

## Propuesta metodológica para la determinación de las épocas climáticas con aplicación a los estudios de producción y reproducción bovina en el trópico.

Magda Rivera<sup>1</sup>, MV; Julio Ramírez<sup>2</sup>, IA; Hemerson Moncada<sup>3</sup>, MV; Luis E Trujillo<sup>4</sup>, MV.

<sup>1</sup>BIO-VET, A.A 8652, Medellín, Colombia; <sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias, A.A 586, Escuela de Biociencias, A.A 349, Medellín; <sup>3</sup>Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Ciudadela Robledo, Carrera 75 No. 65-87, Medellín, Colombia; <sup>4</sup>Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Animal, A.A 586, Medellín, Colombia\*.

(Recibido: 21 agosto, 2001; aceptado: 26 septiembre, 2002)

### Resumen

*El efecto del clima sobre el comportamiento productivo y reproductivo en plantas y animales se evidencia a través de la producción de forraje de la pradera, la ganancia de peso de los animales o la distribución de sus partos a lo largo del año. Con el fin de determinar el período climático más favorable para el desempeño productivo del ganado es prioritario caracterizar y clasificar el clima con base en los factores que más lo afectan. La caracterización se logra a través de la elaboración del balance hídrico o contabilidad del agua en el suelo, metodología que tiene en cuenta la precipitación pluvial, la evapotranspiración potencial y real y el movimiento del agua a través del perfil del suelo. El efecto del clima sobre los parámetros productivos y reproductivos se evalúa tomando en cuenta las características climáticas en los cuatro o cinco meses previos a la fecha de corte del análisis y con base en este criterio se crea la base de datos. El análisis estadístico emplea los procedimientos del Modelo Lineal General (GLM) del Statistical Analysis System (SAS) y los coeficientes de correlación y regresión. La metodología climática y estadística propuesta es aplicable a los sistemas de producción animal como una herramienta para el análisis e interpretación de los eventos productivos y reproductivos en los bovinos.*

**Palabras clave:** bovinos, clima, evapotranspiración, hídrico, producción, reproducción.

### Introducción

El efecto del clima sobre el comportamiento productivo y reproductivo de plantas y animales se ha estudiado tradicionalmente a través de la producción de forraje de las praderas, la capacidad de carga animal, las ganancias de peso y la distribución de los partos de los animales a lo largo del año, en un esfuerzo por determinar los períodos climáticos más favorables para el desarrollo de las actividades agropecuarias (2,6,8). Sin embargo, cuando se han definido estos períodos climáticos, el criterio fundamental de clasificación de una época seca o húmeda, ha sido la precipitación pluvial (5,8,12). Otros

autores han ido un poco más allá y han incluido además la temperatura ambiental, la humedad relativa y la radiación solar (1,4).

El clima ha sido definido por Lowry (7) como: “el conjunto fluctuante de las condiciones del tiempo en una porción determinada del espacio”. Esta definición plantea tres aspectos fundamentales desde el punto de vista climático.

1. El clima es una expresión del comportamiento de la atmósfera.
2. El clima está compuesto de fluctuaciones llamadas tipos de tiempo.

\* Dirección para solicitar reimpresos

3. El clima si bien está determinado por las circunstancias atmosféricas globales, tiene un comportamiento específico para cada zona o porción del espacio. Es decir, el factor decisivo es su unidad de lugar.

Estas consideraciones plantean entonces la necesidad de ser más exhaustivos y detallados en la definición y determinación de las épocas climáticas, tomando en cuenta elementos adicionales del clima que lo afectan notoriamente y que interactúan fuertemente entre ellos.

Dado que en la literatura disponible no ha sido posible encontrar un método que incorpore en la definición de los períodos climáticos otros conceptos de gran importancia, tales como la evapotranspiración potencial y real, el almacenamiento de agua en el suelo y los cambios en el mismo, así como la presentación de deficiencias o excesos de agua para la planta, se juzgó conveniente proponer una metodología que incluyera estos criterios y permitiera una aproximación más precisa al concepto de época climática con aplicación a la producción animal.

