM), mínima media (TNM) y máxima media (TXM) para el período 1986- 2014 en Treinta y Tres (T y T.), Melo y Tacuarembó (TBÓ.).

A nivel estacional, las diferencias de temperatura media entre las diferentes localidades son mínimas, tal como se observa en el cuadro No. 2.

Cuadro No. 2. Temperaturas mínima media, máxima media y media, y amplitud térmica a nivel estacional según localidad, período 1986- 2007.

ESTACIÓN DEL AÑO	LOCALIDAD	T. MÍN. MEDIA	T. MEDIA	T. MÁX. MEDIA	AMPLITUD TÉRMICA
VERANO	TREINTA Y TRES	17,0	23,1	28,9	11,9
	TACUAREMBÓ	16,9	23,1	29,5	12,6
	MELO	16,6	23,1	29,4	12,8
OTOÑO	TREINTA Y TRES	12,8	17,9	23,5	10,7
	TACUAREMBÓ	12,3	17,9	23,6	11,3
	MELO	12,2	17,7	24,0	11,8
INVIERNO	TREINTA Y TRES	7,4	12,5	17,1	9,7
	TACUAREMBÓ	7,0	12,2	18,0	11
	MELO	6,8	12,6	17,7	10,9

<b>PRIMAVERA</b>	<b>TREINTA Y TRES</b>	11,5	17,2	22,4	10,9
	<b>TACUAREMBÓ</b>	11,4	17,3	23,4	12
	<b>MELO</b>	11,3	17,5	22,9	11,6
<b>PROMEDIO ANUAL REGIÓN</b>		11,9	17,7	23,4	11,5

Las mayores diferencias se observaron en las temperaturas mínimas medias y máximas medias. Las mayores temperaturas máximas medias correspondieron a las localidades de Tacuarembó y Melo, con 29,5 y 29,4°C respectivamente, superando el valor de Treinta y Tres en 0,5 y 0,6°C. La menor temperatura mínima media se dio en Melo, con un valor 0,2°C por debajo de Tacuarembó y 0,4°C de Treinta y Tres. Es por este motivo que las localidades de Melo y Tacuarembó presentaron mayor amplitud térmica.

Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos en lo que respecta a la temperatura máxima media, y se encuentran entre el 4 y 10%. Sin embargo, cuando se trató de temperatura mínima media, el coeficiente de variación permaneció bajo durante los meses más cálidos, pero durante los meses fríos se encontraron valores de hasta un 40%; esto significa que la temperatura mínima media tiene una alta variabilidad interanual en los meses más fríos, principalmente en Melo y Tacuarembó. En Treinta y Tres el coeficiente de variación siguió la misma tendencia pero llegó al 30%. Esto sucede porque la temperatura máxima media depende de la radiación solar, y la mínima media de las condiciones de la troposfera y del enfriamiento de la superficie, dependiendo mucho de las condiciones locales.<sup>6</sup>

#### 4.1.1.2. Precipitaciones

La precipitación anual promedio de la región se encontró entre los 1200 y 1600 milímetros (mm), registrándose los mayores valores en la estación meteorológica de Rivera, mientras que los menores correspondieron a Cebollatí, lo que concuerda con lo reportado por Castaño et al. (2011).

El valor promedio de precipitación mensual ronda en los 115 mm, variando entre 84 y 161 mm.

En términos absolutos, los veranos menos lluviosos se registraron en Melo y Cebollatí (311 y 287 mm respectivamente), y los más lluviosos en Rivera (415 mm). Por otra parte, los inviernos menos lluviosos se encontraron en Paso de los Toros (285 mm) y Minas de Corrales (306 mm) y los más lluviosos en Treinta y Tres (353 mm, ver cuadro No. 4).

<sup>6</sup> Cruz, G. 2016. Com. personal.

La distribución de la lluvia a lo largo del año se mostró diferente según la localidad. Melo y Cebollatí presentaron mayor precipitación durante los meses de invierno (26% y 28% del total anual respectivamente). Por otra parte, Paso de los Toros presentó un pico de precipitación durante el verano (27% del total anual). Treinta y Tres presentó dos picos de precipitación, los cuales se dieron durante el verano y el invierno (26% del total anual en cada estación). En Vichadero y Minas de Corrales las estaciones de primavera y otoño fueron las más lluviosas (26% y 27% del total anual), concentrándose la menor precipitación en los meses de invierno. Rivera siguió esta misma tendencia, pero con un pico más pronunciado en primavera- verano (26% y 27% respectivamente, ver cuadro No. 4).

La mediana siguió la misma tendencia.

El coeficiente de variación (CV) de las lluvias acumuladas por estación del año presenta valores por encima del 60% en todos los sitios. Los mayores valores del CV se registraron en verano y otoño, alcanzando valores de 80% (ver cuadro No. 3). Esto confirma la alta variabilidad interanual que presenta la precipitación en todas las localidades del país.<sup>1</sup>

Cuadro No. 3. Precipitaciones acumuladas (RR) promedio por estación del año (mm), porcentaje del total anual y coeficiente de variación (%), CV) para las localidades de Treinta y tres (T y T), Melo, Cebollatí (CBTÍ), Minas de Corrales (MDC), Paso de los Toros (PDT), Rivera, y Vichadero (VICH). Período 1960-2014.

	VERANO			OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA			TOTAL RR ANUAL
	RR	%	CV	RR	%	CV	RR	%	CV	RR	%	CV	
<b>T Y T.</b>	354	26	75	329	24	73	353	26	64	321	24	67	1357
<b>MELO</b>	311	24	76	330	25	73	339	26	60	338	26	61	1318
<b>CBTÍ.</b>	287	24	80	313	26	80	337	28	69	281	23	66	1218
<b>MDC.</b>	347	24	76	376	26	72	306	22	68	390	27	72	1419
<b>PDT.</b>	360	27	74	350	26	73	285	22	67	328	25	63	1323
<b>RIVERA</b>	415	26	69	411	26	70	335	21	63	436	27	65	1597
<b>VICH.</b>	334	24	70	368	26	71	340	24	64	374	26	60	1416

#### 4.1.1.3. Heladas

Como se señaló en el capítulo 2.1.3., se denomina helada agrometeorológica a la ocurrencia de temperaturas mínimas diarias registradas a 5 cm del suelo, cuyos valores sean menores o iguales a 0°C.

El promedio de días con heladas al año varió entre 15 y 46 días, correspondiendo el mayor valor a Melo, y el menor a Paso de los Toros (ver gráfico No. 2). Cabe destacar que en la última localidad mencionada, desde el año 1997 al 2001 el termómetro de mínima sobre césped permaneció roto durante algunos momentos del año, por lo que este dato puede no ser muy confiable.

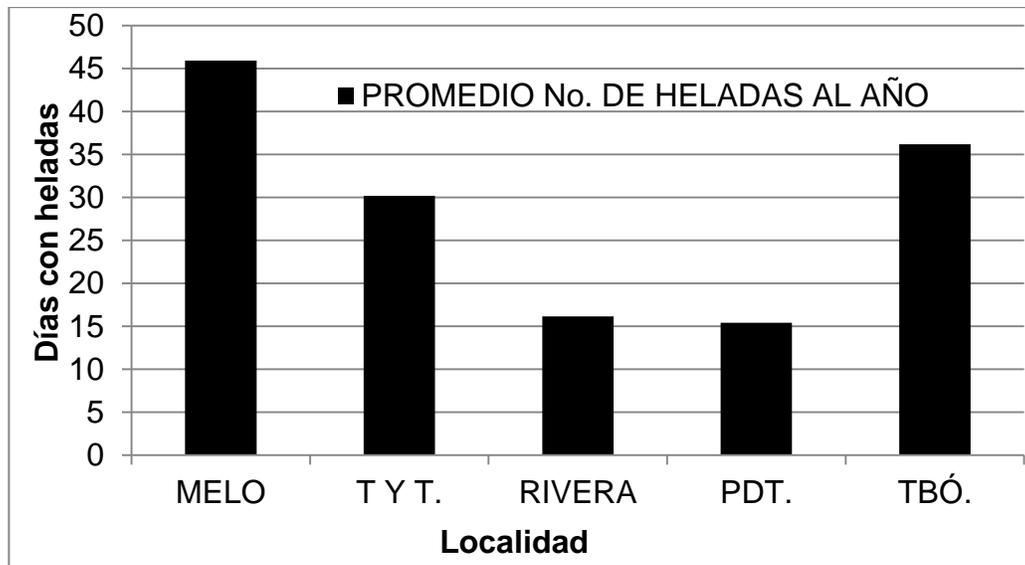


Gráfico No. 2. Número promedio con helada agrometeorológica (en días) para el período 1992- 2010 en las localidades de Melo, Treinta y tres (T y T), Rivera, Paso de los Toros (PDT), y Tacuarembó (TBÓ).

El número acumulado anual de heladas agrometeorológicas varió de 8 a 80 días, donde la mayor cantidad de heladas por año correspondió a Melo, siendo Rivera la zona con menor número de heladas al año.

Además, en promedio la helada más temprana se registró en Melo, es decir que es la zona en la cual la temperatura sobre césped alcanza antes las temperaturas por debajo de 0°C y es la región que presentó un mayor período con heladas (ver cuadro No. 4).

Cuadro No. 4. Fechas de primera y última helada, período con heladas (PCH) y período libre de heladas (PLH) en días para las localidades de Melo, Treinta y tres (T y T), Rivera, Paso de los Toros (PDT), y Tacuarembó (TBÓ).

	PRIMERA HELADA	ULTIMA HELADA	PCH	PLH
<b>MELO</b>	22-abr.	10-oct.	171	194

<b>TYT.</b>	19-may.	07-oct.	142	223
<b>RIVERA</b>	23-may.	09-sep.	110	255
<b>PDT.</b>	28-may.	07-sep.	102	264
<b>TBÓ.</b>	04-may.	27-sep.	146	219

Con estos resultados se continúa observando que los valores más alejados de la situación agroclimática promedio en el país, de temperatura, precipitaciones y heladas agrometeorológicas correspondieron a Melo, región a la que, como fue mencionado anteriormente, se priorizó en el estudio, considerando el comportamiento productivo diferente al de otras localidades diferentes del país.

#### 4.1.2. Caracterización detallada de Melo

##### 4.1.2.1. Precipitaciones

Como fue mencionado anteriormente, si bien Melo no es la región de mayor o menor precipitación acumulada anual, presenta como particularidad que la menor cantidad de precipitación acumulada se registra en los meses de verano, cuando la demanda atmosférica es máxima. Esto implica que existan períodos de exceso de agua, donde se sobrepasa la capacidad del suelo de almacenar agua, y en los períodos en los cuales el mismo se encuentra seco. Esto se confirmará más adelante mediante la realización del balance hídrico para dicha localidad.

Utilizando datos diarios de lluvia, se observó lo siguiente: respecto a la cantidad anual de días con lluvia desde el año 1960, que es el primer año utilizado para esta caracterización, hasta 1977 la cantidad de días registrados con precipitaciones varió entre 60 y 90 días, mientras que a partir de dicho año, hasta el 2014 que es el último año analizado, los valores se ubicaron casi siempre por encima de los 100 días, donde los mayores valores correspondieron a los años 1984 y 2002, con 140 y 144 días con lluvia respectivamente.

A nivel promedio, el número de días con precipitaciones fue similar en los distintos meses, y rondan entre 7 y 9 días al mes. Sin embargo, año a año estos valores difieren enormemente. Por lo tanto, la alta variabilidad interanual correspondió no solamente a la cantidad de precipitación acumulada, sino también a la cantidad de días con lluvia de cada mes.

El promedio anual de lluvia fue de 1318 milímetros (mm), el cual coincide aproximadamente con el promedio anual reportado por Castaño et al.

(2011) para dicha localidad. Sin embargo, se registraron años, como el 2001 y 2002, en los cuales las precipitaciones superaron los 2000 mm anuales, así como los años 1964 y 1989, donde no se llegaron a los 800 mm anuales.

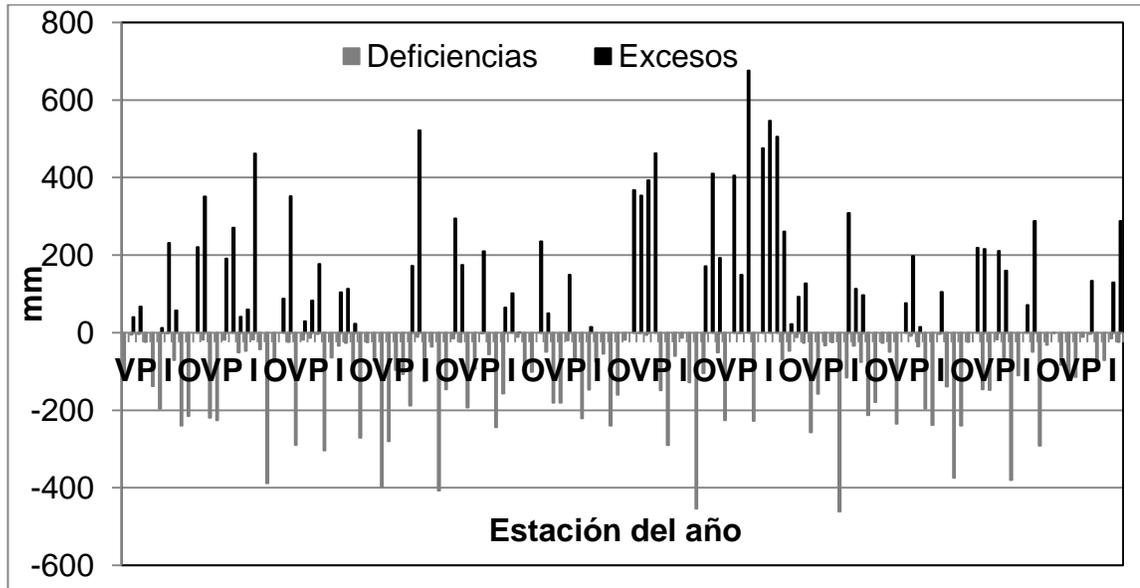
Considerando la cantidad de precipitación acumulada para cada mes, el mayor valor promedio fue de 126 milímetros y correspondió al mes de julio. Se han registrado precipitaciones entre 450 y 500 mm en febrero en los años 1990 y 2010, que se alejan considerablemente del promedio registrado para dicho mes, el cual fue de 124 mm.

#### 4.1.2.2. Resultados del balance hídrico

El suelo dominante correspondió a la formación Lechiguana (comprende un grupo de Brunosoles y Vertisoles) y presenta una capacidad de agua disponible de 113,3 mm.

En cuanto a los resultados del balance hídrico seriado, se puede afirmar que, entre los meses de noviembre y abril siempre hubo déficit de agua. Por otro lado, de junio a setiembre el suelo se saturó rápidamente, generando exceso hídrico y anegamiento. Sólo en octubre y mayo esta situación no se presentó.

Cabe destacar que según la cantidad (milímetros), el total de deficiencias y excesos de agua fue muy similar, pero a nivel estacional los picos máximos se dieron en los excesos, los cuales en algunas ocasiones alcanzaron los 800 milímetros, generalmente durante el invierno. Esto trae consecuencias negativas, ya que llueve más, hay temperaturas muy bajas, la demanda atmosférica es mínima y por lo tanto la evapotranspiración potencial también es mínima, provocando mayor anegamiento de los suelos, con las consecuencias que esto tiene en el comportamiento de las vacas, y en su producción. En contraposición, los suelos permanecen muy escasos de agua durante los meses de verano, con efecto negativo para la cobertura vegetal.



V: verano, O: otoño, I: invierno, P: primavera.

Gráfico No. 3. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1960- 2014, localidad de Melo.

#### 4.1.2.3. Índice de temperatura y humedad

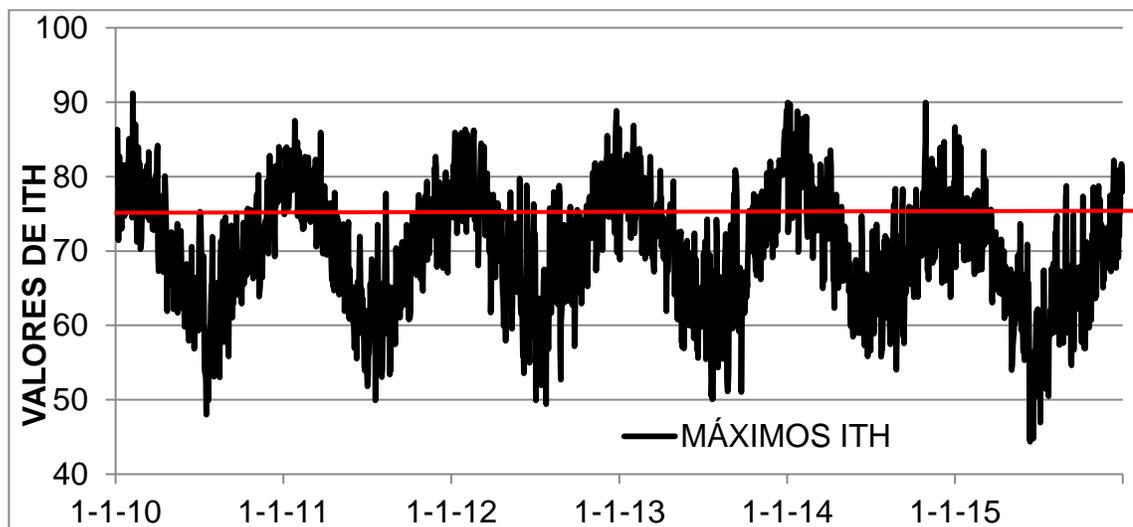
La realización del índice de temperatura y humedad (ITH) se llevó a cabo para evaluar si el calor estival podría resultar estresante para el ganado lechero.

Para la realización del mismo se utilizaron datos diarios de temperaturas máximas y mínimas en un período de 6 años (Cruz y Urioste, 2009b); el mismo comprendió los años 2010- 2015. Por lo tanto se calculó un ITH máximo y un ITH mínimo.

La humedad relativa utilizada fue la de las 15:00 hs, hora en la cual se registran las máximas temperaturas, y la de las 07:00 hs para el ITH mínimo. Los resultados obtenidos se observan en los gráficos No. 4 y 5, y el cuadro No. 5.

Con respecto al ITH máximo, se observó que entre los meses de diciembre, enero, febrero y marzo los valores se ubicaron casi siempre por encima del valor crítico (mayor o igual a 75) estimado por Cruz (2009a). En los meses de marzo, abril y noviembre los valores máximos también se ubicaron durante algunos días por encima de dicho valor, mientras que el resto del año los valores estuvieron dentro de los considerados normales (ITH menor a 75).

Un aspecto importante a destacar con respecto al ITH máximo, es que en el año 2015 fueron más bajos con respecto al resto de los años (ver gráfico 4). Esto fue debido a que en el verano 2014- 2015 se registraron temperaturas máximas bastante menores al resto de los años.

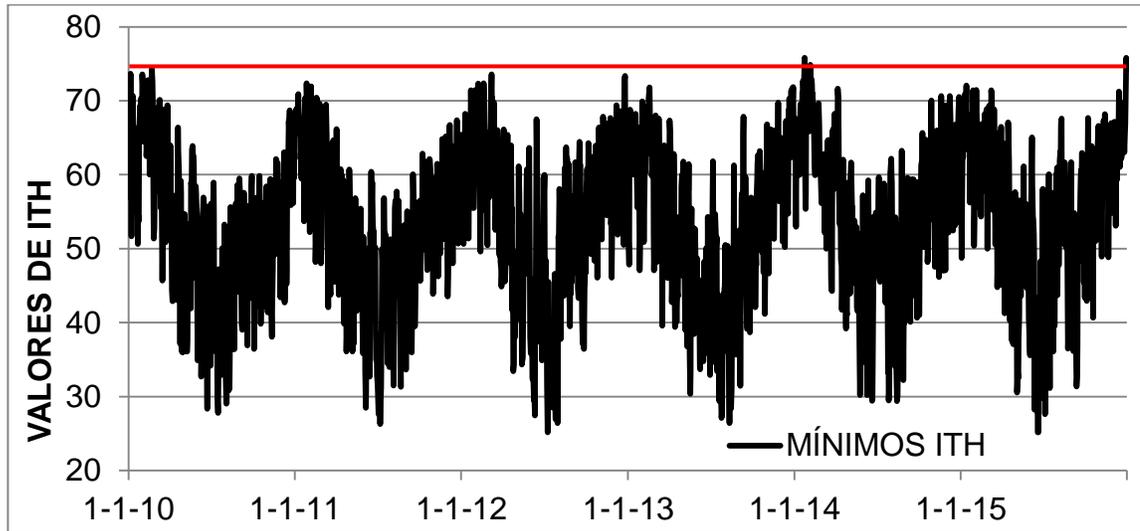


La línea roja corresponde al valor crítico de Índice de Temperatura y Humedad estimado por Cruz (2009a) para Uruguay.

Gráfico No. 4. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) máximo diario para la localidad de Melo en el período 2010- 2015.

Por otra parte, el ITH mínimo medio se ubicó siempre dentro del rango de valores normales. Los mayores valores de ITH mínimo correspondieron a ITH de 73, 74 y 75, en diciembre, enero y febrero respectivamente aunque en la mayoría de los días de estos meses el ITH mínimo permaneció por debajo de 70 (ver gráfico No. 5).

Esto se considera importante, ya que si bien durante el verano los animales estuvieron expuestos a sufrir estrés térmico por calor casi todos los días, al menos durante la noche los mismos tuvieron posibilidad de recuperar la normotermia (Gallardo y Valtorta, 2011).



La línea roja corresponde al valor crítico de ITH estimado por Cruz (2009a) para Uruguay.

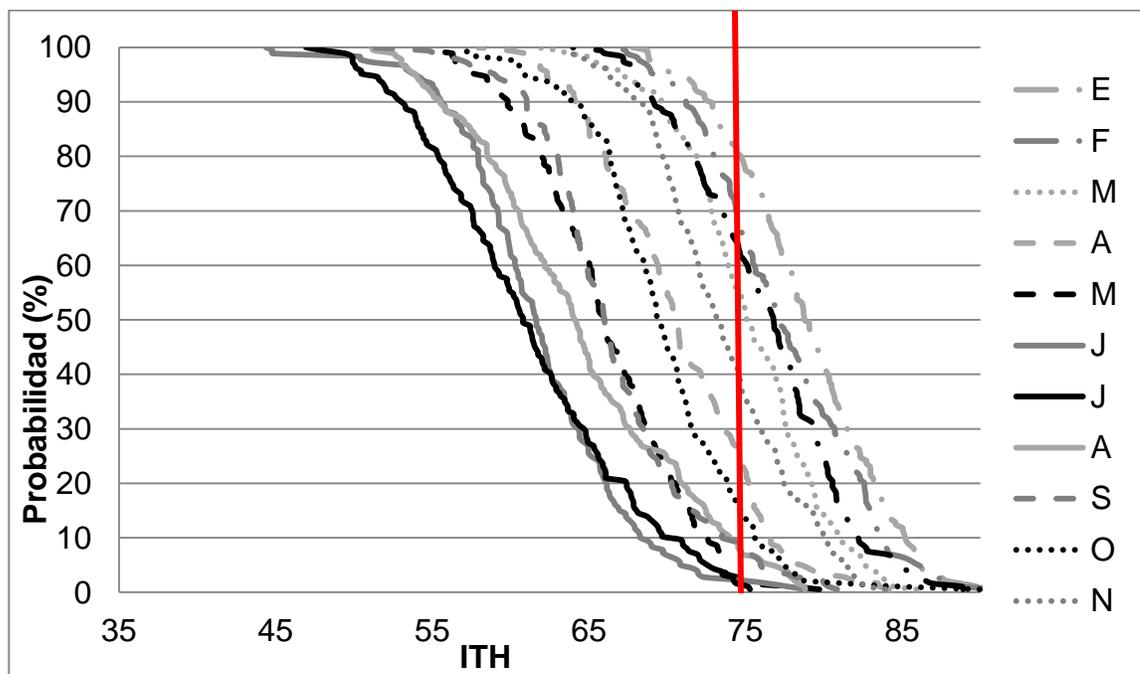
Gráfico No. 5. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) mínimo diario para la localidad de Melo en el período 2010- 2015.

Cuadro No. 5. Índice de Temperatura y Humedad (ITH) máximo y mínimo promedio para la localidad de Melo en el período 2010- 2015.

	PROMEDIOS MÁXIMOS	PROMEDIOS MÍNIMOS
<b>ENERO</b>	79	63
<b>FEBRERO</b>	77	64
<b>MARZO</b>	75	58
<b>ABRIL</b>	71	52
<b>MAYO</b>	66	48
<b>JUNIO</b>	62	44
<b>JULIO</b>	61	43
<b>AGOSTO</b>	64	47
<b>SETIEMBRE</b>	67	50
<b>OCTUBRE</b>	70	55
<b>NOVIEMBRE</b>	74	58
<b>DICIEMBRE</b>	76	62

Se calculó la probabilidad de que ocurran valores de ITH máximos mayores al umbral en los diferentes meses del año. Los resultados se presentan en el gráfico No. 6.

Enero y febrero fueron los meses que presentaron mayor probabilidad de que ocurran valores de ITH máximo mayor o igual al umbral (75), con 80 y 67% respectivamente. Esto significa que existe una alta probabilidad de que al menos a alguna hora de estos meses ocurran valores de ITH mayores al umbral. Los siguen diciembre (64%) y marzo (55%). Luego noviembre (41%), abril (26%) y octubre (15%). En los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre los valores fueron menores al 10%.



La línea roja corresponde al valor crítico de ITH estimado por Cruz (2009a) para Uruguay.

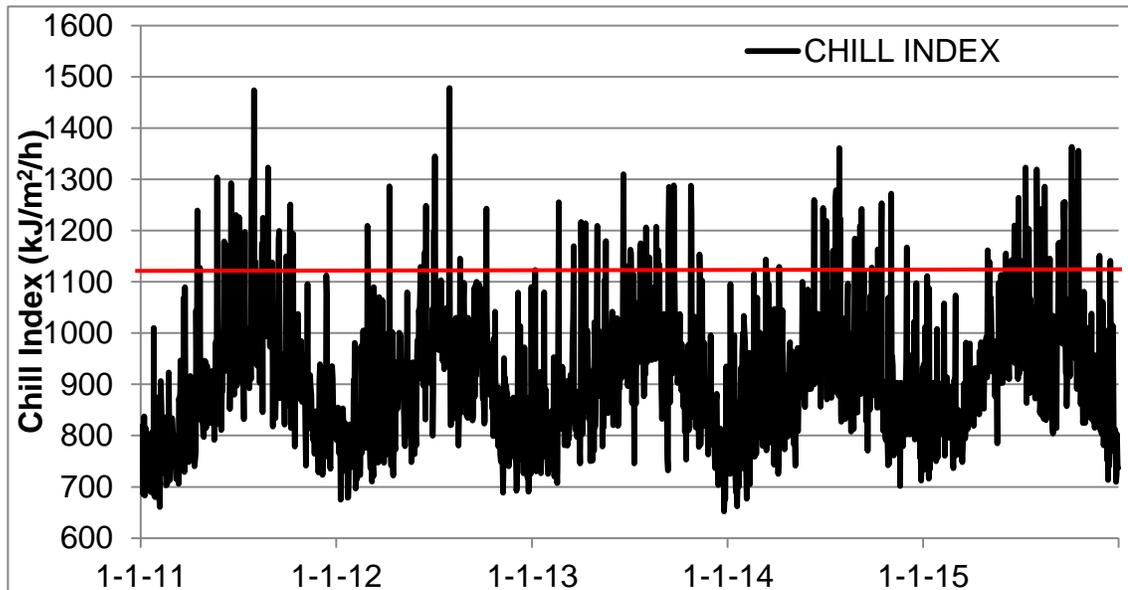
Gráfico No. 6. Probabilidad de ocurrencia de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) máximos con valores mayores o igual al umbral, para todos los meses del año en Melo. Período 2010- 2015.

#### 4.1.2.4. Índice de enfriamiento (Chill Index)

En Uruguay, mueren entre el 20 a 30% de los corderos que nacen, ocurriendo la mayoría de estas pérdidas en los primeros 3 días de vida. La principal causa de mortalidad neonatal es el complejo exposición-inanición, asociada a los bajos pesos que tienen los corderos al nacer (Montossi et al., 2005).

Como se observa en el gráfico No. 7, gran parte del invierno, y algunos días del otoño y primavera hubo días en los que el índice sobrepasó el valor crítico (1120 kJ/m<sup>2</sup>/h), principalmente en el invierno del 2011 y 2015.

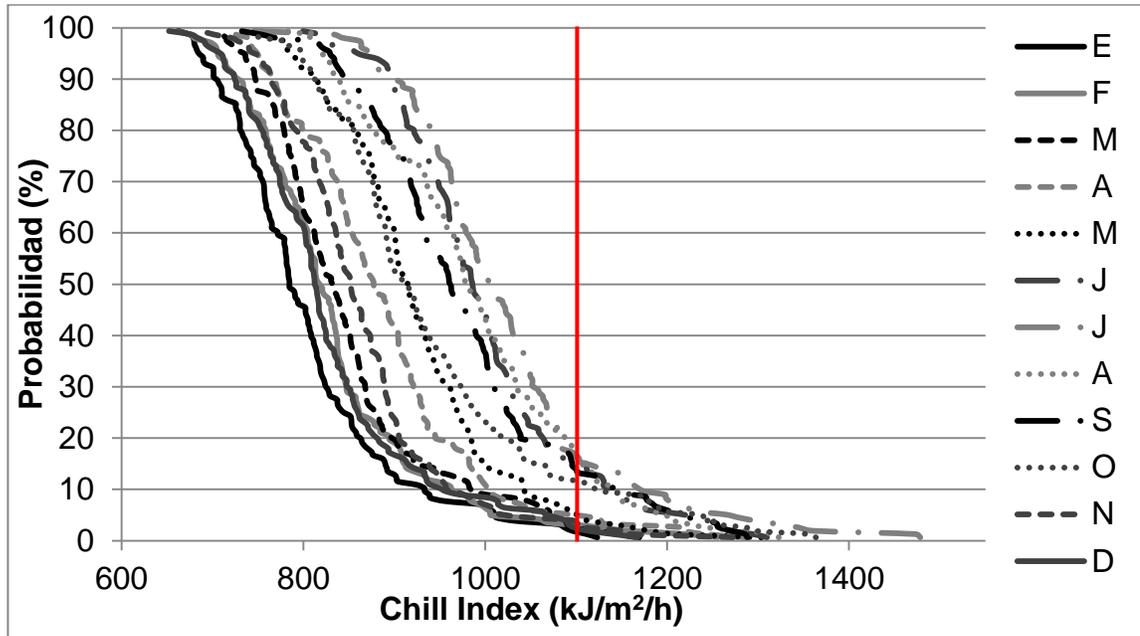
Generalmente los mayores valores y la mayor frecuencia se dan durante los meses de invierno. En el año 2013 se registraron más casos con altos valores de Chill Index en meses donde normalmente no se da (a partir de febrero y hasta octubre, ver gráfico No. 7).