Para el efecto, y sobre la base del conocimiento detallado de los elementos y factores climáticos, se utilizarán modelos matemáticos que permiten la integración de estos componentes, con el objeto de proponer una metodología que conduzca a una clasificación y descripción más exactas de las épocas climáticas, a través de índices y balances hídricos.

Como se describirá posteriormente se trata de una metodología que no solo permite clasificar el clima, sino que se convierte en un indicativo del potencial climatológico de un lugar para el establecimiento de las diferentes especies vegetales y animales y para explicar, en determinadas circunstancias, resultados productivos y reproductivos.

### **El balance hídrico o contabilidad del agua y su importancia**

El balance hídrico es uno de los aspectos de interés en el campo de la climatología, ya que su conocimiento e interpretación permite un manejo adecuado de los movimientos de agua en las zonas de cultivo y en la ordenación de las zonas naturales, como en el caso de las cuencas hidrográficas.

Igualmente, involucra nociones de mucha utilidad como los conceptos de evapotranspiración potencial y real, y da a la vez una visión amplia de las interrelaciones del agua a través de los suelos, las plantas y la atmósfera.

El estudio del balance hídrico busca caracterizar cuantitativa y cualitativamente las exigencias de la planta en el suelo, de la atmósfera en contacto con la planta y del suelo como almacenador de agua. De esta manera se puede definir si en un momento dado las plantas o forrajes se encuentran bajo un medio de deficiencia o de exceso de agua que afecte su crecimiento o desarrollo. En consecuencia, parámetros tanto productivos como reproductivos podrían ser explicados por un efecto directo del clima o por el desempeño productivo de la pradera; en términos de disponibilidad de forrajes básicos para la alimentación de los bovinos o de disponibilidad de áreas para el pastoreo.

El balance hídrico es una herramienta de utilidad inmediata o de análisis de una situación pasada que puede ser aplicada a la interpretación de los eventos productivos y reproductivos en hatos bovinos bajo pastoreo en praderas tropicales.

### **Elementos del balance hídrico**

Según Ometto (9), el proceso de contabilidad hídrica en el suelo más utilizado con fines climatológicos es el de Thornthwaite (13). Consta de un cuadro con nueve líneas que indican los valores de evapotranspiración potencial (ETP), precipitación (P), diferencia entre P y ETP, acumulado de la diferencia entre P y ETP. También hacen parte del cuadro, las líneas que contabilizan el almacenamiento de agua en el suelo (AAS), la alteración o cambio de ese almacenamiento ( $\Delta S$ ), la evapotranspiración real (ETR), el déficit de agua para la planta (ETP-ETR) y el exceso de agua en el perfil del suelo o sobrante de agua en el suelo (véase Tabla 1).

En las columnas del cuadro se colocan los valores mensuales de enero a diciembre, los cuales pueden corresponder a un año cualquiera o a un período de tiempo determinado. Dentro de los criterios de contabilidad hídrica, deben ser utilizados los valores de ETP, precipitación mensual y almacenamiento de agua en el suelo, tomando solamente números enteros y eliminando la parte fraccionaria.

**Tabla 1.** Balance hídrico para Buenavista (Córdoba) en el año de 1994 utilizando el método de Thornthwaite (13).

Item - Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1.Evapotranspiración potencial (ETP en mm)	127	124	138	132	127	123	138	134	124	124	112	111	1514
2.Precipitación (P en mm)	0	87	60	169	165	462	193	385	260	247	168	0	2196
3.Diferencia entre P y ETP (P - ETP en mm)	-127	-37	-78	37	38	339	55	251	136	123	56	-111	
4.Negativo acumulado	238	275	353	90	24	0	0	0	0	0	0	111	
5.Agua almacenada en el suelo (AAS)	9	6	3	40	78	100	100	100	100	100	100	32	
6.Alteración o cambio de agua en el suelo ( $\Delta S$ )	-23	-3	-3	37	38	22	0	0	0	0	0	-68	
7.Evapotranspiración real (ETR en mm)	23	90	63	132	127	123	138	134	124	124	112	68	1258
8.Deficiencia de agua para las plantas (ETP-ETR)	104	34	75	0	0	0	0	0	0	0	0	43	256
9.Exceso o sobrante de agua en el suelo	0	0	0	0	0	317	55	251	136	123	56	0	938

El primer paso para cuantificar el balance hídrico consiste en la determinación de la evapotranspiración potencial mensual, expresada en milímetros.