La línea roja corresponde al valor crítico del Chill index estimado por Donnelly (1984).

Gráfico No. 7. Chill Index diario para la localidad de Melo en el período 2011-2015.

Se calculó la probabilidad de ocurrencia de valores de Chill index mayor al crítico para los distintos meses del año. Los resultados se observan en el gráfico No. 8.



La línea roja corresponde al valor crítico del Chill index estimado por Donnelly (1984).

Gráfico No. 8. Probabilidad de ocurrencia de Chill index con valores mayores o iguales al crítico, para todos los meses del año en Melo. Período 2011- 2015.

Las mayores probabilidades ocurrieron en los meses comprendidos entre junio y octubre. La probabilidad máxima ocurrió en julio (15%), le siguen junio, agosto y setiembre con 13 %, y luego setiembre con 10%. El resto de los meses las probabilidades no superan el 5%.

#### 4.1.3. Comparación Melo- Colonia

##### 4.1.3.1. Temperatura del aire

En primer lugar, la temperatura media mensual para el período 1986-2007 fue siempre mayor en Melo con respecto a Colonia, indistintamente de la estación del año que se trate. La temperatura media anual fue 1°C mayor en Melo que Colonia; las diferencias más marcadas se observaron en invierno (1,4°C mayor en Melo). Esta diferencia estuvo directamente relacionada a la temperatura máxima media y no a la mínima. La temperatura máxima media fue siempre mayor en Melo, superando la de Colonia en 1,8°C, mientras que la mínima media registrada para ambas regiones fueron muy similares en todos los meses del año (ver gráfico No. 9).

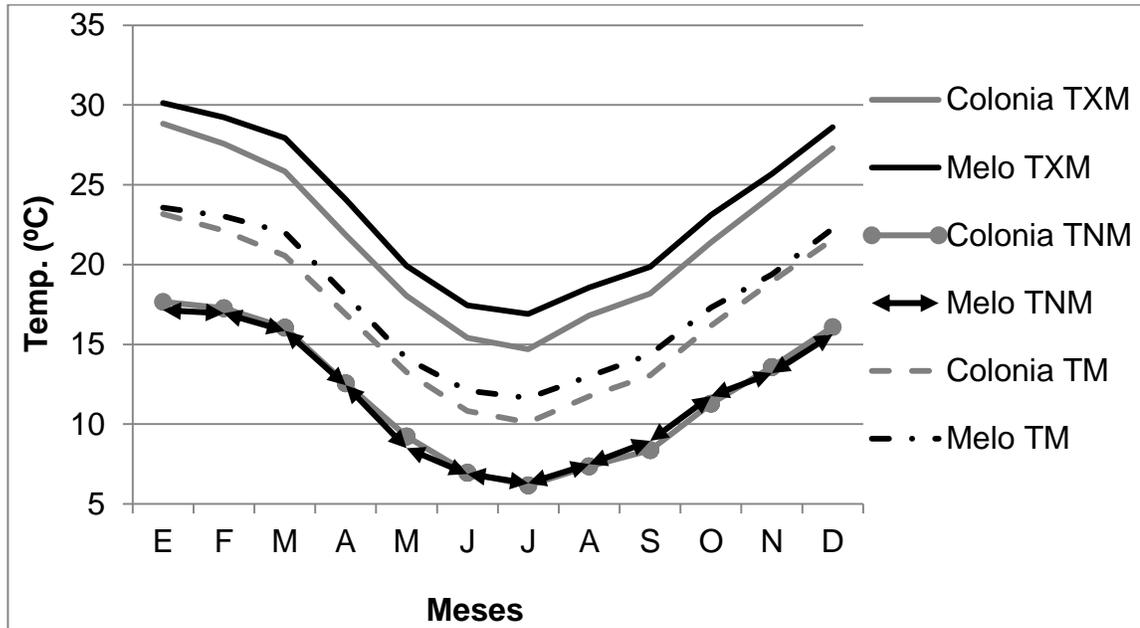


Gráfico No. 9. Evolución mensual de la temperatura media (TM), mínima media (TNM) y máxima media (TXM) para el período 1986- 2007 en Colonia y Melo.

#### 4.1.3.2. Heladas agrometeorológicas

Como se observa en el gráfico No. 10., Melo presentó en promedio 46 días con heladas al año, mientras que en Colonia fueron solo 10 días. Se podría afirmar que la mayor diferencia se encontró en esta variable.

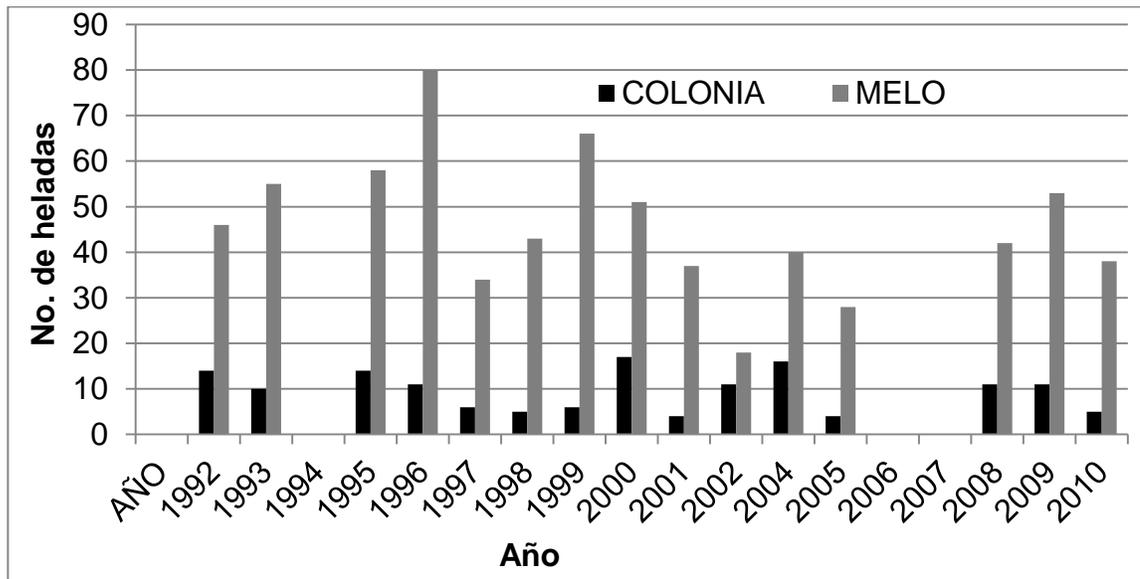


Gráfico No. 10. Número de días con helada agrometeorológica para el período 1992- 2010 en las localidades de Colonia y Melo.

A su vez, a nivel promedio la primera helada se registró antes en Melo y la última helada se verificó después respecto a Colonia. El período con heladas en Melo dura casi el doble que en Colonia (ver cuadro No. 6).

Cuadro No. 6. Fechas de primera y últimas heladas, y período con heladas (PCH) y período libre de heladas (PLH) en días para las localidades de Melo y Colonia.

	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA	PCH	PLH
<b>COLONIA</b>	6-jun.	3-sep.	89	276
<b>MELO</b>	22-abr.	10-oct.	171	194

#### 4.1.3.3. Precipitaciones

En última instancia, se compararon las precipitaciones acumuladas para ambas regiones, para el período 1986- 2014. Como modo de hacer una mejor descripción, se compararon las precipitaciones acumuladas según las estaciones del año.

Se presentaron diferencias importantes, sobre todo en los meses fríos (en invierno llovieron 117 milímetros más en Melo) donde la demanda

atmosférica es mínima, y como fue mencionado anteriormente representa el mayor problema en esa localidad. En verano la cantidad de lluvia acumulada fue igual en ambos lugares. En otoño llovieron en promedio 78 mm más en Melo y en primavera 46 milímetros más respecto a Colonia (ver gráfico No. 11).

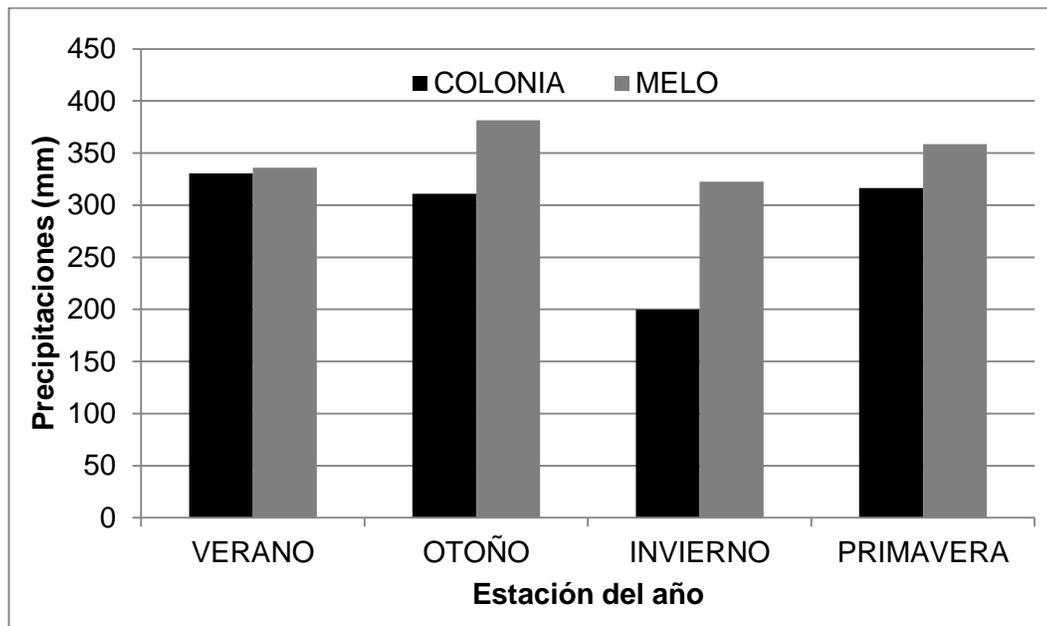
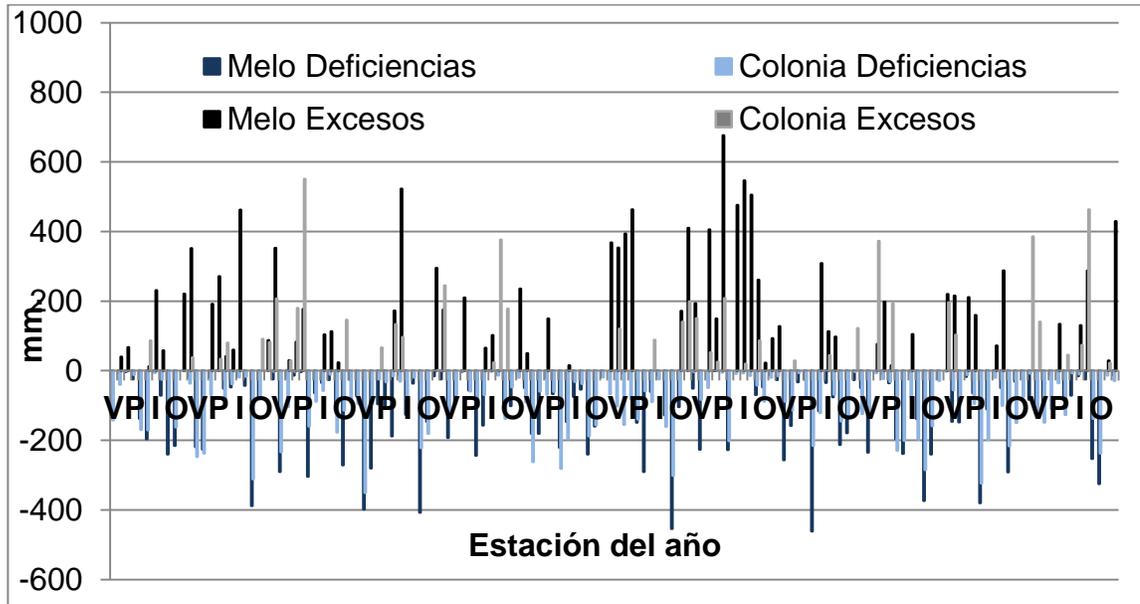


Gráfico No. 11. Precipitaciones acumuladas promedio para las localidades de Melo y Colonia, en el período de 1986- 2014, agrupado por estaciones del año.

#### 4.1.3.4. Balance hídrico

En Colonia, los suelos dominantes corresponden a la unidad Ecilda Paullier- Las Brujas, que comprende suelos que tienen, según Molfino y Califra (2001), una capacidad de agua disponible de 136,7 mm, siendo mayor que los suelos de Melo (113, 3 mm).

Como se puede observar en el gráfico No. 12, generalmente en Melo se produjeron mayores excesos y deficiencias hídricas, y la magnitud de las mismas fueron también mayores. La diferencia mayor en cantidad de milímetros se dio en los excesos, los cuales en Colonia fueron una tercera parte que en el Melo. Esto ocurrió no solo debido a que los suelos predominantes de Colonia tienen mayor capacidad de retención de agua, sino en mayor medida al régimen de precipitaciones que ocurre en Melo, con mayores lluvias respecto a Colonia en los meses donde la demanda atmosférica es mínima.



V: verano, O: otoño, I: invierno, P: primavera.

Gráfico No. 12. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1980-2015, para las localidades de Melo y Colonia.

Como forma de respaldar estos resultados, también se realizó un promedio de los resultados de los balances hídricos seriados y se analizaron los resultados de los balances hídricos, como son almacenaje (Alm.), evapotranspiración real (ETR), deficiencias (Def.) y excesos (Exc.). Los mismos se representan en el gráfico No. 13.

Se observa una mayor precipitación en los meses de invierno en Melo con respecto a Colonia, donde, a pesar de que la ETP es ligeramente mayor, los excesos hídricos son muy altos, de 4 a 5 veces mayor que en Colonia. Las deficiencias hídricas en verano también son de mayor magnitud en Melo. Igualmente es importante destacar, que debido a las bajas precipitaciones registradas en Colonia de julio a setiembre, las deficiencias hídricas comenzaron en primavera con mayores magnitudes en esta localidad. El almacenaje de agua en ambos suelos siguió la misma tendencia, habiendo uso de agua en los suelos desde la primavera, y hacia fines de verano- otoño recarga de los mismos. La ETP tiene una marcada estacionalidad, para ambas localidades, con un máximo en el mes de enero y un mínimo en julio (de 50 a 200 mm aproximadamente). La ETR sigue la misma tendencia, pero presenta fluctuaciones en los meses donde existe mayor uso de agua almacenada en los suelos.

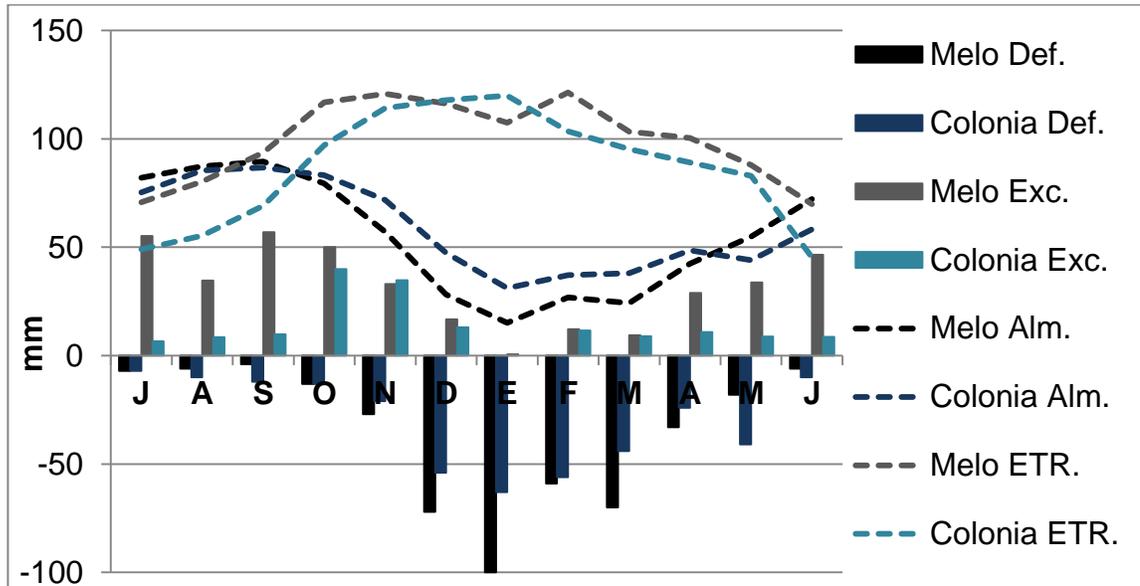


Gráfico No. 13. Resultados promedio (Deficiencias, Def.; Excesos, Exc.; Almacenaje, Alm.; Evapotranspiración Real, ETR) (1980- 2015) del balance hídrico seriado en las localidades de Colonia y Melo.

En el cuadro No. 7 se presentan las comparaciones entre oferta y demanda de agua de ambas localidades.

Cuadro No. 7. Índice hídrico mensual y diferencias entre lluvia (RR) y Evapotranspiración potencial (ETP) para Melo y Colonia, período 1986- 2015.

	Melo	Colonia		Melo	Colonia
	RR/ETP	RR/ETP		RR- ETP	RR- ETP
<b>Enero</b>	0,44	0,53		-117	-86
<b>Febrero</b>	0,80	0,78		-36	-36
<b>Marzo</b>	0,65	0,86		-61	-22
<b>Abril</b>	1,12	0,83		16	-19
<b>Mayo</b>	1,14	0,66		15	-42
<b>Junio</b>	1,46	1,20		35	11
<b>Julio</b>	1,44	1,13		34	7
<b>Agosto</b>	1,17	1,06		15	4
<b>Setiembre</b>	1,26	1,00		25	0
<b>Octubre</b>	0,90	1,09		-13	10
<b>Noviembre</b>	0,80	0,85		-29	-21

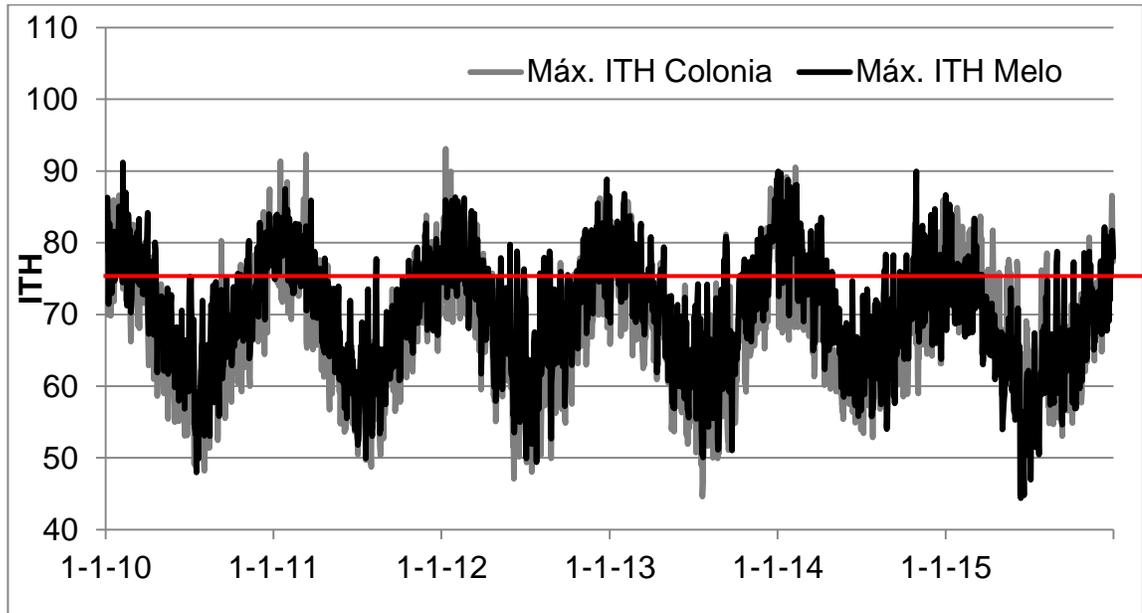
<b>Diciembre</b>	0,53	0,63		-88	-63
<b>Promedio anual</b>	0,87	0,82			
<b>Suma de excedentes</b>				140	32
<b>Suma de deficiencias</b>				-344	-289

Se observa que Melo presenta mayor cantidad de meses con un índice hídrico (IH) por encima de 1 (alcanzando en promedio valores de hasta 1,5). Por otra parte, Colonia presenta menos meses con estos valores, y a su vez los mismos no pasan de 1,2. Esto implica que ocurran mayores excedentes de agua en Melo con respecto a Colonia, lo cual se observa también en la parte derecha del cuadro, donde se muestra que la suma de los excedentes en Melo es de 140 mm y en Colonia de 32 mm.

El período de deficiencias hídricas en Colonia se extiende hasta junio, momento en el cual la precipitación comienza a ser suficiente para cubrir la demanda atmosférica, mientras que las mismas terminan en abril en Melo. Asimismo, se observa que en los meses donde ocurren deficiencias, la magnitud de las mismas es mayor en Melo, lo cual se puede observar también en la diferencia entre la precipitación y la ETP (-344 mm en Melo y -289 mm en Colonia).

#### 4.1.3.5. Índice de temperatura y humedad (ITH)

Los valores del ITH máximo fueron semejantes para ambas localidades. Asimismo, en casi todos los casos los mismos se presentaron ligeramente mayores en Melo con respecto a Colonia, principalmente en otoño y primavera. En verano, los valores fueron muy similares para ambas localidades, excepto en el verano- otoño del 2015, donde los valores registrados fueron mayores en Colonia (ver gráfico No. 14).



La línea roja representa el umbral de Índice de Temperatura y humedad (ITH) estimado por Cruz (2009a).

Gráfico No. 14. Comparación del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) máximo entre Melo y Colonia para el período 2010- 2015.

La probabilidad de ocurrencia de valores de ITH máximos por encima del umbral se representa en el gráfico No. 15, donde se observa que los períodos donde la probabilidad fue mayor correspondieron a los meses de verano (76% en enero, 64% en febrero y 62% en febrero). Le siguen marzo (46%), noviembre (28%), y abril (17%). En los meses de mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre los valores fueron menores a 9%.

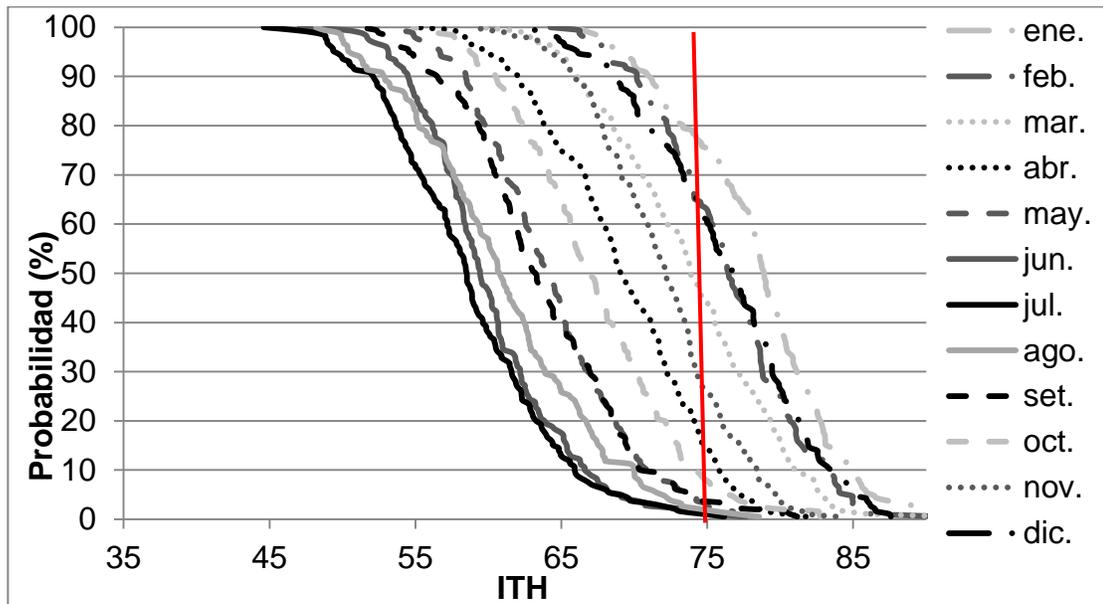


Gráfico No. 15. Probabilidad de ocurrencia de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) con valores mayores o igual al umbral, para los diferentes meses del año en Colonia. Período 2010- 2015.

La comparación de los resultados de ITH máximo entre Colonia y Melo se presenta en el cuadro No. 8.

Cuadro No. 8. Comparación de las probabilidades de ocurrencia de ITH máximo mayor al umbral (75) entre las localidades de Melo y Colonia en el período 2010- 2015.

	Prob. (%) Melo	Prob. (%) Colonia
<b>Enero</b>	80	76
<b>Febrero</b>	67	64
<b>Marzo</b>	55	46
<b>Abril</b>	26	17
<b>Mayo</b>	3	3
<b>Junio</b>	2	1
<b>Julio</b>	1	1
<b>Agosto</b>	9	2
<b>Setiembre</b>	9	3
<b>Octubre</b>	15	9
<b>Noviembre</b>	41	28

Diciembre	64	62
-----------	----	----

#### 4.1.4. Comparación Melo- Salto

##### 4.1.4.1. Temperatura del aire

La temperatura mínima media, media y máxima media registrados para el período 1986- 2007 fue siempre mayor en Salto, indistintamente de la estación del año que se trate. La temperatura media fue 1,7°C mayor en Salto que en Melo y las diferencias más marcadas se observaron en verano (2,1°C más en Salto).

Esta situación se repite para las temperaturas máxima media y mínima media, donde en promedio también las temperaturas en Salto fueron mayores (1,7°C) y las mayores diferencias se registraron en verano (ver gráfico No. 16).

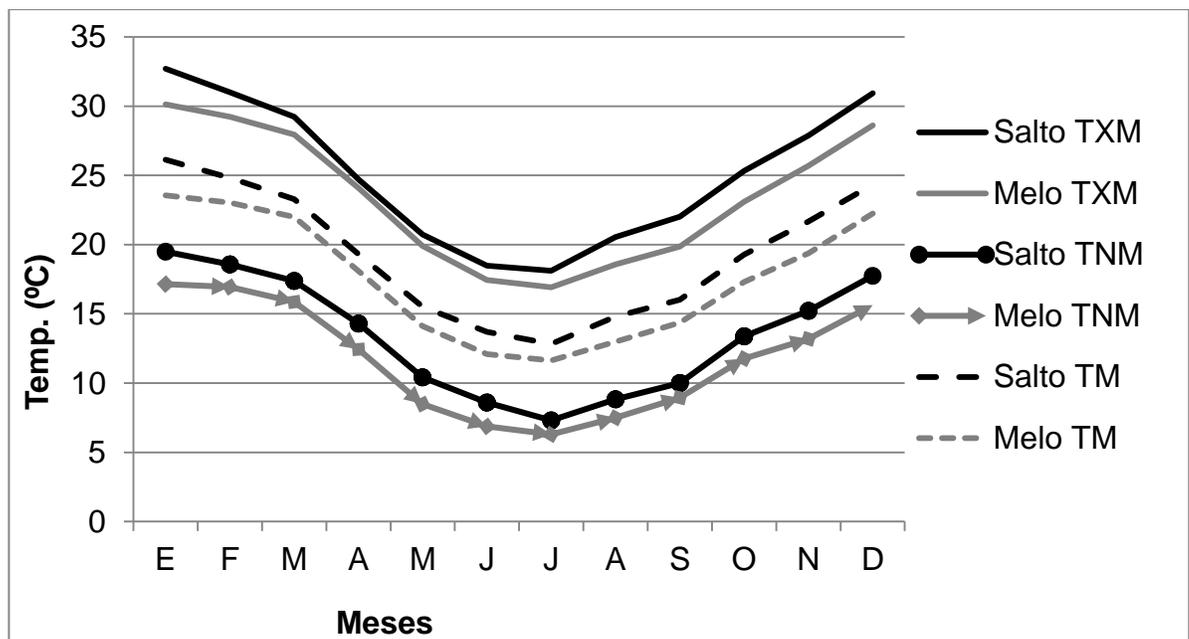


Gráfico No. 16. Evolución mensual de la temperatura media (TM), mínima media (TNM) y máxima media (TXM) para el período 1986- 2007 en Melo y Salto.

##### 4.1.4.2. Heladas agrometeorológicas

Como se observa en el gráfico No. 17, Melo presentó en promedio 46 días con heladas al año, mientras que en Salto se registraron 25 días con heladas al año.