*Evapotranspiración potencial (ETP).* Teóricamente la evapotranspiración se define como la cantidad de agua necesaria en la transpiración de una cubierta vegetal que cubra totalmente el suelo y que esté constantemente alimentada de agua (15).

Thornthwaite (13) citado por Ometto (9) presentó una propuesta para determinar las necesidades de agua por los cultivos, a partir del concepto de evapotranspiración potencial definido como el conjunto de las pérdidas de agua por evaporación de las capas superficiales y por la transpiración que se produce en el suelo supuestamente cubierto por una vegetación que puede disponer del agua indispensable. En el término evaporación se incluye también la evaporación de las gotas de lluvia y rocío en la superficie de las plantas y la del agua en las superficies libres.

Existen varios métodos para determinar la cantidad de agua consumida por las plantas, los cuales se pueden clasificar en dos grupos: directos e indirectos. A los primeros pertenecen el lisimétrico y el de campo, mientras que a los segundos pertenecen el del balance térmico y el de observaciones de gradientes.

El presente artículo se basará en observaciones de gradientes y utilización de las fórmulas propuestas para estimar ETP en función de los elementos previsible del clima: temperatura, humedad, velocidad del viento, presión de vapor y radiación solar.

Desde el punto de vista climatológico se desarrollará un ejemplo del cálculo del balance hídrico, con el fin de que el lector tenga la oportunidad de conocer la forma como se realiza la contabilidad de las entradas y salidas de agua para un lugar cualquiera, sobre la base del cálculo de la evapotranspiración. Generalmente se utiliza el método de Penman (10) citado por Torres (14) para estimar la ETP y el método Thornthwaite (13) citado por Ometto (9) para completar la tabla del balance hídrico,

La ecuación de Penman (10) se presenta según las sugerencias y experiencias del personal técnico de la división de Producción y Protección Vegetal de la FAO, quienes la han utilizado para el pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos (14). La ecuación de Penman es la siguiente:

$$ETP = \frac{(P1\Delta/P2 r) RN + 0,26 (E - e) (1 + CV)}{(P1\Delta/P2r) + 1}$$

Donde:

- ETP = Evapotranspiración potencial en mm por día.  
P1 = Presión media al nivel del mar (1.013,2 milibares).  
P2 = Presión media del lugar de interés (mb).  
 $\Delta$  = Pendiente de la curva de saturación para una determinada temperatura (mb/°C). Generalmente se obtiene de la tabla 2 (3), conociendo la temperatura y la altitud del lugar.

- r = 0.00066 (coeficiente para el psicrómetro ventilado).
- RN = Radiación neta en calorías/día.
- $RN = (1 - \alpha)(Q + q) - \sigma T^4 (0.56 - 0.079 \sqrt{e}) (0.1 + 0.9 n/N)$
- $\alpha$  = Albedo o coeficiente de reflexión de la superficie según tabla 3 (14).
- Q +q = Radiación global o suma de la radiación directa y la difusa.
- $\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann según tabla 4 (3).
- T = Temperatura a 2m sobre el suelo en <sup>0</sup>K según tabla 4 (3).
- E = Presión de vapor de saturación máxima en milibares según tabla 5 (3).
- e = Presión actual o real del vapor de agua en mb; e= (HR x E) /100
- HR = Humedad relativa
- V = Velocidad media del viento a 2m del suelo (m/seg.).
- C = Coeficiente que depende de la oscilación diaria de la temperatura según tabla 6 (14).

**Tabla 2.** Cálculo del término  $\Delta/Y \times P_o/P$

T °C	Altitud (m)											
	-400	-200	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
0	00.63	00.65	00.67	00.69	00.71	00.72	00.74	00.76	00.78	00.80	00.82	00.84
1	00.68	00.70	00.72	00.74	00.75	00.77	00.79	00.81	00.83	00.85	00.87	00.89
2	00.72	00.74	00.76	00.78	00.80	00.82	00.84	00.86	00.88	00.91	00.93	00.95
3	00.77	00.79	00.81	00.83	00.86	00.88	00.90	00.92	00.94	00.97	00.99	01.01
4	00.83	00.85	00.87	00.89	00.91	00.93	00.96	00.98	01.00	01.03	01.05	01.08
5	00.88	00.90	00.92	00.94	00.97	00.99	01.01	01.04	01.07	01.09	01.12	01.15
6	00.94	00.96	00.98	01.00	01.03	01.05	01.08	01.10	01.13	01.16	01.19	01.22
7	01.00	01.02	01.04	01.07	01.09	01.12	01.15	01.17	01.21	01.24	01.27	01.30
8	01.07	01.09	01.11	01.13	01.16	01.19	01.22	01.25	01.28	01.31	01.35	01.38
9	01.11	01.14	01.17	01.20	01.23	01.26	01.29	01.32	01.36	01.39	01.43	01.46
10	01.19	01.22	01.25	01.28	01.31	01.34	01.37	01.41	01.44	01.48	01.52	01.55
11	01.26	01.29	01.32	01.35	01.39	01.42	01.45	01.49	01.53	01.57	01.61	01.65
12	01.34	01.45	01.48	01.52	01.55	01.59	01.63	01.67	01.71	01.76	01.80	01.84
13	01.42	01.45	01.48	01.52	01.55	01.59	01.63	01.67	01.71	01.76	01.80	01.84
14	01.51	01.54	01.57	01.61	01.64	01.68	01.72	01.77	01.81	01.86	01.91	01.95
15	01.58	01.62	01.66	01.70	01.74	01.78	01.82	01.87	01.92	01.97	01.02	02.06
16	01.68	01.72	01.76	01.80	01.85	01.89	01.94	01.98	02.04	02.09	02.14	02.19
17	01.76	01.81	01.86	01.91	01.95	02.00	01.05	01.10	01.15	01.21	01.26	01.32
18	01.87	01.92	01.97	02.02	02.06	02.11	02.17	02.22	02.28	02.33	02.39	02.45
19	01.98	02.03	02.08	02.13	02.18	02.23	02.29	02.34	02.40	02.47	02.53	02.59
20	02.07	02.13	02.19	02.25	02.30	02.36	02.42	02.47	02.54	02.60	02.67	02.73
21	02.22	02.27	02.32	02.37	02.43	02.49	02.55	02.61	02.68	02.75	02.81	02.88
22	02.32	02.38	02.44	02.50	02.56	02.63	02.69	02.75	02.83	02.90	02.97	03.04
23	02.46	02.52	02.58	02.64	02.71	02.77	02.84	02.90	02.98	03.06	03.13	03.21
24	02.60	02.66	02.72	02.78	02.85	02.92	02.99	03.06	03.14	03.22	03.30	03.38
25	02.72	02.79	02.86	02.93	03.00	03.08	03.15	03.22	03.31	03.40	03.48	03.56
26	02.85	02.93	03.01	03.09	03.16	03.24	03.32	03.40	03.49	03.58	03.66	03.75
27	03.01	03.08	03.17	03.25	03.33	03.41	03.49	03.57	03.67	03.76	03.86	0.395
28	03.18	03.26	03.34	03.42	03.50	03.59	03.67	03.76	03.86	03.96	04.06	04.15
29	03.35	03.43	03.51	03.60	03.63	03.77	03.86	03.95	04.06	04.17	04.27	04.37
30	03.51	03.60	03.69	03.78	03.87	03.97	04.06	04.16	04.27	04.38	04.49	
31	03.68	03.78	03.88	03.98	04.07	04.17	04.27	04.37	04.49	04.60		
32	03.87	03.97	04.07	04.18	04.28	04.38	04.49	04.59	04.71			
33	04.07	04.17	04.27	04.38	04.48	04.59	04.70	04.81				
34	04.26	04.37	04.48	04.59	04.70	04.82	04.93					
35	04.47	04.59	04.71	04.83	04.95	05.06						

Fuente: Giraldo (3).

La relación  $P1\Delta/P2r$  define el factor de presión cuyos valores se hallan en la tabla 2 (3) conociendo la temperatura promedio mensual y la latitud del lugar.