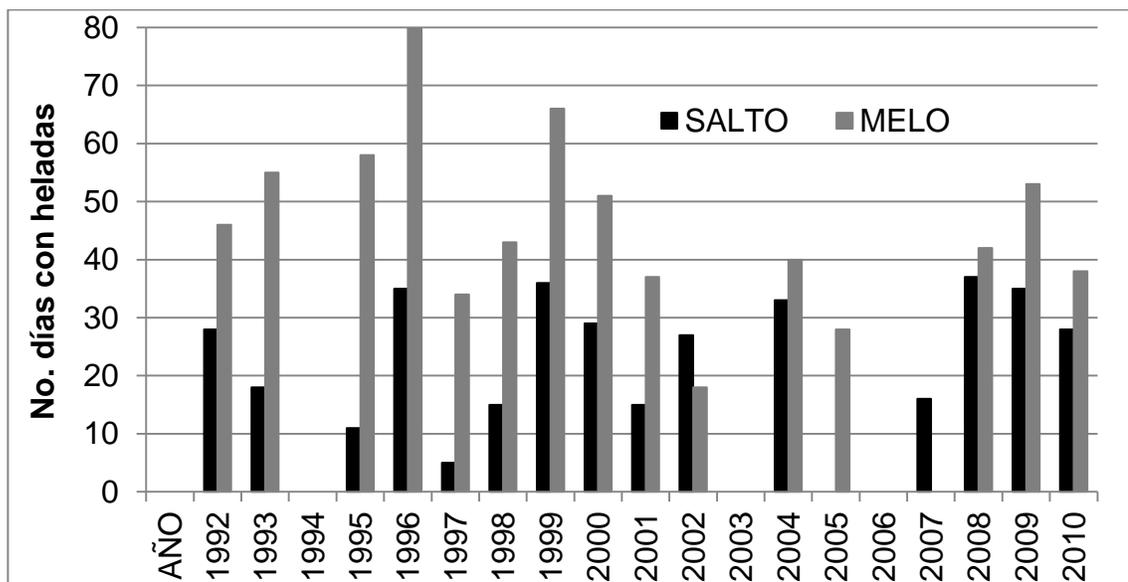


Gráfico No. 17. Número de días con helada agrometeorológica para el período 1992- 2010 en Salto y Melo.

A su vez, la primera helada se registró antes en Melo y la última después respecto a Salto. Salto presentó un menor período con heladas (ver cuadro No. 9).

Cuadro No. 9. Fechas de primera y últimas heladas, y período con heladas (PCH) y período libre de heladas (PLH) en días para las localidades de Melo y Salto.

	PRIMERA HELADA	ÚLTIMA HELADA	PCH	PLH
<b>SALTO</b>	23-may.	12-sep.	112	253
<b>MELO</b>	22-abr.	10-oct.	171	194

#### 4.1.4.3. Precipitaciones

En última instancia, se compararon las precipitaciones acumuladas para ambas regiones. Como modo de hacer una mejor descripción, se compararon las precipitaciones acumuladas según las estaciones del año.

Se encontraron diferencias importantes en invierno, donde las precipitaciones acumuladas fueron casi el doble en Melo, coincidiendo con el momento en el que la demanda atmosférica es mínima. En otoño y primavera la precipitación acumulada fue prácticamente igual, y en verano las precipitaciones resultaron mayores en Salto (60 mm, ver gráfico No. 18).

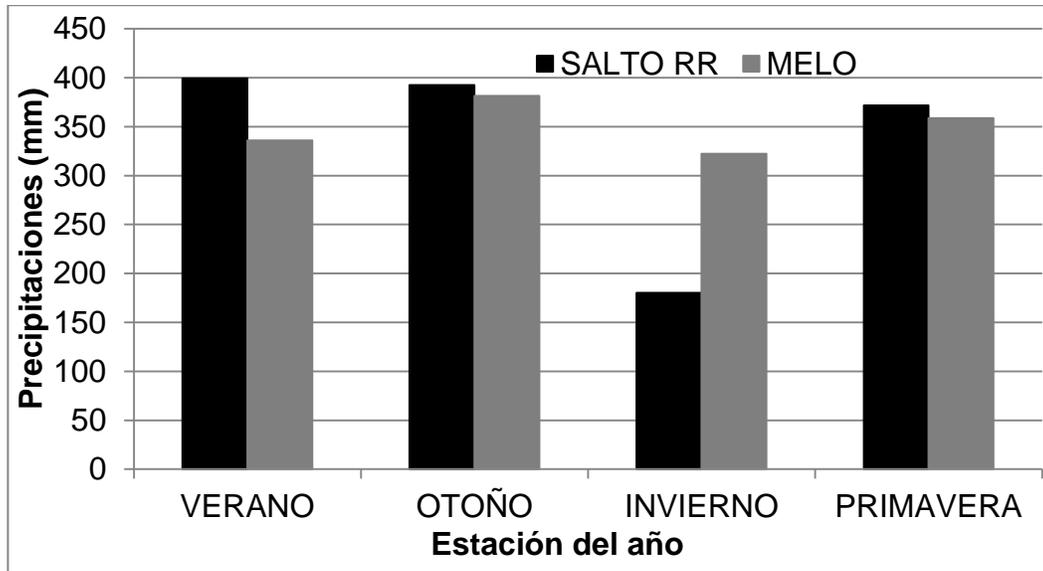
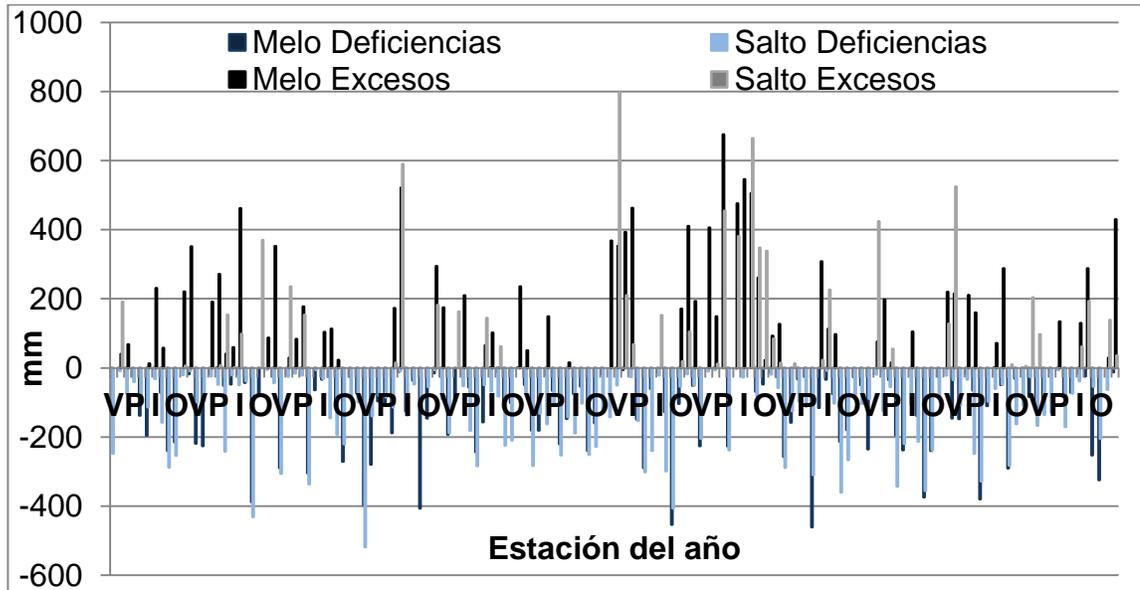


Gráfico No. 18. Precipitaciones acumuladas promedio para las localidades de Melo y Salto, en el período de 1986- 2014, agrupado por estaciones del año.

#### 4.1.4.4. Balance hídrico

Los suelos dominantes corresponden a la unidad Salto. Según Molfino y Califra (2001) estos suelos tienen una capacidad de agua disponible de 109 mm, muy similar a los de la unidad Lechiguana, correspondientes a la localidad de Melo.

Como se puede observar en el gráfico No. 19, las mayores diferencias entre las localidades se dieron en los excesos, los cuales en cantidad fueron mayores en Melo. Asimismo, el mayor valor fue registrado en Salto en verano de 1998, donde solo en enero se registraron 609 mm de lluvia, habiendo 797 mm de excesos acumulados al final de ese verano.



V: verano, O: otoño, I: invierno, P: primavera.

Gráfico No. 19. Deficiencias y excesos hídricos por estación, período 1980-2014, para las localidades de Melo y Salto.

Al igual que en la comparación con Colonia se realizó un promedio de los resultados del balance hídrico seriado y se analizaron los diferentes resultados de los balances hídricos, como son almacenaje (Alm.), evapotranspiración real (ETR), deficiencias (Def.) y excesos (Exc.). Los mismos se representan en el gráfico No. 20.

Se observa una mayor precipitación en los meses de invierno en Melo con respecto a Salto, donde los excesos hídricos son muy altos (principalmente entre los meses de julio y octubre), aproximadamente el doble que en Salto en julio y agosto y de 4 a 5 veces mayor en setiembre y octubre. Las deficiencias hídricas en verano son muy similares, ya que si bien en Salto se registraron mayores precipitaciones, la demanda es mayor. Igualmente es importante destacar, que debido a las menores precipitaciones registradas en Salto de julio a setiembre, las deficiencias hídricas comenzaron en primavera con mayores magnitudes en esta localidad. El almacenaje de agua en los suelos de Melo representó un uso de agua desde la primavera, y hacia fines de verano- otoño recarga de los mismos. En Salto, la tendencia es similar, pero la curva es mucho más homogénea en el tiempo, y no presenta grandes fluctuaciones. La ETP tiene una marcada estacionalidad para ambas localidades, con un máximo en el mes de enero y un mínimo en julio (de 50 a 220 mm aproximadamente). La ETR sigue la misma tendencia, pero presenta fluctuaciones en los meses

donde existe mayor uso de agua en los suelos, principalmente para la localidad de Melo.

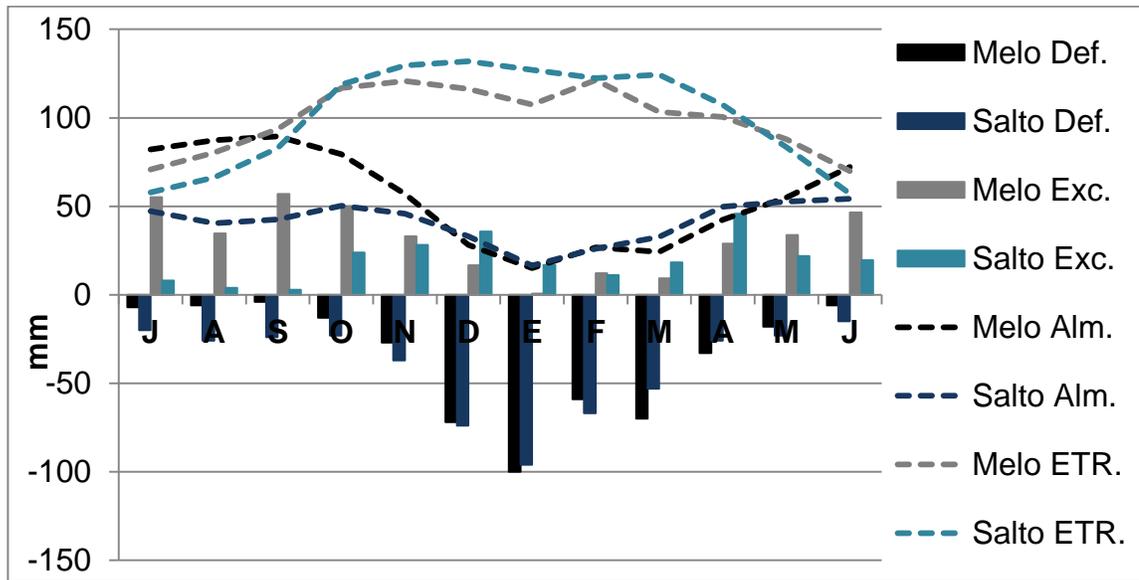


Gráfico No. 20. Resultados promedio (Deficiencias, Def.; Excesos, Exc.; Almacenaje, Alm.; Evapotranspiración Real, ETR) (1980- 2015) del balance hídrico seriado en las localidades de Salto y Melo.

En el cuadro No. 10 se presentan las comparaciones entre oferta y demanda de agua de ambas localidades.

Cuadro No. 10. Índice hídrico mensual y diferencias entre oferta (RR) y demanda (ETP) de agua para Melo y Salto, período 1986- 2015.

	Melo	Salto		Melo	Salto
	RR/ETP	RR/ETP		RR-ETP	RR-ETP
<b>Enero</b>	0,44	0,55		-117	-100
<b>Febrero</b>	0,80	0,70		-36	-56
<b>Marzo</b>	0,65	0,81		-61	-33
<b>Abril</b>	1,12	1,20		16	26
<b>Mayo</b>	1,14	0,83		15	-18
<b>Junio</b>	1,46	0,96		35	-3
<b>Julio</b>	1,44	0,71		34	-23
<b>Agosto</b>	1,17	0,61		15	-36
<b>Setiembre</b>	1,26	0,79		25	-22

<b>Octubre</b>	0,90	1,04		-13	5
<b>Noviembre</b>	0,80	0,84		-29	-27
<b>Diciembre</b>	0,53	0,69		-88	-63
<b>Promedio anual</b>	0,87	0,79			
<b>Suma de excedentes</b>				140	31
<b>Suma de deficiencias</b>				-344	-381

Se observa que Melo presenta mayor cantidad de meses con un índice hídrico (IH) por encima de 1 (alcanzando en promedio valores de hasta 1,5), mientras que en Salto únicamente los meses de abril y octubre alcanzan valores por encima de 1 (con un promedio máximo de 1,2). Esto implica que ocurran mayores excedentes de agua en Melo con respecto a Salto, lo cual también se observa en la parte derecha del cuadro, donde se muestra que la suma de los excedentes en Melo es de 140 mm y en Salto de 31 mm.

Durante parte del invierno en Salto no se llegó al equilibrio entre la oferta y la demanda de agua, debido a las bajas precipitaciones registradas en estos meses. Por otra parte, el período de deficiencias en Melo ocurrió durante fines de primavera y verano. Al realizar la diferencia entre la precipitación y la ETP se observa que en Salto se registraron mayores deficiencias con respecto a Melo (-381 y -344 respectivamente).

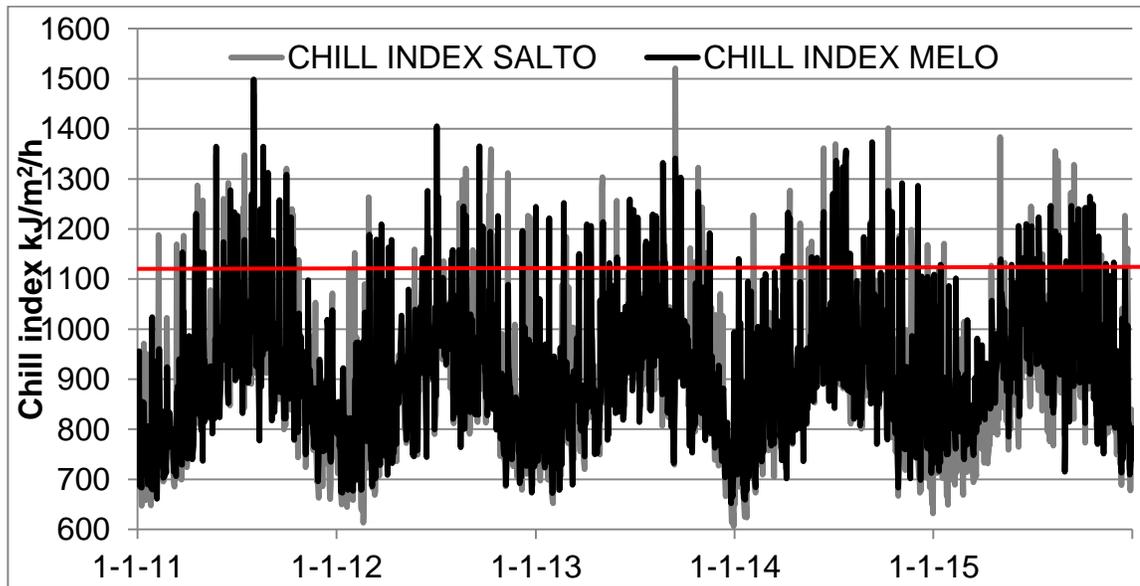
#### 4.1.4.5. Chill index

Los resultados obtenidos para el Chill index muestran una tendencia similar, con menores valores en los meses de verano, y aumentando hacia el invierno. Cabe destacar que la época más sensible es la primavera, momento en el cual ocurren generalmente la mayoría de las pariciones y esquilas en ovinos.