Como la ecuación de Penman (10) requiere el conocimiento de la Radiación Neta (RN) o radiación líquida disponible para que se desarrollen los procesos de evapotranspiración y convección, es necesario realizar el balance de radiación para la región en cuestión conociendo la latitud del lugar y la declinación del sol para obtener los siguientes parámetros: Radiación Global Total (RG) y Radiación de Onda Larga emitida por la superficie terrestre (RB). Para efectos del cálculo del balance de radiación se remite al lector a consultar la bibliografía (3).

A continuación se presenta el ejemplo para estimar la ETP en la zona de Buenavista (Córdoba), la cual se encuentra a 22 metros sobre el nivel del mar, una latitud de  $8^{\circ}14'$  y una longitud de  $75^{\circ}29'$  oeste, temperatura promedio para el mes de enero de  $27.2^{\circ}\text{C}$  y un balance de RN para el mismo mes de 4.81 calorías/día en el año de 1994.

Con base en la temperatura del mes ( $27.2^{\circ}\text{C}$ ) y la altura sobre el nivel del mar (22 metros), se busca en la tabla 2 (3) el término factor de presión correspondiente que es de 3.20. Los valores respectivos se reemplazan en la ecuación para estimar la ETP, la cual se coloca en la primera línea del cuadro del balance hídrico para cada mes (véase Tabla 1).

$$ETP = \frac{(3.20 \times 4.81) + 1.86}{3.20 + 1.0}$$

$$ETP = 4.109 \times 31 \text{ días del mes}$$

$$ETP = 127.4 \text{ mm/mes.}$$

*Otros elementos del balance hídrico.* En la línea dos, se colocan los valores de la precipitación (P), expresada en mm, para el período considerado. En la línea tres, se coloca la diferencia entre P y ETP. Esta línea muestra si en el período considerado hubo mayor entrada de agua en el sistema causada por una mayor P, o si hubo mayor demanda de agua por el sistema como consecuencia de una mayor ETP.

La línea cuatro, negativo acumulado, está asociada a la línea tres, (P-ETP) y a la línea cinco o agua almacenada en el suelo (AAS). Cuando la ETP es mayor que P significa un potencial mátrico hipotético,

expresado en milímetros de déficit de agua en el suelo. A medida que crece el valor de la línea negativo acumulado, mayor será el potencial osmótico de la planta para poder obtener el agua del suelo. En estos períodos en que  $ETP > P$ , las posibilidades de obtención del agua del suelo por la planta pasan a ser un juego de tensiones entre la tensión osmótica de la planta y la tensión mátrica del agua del suelo. Estas tensiones son indirectamente estimadas a partir de la tabla 7 (9) que contiene los valores de agua retenida por el suelo (AAS, línea cinco) para diversos valores del negativo acumulado (línea cuatro).

La contabilidad se inicia en la línea cinco (AAS) cuando se tiene la certeza de que el suelo está en su máxima retención de agua o capacidad de campo. Según Thornthwaite (13) citado por Ometto (9), el

**Tabla 3.** Valores típicos de Albedo superficial  $\alpha$  y emisibilidad  $\epsilon$ .

Superficie	Albedo ( $\alpha$ )	Emisibilidad ( $\epsilon$ )
Agua	0.05-0.10	0.95
Alfalfa	0.20-0.25	0.93
Algodonero	0.17-0.25	
Arena seca	0.18-0.30	
Bosque	0.03-0.10	0.90
Barbecho	0.08-0.10	
Cebada	0.20-	
Cítricos	0.17-	0.93
Hierba verde	0.15-0.20	
Hierba seca	0.19-0.32	
Hierba mojada	0.20-0.35	
Maíz	0.12-0.24	
Pradera natural	0.15-	0.90
Pasto fresco	0.25-	
Pasto seco	0.15-0.30	
Pradera gramínea	0.15-0.27	
Pradera alfalfa	0.25-0.27	
Tierra vegetal	0.10-0.25	
Vegetación desértica	0.37-	
Ríos	0.06-0.11	
Suelo oscuro	0.05-0.16	0.90
Suelo húmedo	0.10-	0.97
Suelo claro	0.20-0.43	0.90
Selva coníferas	0.05-0.15	
Zonas urbanas	0.16-0.45	

Fuente: Ometto (9).

suelo alcanza este estado en el último mes del periodo más intenso de lluvias. En la tabla 1 se observa que en noviembre termina un ciclo de lluvias para la zona; por lo tanto, el suelo adquiere su capacidad de campo y en consecuencia, en la línea cinco (AAS) de la columna correspondiente a noviembre se inserta el valor máximo de agua retenida por el suelo, que según el autor del método es de 100 mm.

El excedente positivo para la línea tres en noviembre es de 56 mm y al encontrarse el suelo a capacidad de campo, la planta ejerce su máxima evapotranspiración; por lo tanto, el negativo acumulado línea cuatro, es cero (0) y los 56 mm se convierten en sobrante de agua en el suelo que se perderán por escurrimiento o como agua gravitacional. Este último valor se lleva a la línea nueve.

**Tabla 4.** Radiación de un cuerpo negro expresada en mm de agua evaporable para la temperatura prevaleciente del aire ( $\sigma T^4K$ ).

°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	11.02	11.04	11.06	11.08	11.09	11.10	11.12	11.14	11.15	11.17
1	11.18	11.20	11.22	11.24	11.25	11.26	11.28	11.30	11.31	11.33
2	11.35	11.37	11.39	11.41	11.42	11.43	11.45	11.47	11.48	11.50
3	11.51	11.53	11.55	11.57	11.58	11.59	11.61	11.63	11.64	11.66
4	11.68	11.70	11.72	11.74	11.75	11.76	11.78	11.80	11.81	11.83
5	11.85	11.87	11.89	11.90	11.92	11.94	11.96	11.97	11.98	12.00
6	11.02	12.04	12.06	12.08	12.09	12.10	12.12	12.14	12.16	12.18
7	12.20	12.22	12.24	12.26	12.27	12.26	12.31	12.32	12.34	12.36
8	12.37	12.39	12.41	12.43	12.44	12.46	12.48	12.50	12.51	12.53
9	12.55	12.57	2.59	12.60	12.61	12.64	12.66	12.67	12.69	12.71
10	12.73	12.75	12.77	12.79	12.80	12.81	12.83	12.85	12.87	12.89
11	12.91	12.93	12.95	12.97	12.99	13.01	13.02	13.04	13.06	13.08
12	13.09	13.11	13.13	13.14	13.16	13.18	13.20	13.23	13.25	13.27
13	13.28	13.30	13.32	13.34	13.35	13.37	13.39	13.41	13.43	13.45
14	13.46	13.48	13.50	13.52	13.54	13.55	13.57	13.59	13.61	13.63
15	13.65	13.67	13.69	13.71	13.73	13.74	13.76	13.78	13.80	13.82
16	13.84	13.86	13.88	13.90	13.92	13.94	13.95	13.97	13.99	14.01
17	14.03	14.05	14.07	14.09	14.11	14.13	14.15	14.17	14.19	14.21
18	14.23	14.25	14.27	14.29	14.31	14.33	14.35	14.37	14.39	14.41
19	14.43	14.45	14.47	14.49	14.51	14.53	14.54	14.56	14.58	14.60
20	14.62	14.64	14.66	14.68	14.70	14.73	14.75	14.77	14.79	14.81
21	14.83	14.85	14.87	14.89	14.91	14.93	14.95	14.97	14.99	15.01
22	15.03	15.05	15.07	15.09	15.11	15.13	15.15	15.17	15.19	15.21
23	15.23	15.25	15.27	15.29	15.31	15.34	15.36	15.38	15.40	15.42
24	15.44	15.46	15.48	15.50	15.52	15.55	15.57	15.59	15.61	15.63
25	15.65	15.67	15.69	15.71	15.73	15.76	15.78	15.80	15.82	15.84
26	15.86	15.88	15.90	15.92	15.94	15.97	15.99	16.01	16.03	16.05
27	16.07	16.09	16.11	16.14	16.16	16.18	16.20	16.22	16.25	16.27
28	16.29	16.31	16.33	16.35	16.37	16.40	16.42	16.44	16.46	16.48
29	16.50	16.52	16.54	16.57	16.59	16.61	16.63	16.65	16.68	16.70
30	16.72	16.74	16.77	16.79	16.81	16.84	16.86	16.88	16.90	16.93
31	16.95	16.97	16.99	17.02	17.04	17.06	17.08	17.10	17.13	17.15
32	17.17	17.19	17.22	17.24	17.26	17.29	17.31	17.33	17.35	17.38
33	17.40	17.42	17.45	17.47	17.49	17.52	17.54	17.56	17.58	17.61
34	17.65	17.68	17.70	17.72	17.75	17.77	17.79	17.81	17.84	17.86
35	17.88	17.90	17.93	17.95	17.97	18.00	18.02	18.04	18.07	18.09