Los valores fueron muy similares para ambas localidades, siendo ligeramente mayores en Melo en invierno y principios de primavera y ligeramente mayores en Salto el resto del año.

El evento más extremo ocurrió en la primavera del 2013, más específicamente el 14 de setiembre de ese año (ver gráfico No. 21), donde ocurrieron altas precipitaciones con fuertes vientos, llegando a valores de Chill index mayores a 1500 kJ/m<sup>2</sup>/h en Salto. Según lo mencionado por Caffera et al. (2014), a partir de información del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL) ocurrió gran cantidad de muertes en ovinos recién esquilados y corderos recién nacidos principalmente, al norte del río Negro, debido al complejo exposición-

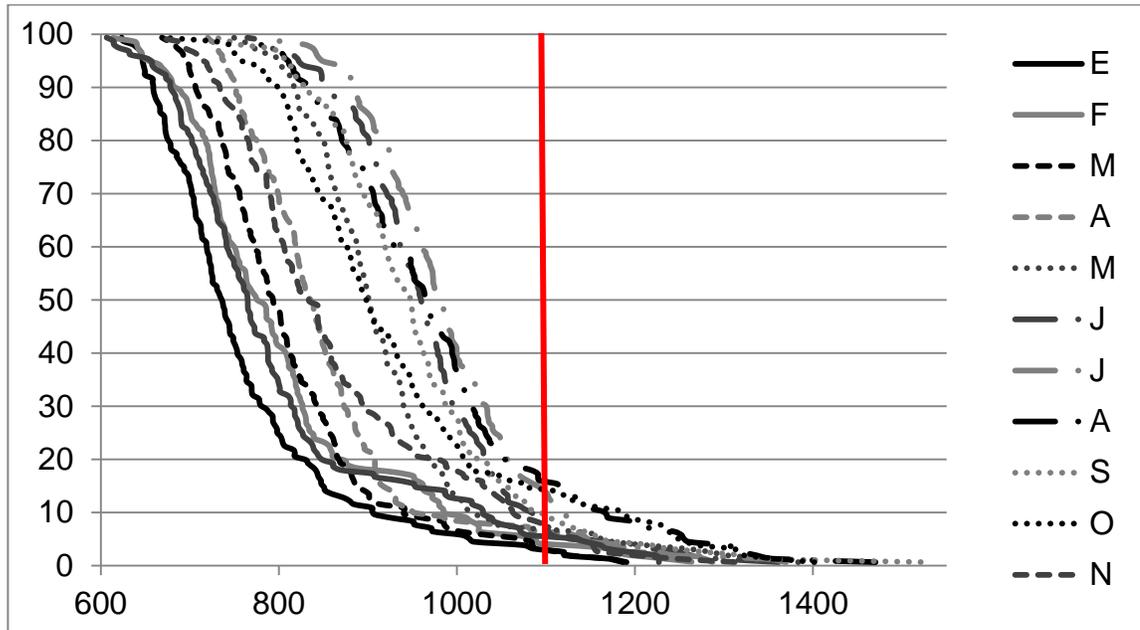
inanición, desarrollado anteriormente en el capítulo 4.1.2.4, coincidiendo con estos altos valores obtenidos.



La línea roja corresponde al valor crítico del Chill index estimado por Donnelly (1984).

Gráfico No. 21. Chill index correspondiente al período 2011- 2015 en las localidades de Sato y Melo.

Se calculó la probabilidad de ocurrencia de valores de Chill index mayor al crítico para los distintos meses del año. Los resultados se observan en el gráfico No. 22.



La línea roja corresponde al valor crítico del Chill index estimado por Donnelly (1984).

Gráfico No. 22. Probabilidad de ocurrencia de Chill index con valores mayores o igual al crítico, para los diferentes meses del año en Melo. Período 2010- 2015.

Las mayores probabilidades ocurrieron en los meses de julio, agosto y octubre. La probabilidad máxima ocurrió en agosto (14%), le sigue octubre con 13 % y julio con 10 %. En setiembre la probabilidad fue de 8%, y el resto de los meses las probabilidades no superan el 6%.

La comparación de los resultados de Salto y Melo se presenta en el cuadro No. 11. Un aspecto importante a destacar es que en ambas localidades se dieron algunos de los más altos valores hacia fines del invierno y primavera. Esto es un aspecto a considerar, ya que coincide con el momento en que generalmente ocurre el nacimiento de los corderos, los cuales son muy vulnerables a estos eventos meteorológicos desfavorables.

Cuadro No. 11. Comparación de las probabilidades de ocurrencia de valores de Chill index diarios mayores o iguales al crítico entre las localidades de Melo y Salto en el período 2011- 2015.

Meses	Prob. (%) Melo	Prob. (%) Salto
Enero	1	2
Febrero	3	4
Marzo	2	3

<b>Abril</b>	5	6
<b>Mayo</b>	4	6
<b>Junio</b>	13	5
<b>Julio</b>	15	10
<b>Agosto</b>	13	14
<b>Setiembre</b>	13	8
<b>Octubre</b>	10	13
<b>Noviembre</b>	3	5
<b>Diciembre</b>	2	5

## 4.2. DISCUSIÓN

### 4.2.1. Caracterización agroclimática

Los resultados obtenidos para la región coincidieron en general con los reportados por Castaño et al. (2011).

Las precipitaciones acumuladas anuales variaron entre 1200 y 1600 mm, registrándose los menos valores en el Sur, y aumentando hacia el Norte.

Según Castaño et al. (2011), la temperatura media anual de la región en estudio varía entre 17 y 18°C, coincidiendo con el promedio obtenido en el presente trabajo (17,7°C). Las temperaturas máximas medias anuales se encontraron, según Castaño et al. (2011), entre 23 y 24°C, y las mínimas medias anuales entre 11 y 12°C. En el actual trabajo los valores fueron de 23,4°C para las máximas medias y 11,9°C para las mínimas medias.

Los resultados para las heladas agrometeorológicas fueron algo diferente en Melo, Rivera y Paso de los Toros (ver cuadro No. 12).

Cuadro No. 12. Días con heladas.

	<b>PROMEDIO DE DÍAS CON HELADAS ACUMULADAS AL AÑO</b>	
	<b>Castaño et al. (2011)</b>	<b>Actual trabajo</b>
<b>MELO</b>	35-40	46
<b>TREINTA Y TRES</b>	30-35	30
<b>RIVERA</b>	20-25	16
<b>PASO DE LOS TOROS</b>	40	16
<b>TACUAREMBÓ</b>	35-40	36

Las diferencias en estos resultados pueden deberse a lo siguiente:

- diferentes metodologías utilizadas para el cálculo de heladas agrometeorológicas.
- longitud y secuencia de años muy diferente: serie 1980- 2009 en el estudio de Castaño et al. (2011) y 1992- 2010 en el presente estudio;
- para el caso de la localidad de Paso de los Toros en este estudio, el termómetro de temperatura mínima sobre césped estuvo roto durante parte de los años 1997 al 2001, por lo que el dato puede no ser muy confiable;
- en el caso de Melo, cabe destacar que Castaño et al. (2011) utilizaron las heladas registradas entre mayo y octubre, y en el presente trabajo se observó que el período con heladas para esta localidad comienza en abril y continúa en algunos años hasta noviembre, por lo que ese valor resultó subestimado por Castaño et al. (2011).

El resto de los valores presentaron bastante similitud.

#### 4.2.2. Distribución de la lluvia a lo largo del año según región del país

Se comparó la distribución de la lluvia a lo largo del año según localidad con lo reportado por Fagúndez.<sup>7</sup> El autor regionalizó el país según el régimen de lluvias, utilizando datos de precipitación del período 1917- 2003. Estas regiones se presentan en la figura No. 14.

<sup>7</sup> Fagúndez, C. 2009. Las precipitaciones en Uruguay; una propuesta de regionalización. Montevideo, Uruguay, Facultad de Ciencias. 27 p. (sin publicar).



Figura No. 14. Regionalización de Uruguay según régimen de precipitación a lo largo del año.

Fuente: Fagúndez.<sup>7</sup>

En los gráficos No. 23, 24, 25 y 26 se presenta la distribución de las lluvias obtenidas a partir del análisis realizado en el presente trabajo con las obtenidas por Fagúndez.<sup>7</sup>

Como se observa en la figura No. 14, la región 4 en Fagúndez<sup>7</sup> incluye las localidades de Melo, Cebollatí, Vichadero y Treinta y Tres analizadas en este trabajo. Se observa que las curvas de la distribución mensual de la precipitación coinciden con las obtenidas en este estudio para Melo y Cebollatí en el período 1960- 2014 (ver gráfico No. 23).

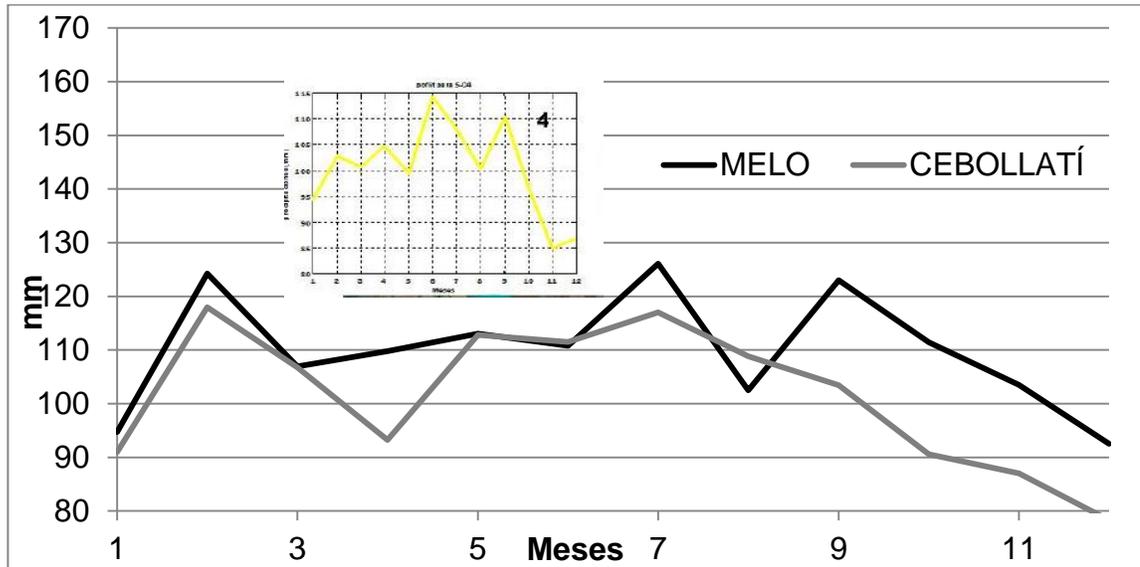


Gráfico No. 23. Comparación de las curvas de distribución de la precipitación a lo largo del año en Melo y Cebollatí, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 4 (en el recuadro).

Según los datos obtenidos en la presente caracterización agroclimática, la curva de distribución de la lluvia en Vichadero coincide mayormente con la reportada por Fagúndez<sup>7</sup> para la región 3. Esta curva armoniza con la obtenida en el presente trabajo para Rivera y Minas de Corrales, que también se ubicarían en la región 3 delimitada por Fagúndez<sup>7</sup> (ver gráfico No. 24).

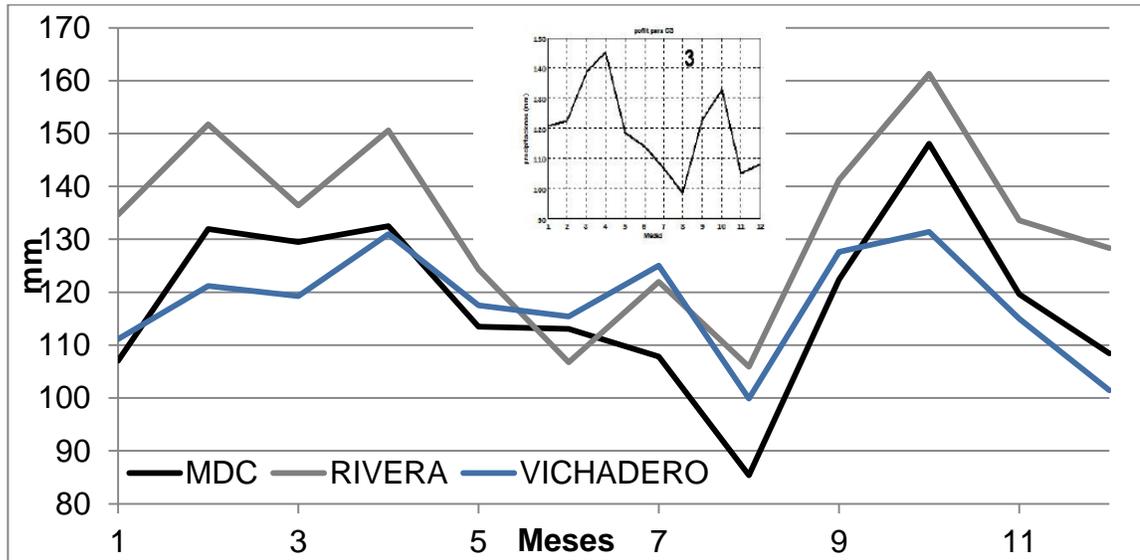


Gráfico No. 24. Comparación de las curvas de distribución de la precipitación a lo largo del año en Minas de Corrales (MCD), Rivera y Vichadero, respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 3 (en el recuadro).

En cuanto a Treinta y Tres, la distribución de la precipitación obtenida en este trabajo coincide mayormente con la reportada por Fagúndez<sup>7</sup> para la región 2, que comprende, como se observa en la figura No. 14, la región SE del país (ver gráfico No. 25).