**Tabla 5.** Presión del vapor de saturación (Es) en milibares (mb).

T°	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.43	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.86	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.42	7.47	7.52
3	7.58	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.97	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.51	10.58	10.65
8	10.72	10.82	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.36	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.93
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.83	16.94
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.53	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.25
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.12	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.73
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.09	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.64	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.43	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.48	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.56	30.74	30.92	31.11	31.30	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.62	34.82	35.03	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.50	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.80	38.02	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.37	39.59	39.82
29	40.06	40.29	40.52	40.76	40.99	41.23	41.47	41.71	41.95	42.19
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.17	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.75	50.03
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.32	52.61	52.90
34	53.20	53.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.00	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.10
36	59.42	59.75	60.08	60.41	60.74	61.07	61.41	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.11	63.45	63.80	64.14	64.49	64.84	65.20	65.55	65.91
38	66.26	66.62	66.99	67.35	67.71	68.08	68.45	68.82	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.61	72.99	73.39

Fuente: Giraldo (3).

**Tabla 6.** Coeficiente que depende de la oscilación diaria de la temperatura.

OSCILACIÓN	COEFICIENTE C
Igual o menor de 12°C	0.54
Más de 12 hasta 13°C	0.61
Más de 13 hasta 14°C	0.68
Más de 14 hasta 15°C	0.75
Más de 15 hasta 16°C	0.82
Mayor de 16°C	0.89

Fuente: Ometto (9).

En el mes de diciembre, la línea tres presenta un valor negativo ya que ETP es mayor que P y se considera como un mes seco. Este valor en la tabla 1 es de -111; el cual es transferido a la línea cuatro (negativo acumulado) en forma positiva, correspondiéndole 32 mm de agua almacenada al final del mes (línea cinco) en la tabla 7 (9). Esto significa que cuando en un mes cualquiera la ETP es mayor que la P, el agua retenida en el perfil del suelo disminuye, debido a que la planta para ejercer su máxima evapotranspiración toma el agua que el suelo tiene almacenada y se pierde la condición de capacidad de campo.

**Tabla 7.** Valores de agua retenida por el suelo para diversos valores de la evapotranspiración -  $\Delta\mu_{max}=100$  (Negativo acumulado).

EP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Agua retirada del suelo									
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	85	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	55	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	38	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	23	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
360	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
370	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
380	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
390	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
410	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
430	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
440	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Ometto (9).

La línea seis es el  $\Delta S$  o alteración de agua en el perfil del suelo. Su variación puede ser positiva o negativa. Es positiva cuando el suelo gana agua después de un período consecutivo en el cual la evapotranspiración potencial ha sido mayor que la precipitación y es negativa cuando el suelo cede agua a la planta, disminuyendo su capacidad de campo. Cuando es negativa, su cálculo se realiza restando al valor de la línea cinco (AAS) del mes anterior el valor hallado en la tabla 7 (9) como agua almacenada en el suelo en ese mes. La alteración o cambio de agua en el perfil del suelo para el mes de diciembre es de -68 mm, que corresponde a la diferencia entre el agua almacenada en noviembre (100 mm) y el agua almacenada en diciembre (32 mm). El valor es negativo porque el perfil del suelo pierde agua.

En la línea siete se encuentra la ETR, la cual de acuerdo con Ometto (9) se define como la pérdida de agua que la planta está sufriendo en un instante cualquiera, independiente de su estado vegetativo y del medio ambiente que la determina.