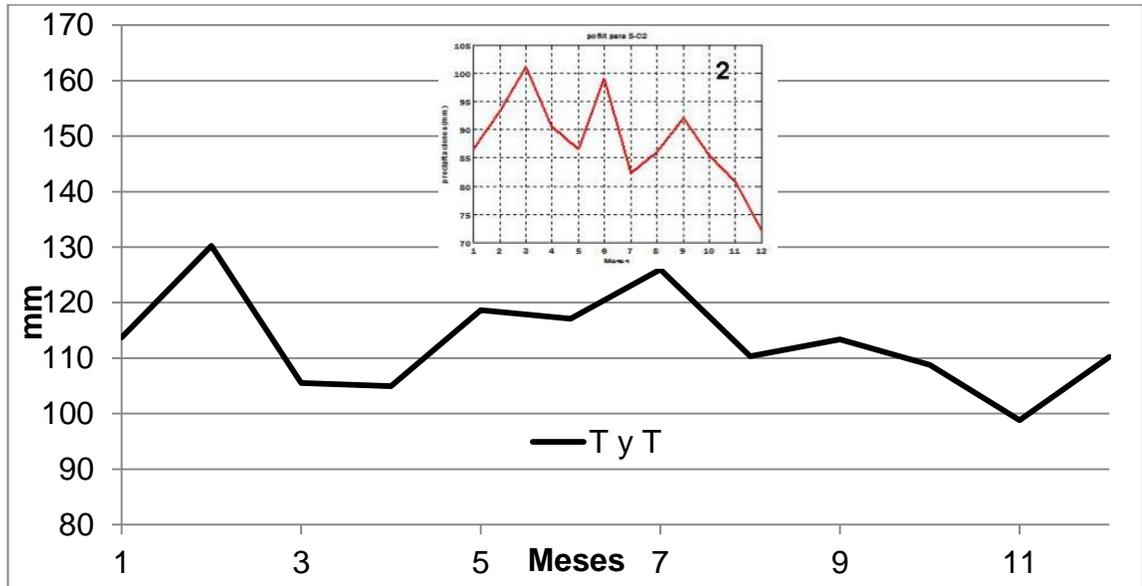


Gráfico No. 25. Comparación de la curva de distribución de la precipitación a lo largo del año en Treinta y Tres (T y T), respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 2 (en el recuadro).

Paso de los Toros no está comprendido en la regionalización de Fagúndez<sup>7</sup> aunque de acuerdo al mapa (ver figura No. 14), estaría ubicada entre la región 2 y la 3. Asimismo, la curva de distribución de lluvia obtenida para Paso de los Toros en el presente trabajo coincide con la reportada por el autor para la región del litoral W del país (ver figura No. 14 y gráfico No. 26).

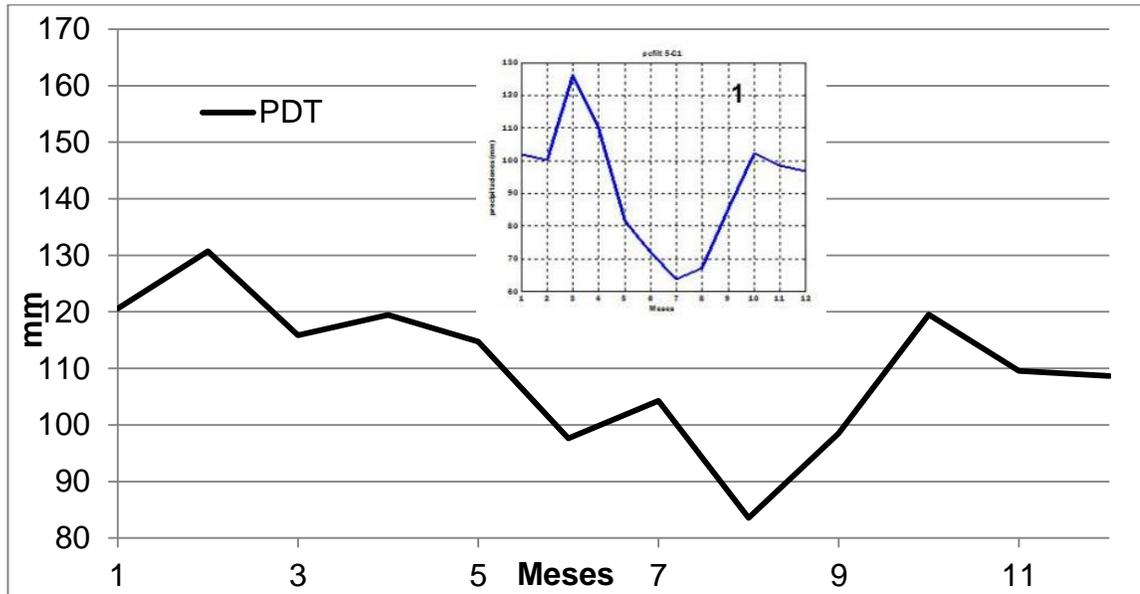


Gráfico No. 26. Comparación de la curva de distribución de la precipitación a lo largo del año en Paso de los Toros (PDT), respecto a la curva reportada por Fagúndez para la región 1 (en el recuadro).

#### 4.2.3. Efectos del clima sobre la producción

Según los resultados obtenidos, se observa que la región Noreste, a pesar de tener buenas condiciones edáficas y pastoriles para lograr una buena producción presenta varias limitantes agroclimáticas, tanto para la producción vegetal como animal:

- elevado número de heladas al año que estarían afectando la producción de pasturas, alimento principal para el ganado;
- elevada precipitación en los meses de invierno que provoca excesos hídricos y anegamiento, así como veranos con escasas lluvias que no llegan a cubrir la alta demanda atmosférica;
- bajas temperaturas en invierno, asociadas a abundantes lluvias y fuertes vientos, así como altas temperaturas en los meses de verano, que si bien no llegan a ser tan altas como las registradas al norte del país, tienen potencial efecto depresivo sobre los animales en producción (verificados mediante el Chill index y el Índice de temperatura y humedad).

Sería relevante contar con datos de producción, ya sea de leche, carne y/o lana, para poder relacionarlos con los datos agroclimáticos obtenidos en la presente caracterización agroclimática, como forma de validar estos efectos depresivos del clima a nivel local, pero a priori, mediante antecedentes

ocurridos en el país y citados en la revisión bibliográfica del actual trabajo, se podría afirmar lo siguiente:

- Lluvias excesivas ocasionan disminuciones en el consumo de alimento del ganado, ya que éste preferirá permanecer a cubierto en lugar de ir a comer. Esta situación en meses de mínima demanda atmosférica implica que los suelos permanezcan anegados durante gran parte del año (verificado en el balance hídrico de suelos), provocando que vacas en lactación pierdan una gran cantidad de energía en su traslado a zonas de pastoreo y ordeño, quedando menos cantidad de energía disponible para la producción de leche y/o carne;<sup>2</sup>
- en contraste con lo explicitado anteriormente, los veranos en la región presentaron altas temperaturas, con menores precipitaciones en comparación con las otras localidades analizadas, y una alta demanda atmosférica, lo que provoca un menor rendimiento de las pasturas por falta de agua. Esta situación también influye directamente en los animales en producción, ya que los lugares donde el animal concurre a tomar agua están secos, con poca agua y/o de mala calidad;<sup>2</sup>
- Cruz (2009a) determinó umbrales de ITH a partir de los cuales la producción de leche comienza a disminuir. Este umbral toma valor de 75 para el ITH del día del control lechero, y para Melo se obtuvieron valores iguales o mayores a dicho umbral durante varios días, principalmente en el verano y en horas cercanas a las 15 hs, que es en el que se registra la máxima temperatura diaria. Si se considera el ITH máximo diario, existe una probabilidad de ocurrencia de 80 y 67% de valores de ITH máximo iguales o mayores a 75 en los meses de enero y febrero respectivamente;
- los resultados del Chill index (Donnelly, 1984) en Melo mostraron valores por encima del crítico durante prácticamente todo el invierno, llegando a valores de hasta casi 1500 kJ/m<sup>2</sup>/h, e incluso durante la primavera, siendo esta la época del año más vulnerable, ya que es el momento en el cual se concentran las pariciones, así como mayores probabilidades de ocurrencia de valores de Chill index por encima del crítico mayores en estos meses.
- según Pascale et al. (2004), las plantas forrajeras, como las utilizadas en la región (que son generalmente especies C3), tienen una temperatura base para el crecimiento de 5°C, y una máxima de 35°C, ubicándose las óptimas entre 15 y 25°C. Es importante destacar que el clima de nuestro

país, así como el de la región permite un crecimiento adecuado de las mismas, lo cual las convierte en el alimento principal de la mayoría de los animales en producción. Asimismo, cabe destacar que el crecimiento de las mismas se ve reducido, o incluso paralizado en momentos en los cuales no se alcanzan las temperaturas indicadas anteriormente. En el caso de la localidad de Melo, como fue observado durante el presente trabajo, la temperatura permanece durante cierto tiempo por debajo de la temperatura base, o por encima de la máxima. Los momentos en los cuales el crecimiento de las pasturas es óptimo (como se representa en la figura No. 15) son la primavera principalmente, y el otoño.

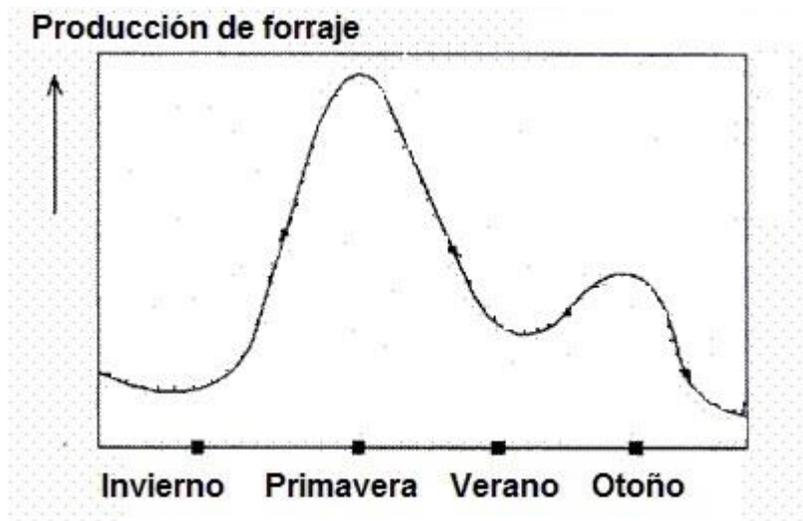


Figura No. 15. Producción de forraje según estación del año.  
Fuente: adaptado de Olmos (1997).

## 5. CONCLUSIONES

Los períodos de bajas temperaturas, así como de baja disponibilidad de agua en los suelos, son críticos para el crecimiento de las especies forrajeras, y son determinantes de las variaciones estacionales en la oferta de forraje que caracteriza a las pasturas en Uruguay.

De la región analizada, Melo es la localidad que presenta mayor temperatura media. La mayor temperatura máxima media se registró en Melo (y Tacuarembó), así como la menor temperatura mínima media, por lo que es la localidad que presenta mayor amplitud térmica, principalmente en los meses de otoño- invierno.

Las temperaturas medias y máximas medias presentaron un bajo coeficiente de variación (CV) durante todo el año en las localidades estudiadas, en cambio las temperaturas mínimas medias presentaron un alto CV durante el invierno (cerca al 40%). Esto se debe a que las temperaturas mínimas dependen de las condiciones locales, como tipo de suelo, rugosidad, topografía, entre otras, las cuales son muy cambiantes.

Las precipitaciones a nivel mensual presentaron un alto CV, siempre por encima del 60%; esto indica la alta variabilidad interanual de esta variable. También es importante destacar que se presentó una alta variabilidad espacial en el régimen de lluvias de la región analizada.

Junto con Cebollatí, la precipitación en Melo se distribuye principalmente durante los meses de invierno, momento en el cual la demanda atmosférica es mínima. Esto implica un incremento en los períodos de exceso de agua, donde se sobrepasa la capacidad del suelo de almacenar agua, y en los períodos en los cuales el mismo se encuentra seco. Los excesos hídricos en Melo alcanzaron hasta 800 mm por estación y las deficiencias llegaron a los 400 mm.

El período analizado de precipitaciones diarias en Melo comprendió el intervalo 1960- 2014, donde se pudo identificar dos subperíodos: el primero desde 1960 a 1977 en el cual el promedio de días con lluvia fue entre 60 y 90 días; y el segundo entre 1978 y 2014, donde el mismo estuvo siempre por encima de los 100 días con precipitación al año. Los años con mayor número de días con precipitaciones fueron 1964 (140 días) y 2002 (144 días). El promedio de precipitación anual fue de 1318 mm, coincidiendo con el promedio anual de 1411 mm reportado por Castaño et al. (2011). Los años extremos fueron: 1989 con menos de 800 mm y 2002 con aproximadamente 2000 mm en el año.

Los valores de ITH máximos en los meses de verano (diciembre, enero y febrero) se ubicaron casi siempre por encima del umbral de 75 estimado por Cruz (2009a). El ITH mínimo no alcanzó prácticamente en ningún momento del año ese umbral, lo cual se considera un aspecto importante, ya que si bien durante el día los animales se exponen a sufrir estrés por calor, durante la noche tienen la posibilidad de recuperar la normotermia. Existe además alta probabilidad de que ocurra ITH máximo por encima de 75 en los meses de verano.

Durante gran parte del invierno, e incluso en días de otoño y primavera el Chill index (indicador de estrés por frío) sobrepasó el valor crítico, por lo que existe un ambiente potencialmente depresivo por frío sobre ovinos recién esquilados y corderos recién nacidos.

- En cuanto a la comparación de Melo con Colonia

Las temperaturas máximas medias y medias resultaron mayores en Melo, mientras que la mínima media fue similar en ambas localidades.

El número de heladas agrometeorológicas fue mucho mayor en Melo, con un promedio de 46 días al año, mientras que en Colonia fue de solo 10 días. El período con heladas promedio fue casi el doble en Melo que en Colonia (171 y 89 días respectivamente).

En invierno se dieron las mayores diferencias en las precipitaciones (117 mm más en Melo). En verano las precipitaciones fueron similares. En otoño llovió en promedio 78 mm más en Melo y en primavera 46 mm.

En Melo se produjeron más eventos de excesos y deficiencias hídricas, que van más allá de la capacidad de almacenaje de agua disponible de los suelos (113,3 mm en Melo y 136,7 mm en Colonia). La magnitud de las deficiencias y excesos también fue mayor en Melo. En invierno los excesos hídricos fueron de 4 a 5 veces mayores en Melo.

Los valores de ITH máximo fueron ligeramente superiores en Melo con respecto a Colonia, principalmente en otoño y primavera. Si bien las probabilidades de ocurrencia de valores de ITH máximos mayores al umbral fueron siempre mayores en Melo, las mayores diferencias se vieron en abril, octubre y noviembre.

- En cuanto a la comparación de Melo con Salto

Las temperaturas mínimas medias, medias y máximas mediaa siempre fueron mayores en Salto, por lo que las menores temperaturas mínimas medias fueron registradas en Melo.

El número de heladas agrometeorológicas registradas en Melo fueron casi el doble que en Salto (46 y 25 días respectivamente), y el período con heladas (en días) también.

En invierno las precipitaciones registradas fueron casi el doble en Melo. En otoño y primavera fueron similares, mientras que en verano fueron 60 mm mayores en Salto.

Las mayores diferencias en cuanto a los balances hídricos realizados se dieron en los excesos, debido a las mayores precipitaciones registradas en Melo durante el invierno. Las deficiencias hídricas fueron similares, ya que si bien en Salto se registraron mayores precipitaciones, la demanda atmosférica también fue mayor.

Los valores del Chill index fueron muy similares para ambas localidades, siendo ligeramente mayores en Salto.

## 6. RESUMEN

En los sistemas de producción pastoriles de Uruguay los animales están expuestos permanentemente al ambiente exterior, con efectos directos en las respuestas fisiológicas y productivas e indirectos sobre la cantidad y calidad de pasturas y cultivos, principales componentes de la dieta. El objetivo de este trabajo fue caracterizar agroclimáticamente la región Noreste de Uruguay, para identificar y representar los potenciales efectos perjudiciales o benéficos del clima sobre la producción lechera y ganadera. Se enfocó en la estación experimental Bernardo Rosengurtt de Facultad de Agronomía, por lo que el punto de referencia fue la estación meteorológica de Melo. Se analizó el comportamiento de la lluvia y temperatura, el régimen agroclimático de heladas y de balances hídricos para comparar con otras localidades. Se consideraron seis estaciones meteorológicas a las que se agregaron tres pluviométricas. Se calcularon índices de estrés térmico para conocer el efecto del calor o frío sobre los animales. En Melo se alcanzó la mayor temperatura media, mayor número de heladas al año, inviernos con el mayor exceso hídrico y veranos con mayor magnitud de deficiencias hídricas en los suelos. En los meses más calurosos el índice de estrés de temperatura y humedad (ITH) alcanzó valores que representan un efecto depresivo sobre el ganado lechero en producción, y en los meses de frío el Chill index alcanzó valores que representan un efecto depresivo sobre corderos recién nacidos y ovinos recién esquiladas.

Palabras clave: Agroclima; Producción agropecuaria; Noreste uruguayo; Indicadores biometeorológicos.

## 7. SUMMARY

In Uruguay's pastoral production systems, animals are permanently exposed to the external environment, with direct effects on the physiological and productive responses and indirectly on the quantity and quality of pastures and crops, the main components of the diet. The objective of this study was to characterize the Northeastern region of Uruguay in order to identify and represent the potential harmful or beneficial effects of climate for dairy and livestock production. It focused on the experimental station Bernardo Rosengurtt of Faculty of Agronomy, reason why the reference point was the meteorological station of Melo. The behavior of rain and temperature, agroclimatic regime of frosts and water balances to compare with other localities were analyzed. Six meteorological stations were considered and three rain stations were added. Thermal stress indices were also calculated to know the effect of heat or cold on animals. In Melo the highest average temperatures were reached, the highest number of frosts per year, winters with the highest water excesses and summers where the soil remains dry. In the hottest months, the thermal stress index reached values that represent a depressive effect on dairy cattle in production, as well as in the cold months Chill index indicated a depressive effect on newborn lambs and freshly sheared sheep.

Keywords: Agroclimate; Agricultural production; Uruguayan Northeast; Biometeorological indicators.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agnusdei, M. G.; Colabelli, M. R.; Fernández Grecco, R.C. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el Sudeste bonaerense. INTA. Boletín técnico no. 152: 1-32.
2. Alexander, G.; McCance, I. 1958. Temperature regulation in the new-born lamb. I. Changes in rectal temperature within the first 6 hours of life. Australian Journal of Agricultural Research. 9: 339- 347.
3. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration; guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 173 p. (FAO Irrigation and Drainage no. 56).
4. Arias, R. A.; Mader, T. L.; Escobar, P. C. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Archivos de Medicina Veterinaria. 40: 7- 22.
5. Baradas, M. W. 1994. Crops requirements of tropical crops. In: Griffiths, F. ed. Handbook of agricultural meteorology. New York, Oxford University. pp. 189- 202.
6. Barioglio, C. F. 2006. Diccionario de las ciencias agropecuarias. Córdoba, AR, Brujas. 496 p.
7. Baumgard, L. H.; Rhoads, R. P. 2013. Effects of heat stress on post-absorptive metabolism and energetics. Annual Review of Animals Biosciences. 1: 311- 337.
8. Berreta, E. J. 1998. Principales características climáticas y edáficas de la región de Basalto en Uruguay. In: Seminario de Actualización de Tecnologías en Basalto (1998, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 3-10 (Serie Técnica no. 102).
9. Bettolli, M. L.; Altamirano, M. A.; Cruz, G.; Rudorff, F.; Martínez, A.; Arroyo, J.; Armoa, J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay); relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. Revista Brasileira de Meteorologia. 25 (2): 248 - 259.
10. Bianca, W. 1972. Termorregulación. In: Hafez, S. A. ed. Adaptación de los animales de granja. México, Herrero. pp. 135 – 162.
11. Birkelo, C. P.; Johnson, D. E. 1993. Seasonal environment, performance and energy metabolism of feedlot cattle in northern Colorado. In: International Livestock Environmental Symposium (4th., 1993, Coventry). Proceedings. Coventry, England, University of Warwick. pp. 1117-1124.

12. Blackshaw, J.; Blackshaw, A. W. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behavior; a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 34: 285-295.
13. Bluestein, M.; Zecher, J. 1999. A new approach to an accurate wind chill factor. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 80: 1893-1899.
14. Caffera, M. 2005. Variación de largo período en la disponibilidad potencial de agua para pasturas en Uruguay. Tesis PhD. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. 120 p.
15. \_\_\_\_\_; Chiara, J. P.; Saravia, C. 2014. El evento del 14 de setiembre de 2013; de la hecatombe ovina hacia el restablecimiento de sistemas de alertas agropecuarias por fenómenos naturales peligrosos. In: Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (6º., 2014, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, s.e. pp. 141-142.
16. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 34 p. (Serie Técnica no. 193).
17. Castillo, F. E.; Castellvi, F. 2001. *Agrometeorología*. 2a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 516 p.
18. Collier, R. J.; Doelger, S. G.; Head, H. H.; Tatcher, W. W.; Wilcox, C. J. 1982. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield production of Holstein cows. *Journal of Animal Science*. 54: 309.
19. Collin, A.; Van Milgen, J.; Dubois, S.; Noblet, J. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *British Journal of Nutrition*. 86: 63-70.
20. Cruz, G.; Saravia, C. 2001. Cuantificación de un índice de estrés térmico para vacas lecheras en el Norte de Uruguay; primer avance. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (12º.), Água e Agrometeorologia no Novo Milênio (5o., 2001, Fortaleza). *Anales*. s.n.t. pp. 755-756.
21. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2008. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 12 (1): 56-60.
22. \_\_\_\_\_. 2009a. *Biometeorología del calor sobre la producción de leche de vacas Hostein en Uruguay*. Tesis Magister en Ciencias Agrarias.

Opción Ciencias Animales. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 84 p.

23. \_\_\_\_\_.; Urioste, J. 2009b. Variabilidad temporal y espacial del Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en zonas de producción lechera de Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 13 (2): 37-46.
24. \_\_\_\_\_.; Baethgen, W.; Picasso, V.; Terra, R. 2014. Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 18 (1): 126- 132.
25. Da Silva, R. G. 2010. Weather and climate and animal production. In: Update of the guide to agricultural meteorological practices. Geneva, World Meteorological Organization (WMO). pp. 12-21 (WMO no.134).
26. Donnelly, J. R. 1984. The productivity of breeding ewes grazing on lucerne or grass and clover pastures on the tablelands of Southern Australia. III. Lamb mortality and weaning percentage. *Australian Journal of Agricultural Research*. 35 (5): 709- 721.
27. Du Preez, J. H.; Giesecke, W. H.; Hattingh, P. J. 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions. I. Temperature-humidity Index mean values during the four main seasons. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*. 57: 77- 86.
28. Echevarría, A.; Miazzo, R. 2002. El ambiente en la producción animal. In: Curso de Producción Animal (2º., 2002, Córdoba). Trabajos presentados. Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto. s.p.
29. Gallardo, M.; Valtorta, S. E. 2011. Producción y bienestar animal. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 125 p.
30. Hahn, G.L. 1995. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. *Japanese Journal Livestock Management* . 30 (3): 113- 127.
31. Johnson, H. D.; Kibler, H. H.; Ragsdale, A. C.; Berry, I. L.; Shanklin, M. D. 1961. Role of heat tolerance and production level in response of lactating Holstein to various temperature-humidity conditions. *Journal of Dairy Science*. 44: 1191.
32. \_\_\_\_\_. 1986. The effects of temperature and thermal balance on milk production. In: Moberg, G. P. ed. Limiting the effects of stress on cattle. Logan, Utah, s.e. pp. 33-45 (Utah Agricultural Experiment Station Research Bulletin no. 512).
33. \_\_\_\_\_. 1987a. Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production of livestock. In: Johnson, H. D. ed. Bioclimatology and

- adaptation of livestock. Amsterdam, Elsevier. pp. 2-26 (World Animal Science B – 5).
34. \_\_\_\_\_. 1987b. Bioclimatology and the adaptation of livestock. Amsterdam, Elsevier. 273 p. (World Animal Science B – 5).
  35. Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N.; Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating cows; a review. *Livestock Production Science*. 11: 59-91.
  36. Koeppen, W. 1918. Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle. *Petermanns Geographische Mitteilungen*. 64: 193-203.
  37. Little, W.; Sansom, B. F.; Manston, R.; Allen, W. M. 1978. The effects of reducing the water intake of lactating dairy cows by 40% for 3 weeks. *Animal Production*. 27: 79-87.
  38. Mazzanti, A.; Castaño, J.; Orbea, J. R.; Sevilla, G. H. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. Balcarce, INTA. Centro Regional Buenos Aires Sur (CERBAS). 73 p.
  39. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. Escala 1:1.000.000.
  40. MGAP. DIEA. (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2014. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 243 p.
  41. Montossi, F.; De Barbieri, I.; Dighiero, A.; Martínez, H.; Nolla, M.; Luzardo, S.; Mederos, A.; San Julián, R.; Zamit, W.; Levratto, J.; Frugoni, J.; Lima, G.; Costales, J. 2005. La esquila preparto temprana; evaluación del impacto del tipo de peine. *In: Seminario de Actualización Técnica Reproducción Ovina; Recientes Avances Realizados por el INIA (9º., 2005, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 85-105 (Actividades de Difusión no. 431).*
  42. Muñoz, G.; Rondelli, F.; Maiztegui, L.; Gherardi, S.; Tolini, F.; Fernandez, G.; Coronel, A.; Amelong, J.; Celoria, F. 2013. Efectos de la ola de calor sobre la vaca Holando Argentino en el módulo tambo de la Facultad de Ciencias Agrarias- UNR. *Revista Agromensajes*. 36: 12.
  43. Nienaber, J. A.; Hahn, G. L.; Brown-Brandl, T. M.; Eingenberg, R. A. 2003. Heat stress climatic conditions and the physiological responses of cattle. *In: International Dairy Housing Conference (5<sup>th</sup>., 2003, Forth Worth, TX). Proceedings. s.l., American Society of Agricultural and Biological Engineers. pp. 255 - 262.*

44. Nixon-Smith, W. F. 1972. The forecasting of chill risk ratings for new born lambs and off-shears sheep by the use of a cooling factor derived from synoptic data. Melbourne, Commonwealth Bureau of Meteorology. 24 p.
45. NRC (National Research Council, US). 1981. Effect of environment on nutrient requirement of domestic animals. Washington, D. C., National Academy Press. 379 p.
46. Odriozola, E. 2009. Problemas sanitarios en bovinos vinculados a la intensificación ganadera. *In*: Jornada Técnica sobre Sanidad Animal y Nutrición Mineral en Recursos Forrajeros (5ª., 2009, Balcarce). Trabajos presentados. Balcarce, INTA. pp. 255– 266.
47. \_\_\_\_\_. 2014. Festuca infectada, un peligro latente (en línea). Balcarce, INTA. s.p. Consultado 15 ago. 2016. Disponible en <http://inta.gob.ar/noticias/festuca-infectada-un-peligro-latente>
48. Olmos, F. 1997. Pasturas naturales en la región Noreste. *In*: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. Montevideo, INIA. pp. 27- 50 (Serie Técnica no. 13).
49. Pascale, A.; Damario, E. 2004. Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 489 p.
50. Rodríguez, A.; Maresca, S. 2014. Diagnóstico presuntivo de Intoxicación con ergocaloides en el partido de Rauch, Ayacucho y Tapalqué. INTA Cuenca del Salado. Boletín informativo no. 1.s.p.
51. SAM (Sociedad Americana de Meteorología, US). 1989. Glosario de meteorología. 5ª. ed. Boston, USA. s.p.
52. Saravia, C.; Cruz, G. 2003. Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal. Facultad de Agronomía (Montevideo). Nota Técnica no. 50. 36 p.
53. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2006. Olas de calor en la cuenca lechera de Salto; evolución del ITH y comportamiento atmosférico que determinan su ocurrencia. *In*: Congresso Brasileiro de Biometeorologia (4º., 2006, Ribeirão Preto). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
54. \_\_\_\_\_. 2009. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 140 p.

55. \_\_\_\_\_.; Astigarraga, L.; Van Lier, E.; Bentancur, O. 2011. Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia* (Montevideo). 15 (1): 93-102
56. Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*. 67: 1-18.
57. Siple, P. A., Passel, C. F. 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 89: 177-199.
58. Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57-59.
59. Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1967. Instrucciones y tablas para el cómputo de la ETP y el balance hídrico. Buenos Aires, INTA. 55 p.
60. Toneatti, I. D.; Toffoli, G. D.; García, M. S.; Leva, P. E. 2014. Número de días con riesgo de estrés calórico en la Provincia de Santa Fe; situación actual y el impacto esperado por el cambio climático. In: Seiler, R. A., Vinocur, M. G. eds. Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología (2º.), Reunión Argentina de Agrometeorología (15ª., 2014, Piriápolis). *Actas. Río Cuarto, UniRío*. pp. 183- 184.
61. Valtorta S. E.; Gallardo, M. R.; Castro, H. C.; Castelli, M. E. 1996a. Artificial shade and supplementation effects on grazing dairy cows in Argentina. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39- 233.
62. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1996b. El estrés por calor en producción lechera. INTA. *Miscelánea no. 81*. pp. 173-185.
63. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Leva, P. E.; Scarpati, O. E. 2002. Respuestas de la producción lechera durante eventos de olas de calor en Argentina. In: *International Congress on Biometeorology (16<sup>th</sup>.)*, *Conference on Biometeorology and Aerobiology (15<sup>th</sup>., 2002, Kansas)*. *Actas. Boston, MA, SAM*. pp. 98- 101.
64. \_\_\_\_\_., Leva, P. E.; García, M. S.; Rodríguez, R. O. 2008. Régimen agroclimático de olas de calor en la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*. 7 (1-2): 131- 136.
65. Vélez, M.; Uribe, L. F. 2010. ¿Cómo afecta el estrés calórico la reproducción?. *Biosalud*. 9 (2): 83-95.
66. Wheelock, J. B.; Rhoads, R. P.; Vanbaale, M. J.; Sanders, S. R.; Baumgard, L. H. 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal Dairy Science*. 93: 644-655.

67. WHO (World Health Organization, CH). 1989. Animal health and production at extremes of weather. Geneva. 182 p. (Technical note No. 191).