**Tabla 8.** Clasificación del clima según el índice efectivo de humedad.

Tipo climático	Im
A: Super húmedo	> 100
B <sub>4</sub> Húmedo	100 a 80
B <sub>3</sub> Húmedo	80 a 60
B <sub>2</sub> Húmedo	60 a 40
B <sub>1</sub> Húmedo	40 a 20
C <sub>2</sub> Húmedo a subhúmedo	20 a 0
C <sub>1</sub> Seco a subhúmedo	0 a -20
D Semiárido	-20 a -40
E Árido	-40 a -60

Fuente: Thornthwaite (13). Citado por Ometto (9).

**Tabla 9.** Tipo climático según el índice de eficiencia térmica.

Índice térmico ET (mm)	Tipo climático
< 142	E' Hielo perpetuo
142-285	D' Tundra
285-427	C'1 Microtérmico
427-570	C'2 Microtérmico
570-712	B'1 Mesotérmico
712-855	B'2 Mesotérmico
855-997	B'3 Mesotérmico
997-1140	B'4 Mesotérmico
>1140	A' Megatermico

Fuente: Thornthwaite (13) citado por Ometto (9).



Los criterios adoptados para llenar esta línea son los siguientes: cuando la P es mayor que la ETP, los pastos reciben más agua que la máxima pérdida de agua estimada; por lo tanto los pastos podrán evapotranspirar la máxima cantidad de agua, lo que les permitirá llegar a su ETP. En los meses en que se presenta dicha situación y la columna P-ETP sea positiva, la ETR será igual a la potencial. Para el ejemplo de la tabla 1, cuando los valores de la línea P-ETP son positivos, los valores de la línea uno y la línea siete son iguales.

Pero cuando la P es menor que la ETP, los pastos reciben menos agua que la máxima pérdida de agua estimada. Cuando esto ocurre, los pastos solo pueden perder, realmente, el agua que hubo a su disposición que corresponde a la que le llega por precipitación y al agua que el suelo le cede, representada en el balance por el número negativo de la línea seis ( $\Delta S$ ). La suma absoluta de estos valores abastecerá la ETR. En este caso, para el mes de diciembre con una P de cero y un DS = -68, la ETR es de 68 ( $ETR = P + \Delta S$ ).

El conocimiento de la ETR es de gran valor porque permite establecer la relación ETR y ETP o "índice de rendimiento vegetativo". Cuanto más próximos se encuentren los pastos a un valor de uno, tanto más próximas serán las condiciones para un crecimiento y desarrollo ideal (9).

La línea ocho representa el déficit de agua para los pastos. En realidad, esta línea significa la diferencia entre las condiciones ideales del medio ambiente expresadas por la ETP y las condiciones que hubo en el medio ambiente a disposición de los pastos, expresadas por la ETR. Los números que aparecen en esta línea representan los milímetros de agua que faltaron en el suelo para que los pastos tuvieran crecimiento y desarrollo en condiciones ideales. Los valores que se colocan en esta línea son la diferencia entre ETP y ETR.

La línea nueve corresponde al exceso o sobrante de agua en el suelo. Los valores insertados en esta línea significan la altura de agua, expresada en milímetros, que sobrepasa la capacidad de retención máxima de agua en el perfil del suelo (capacidad de campo). Para el mes de diciembre no se presentaron sobrantes de agua; el valor fue de cero en esta línea.

Con el conocimiento de las deficiencias (línea ocho) o excesos de agua (línea nueve) se pueden aplicar

medidas de manejo (aplicación de riego, menor tiempo de pastoreo, menor capacidad de carga, restricción de áreas inundadas, etc.) que eviten estrés a los pastos y aminoren los efectos desfavorables sobre los parámetros productivos y reproductivos en los animales.

En el mes de enero se continúa con la misma situación, siendo la ETP mayor que la P; la línea tres (P-ETP) presentó el valor de -127 mm. A este valor se suma el negativo acumulado del mes anterior, por lo cual se transfirió el valor de 238 mm a la línea cuatro. Utilizando este valor se halla en la tabla 7 (9) el valor correspondiente para la línea cinco (AAS) que es de nueve milímetros. ¿Qué significa esta nueva situación para el mes de enero?. Que la cantidad de agua retenida en el perfil del suelo ha disminuido debido a que este continúa cediendo agua a la planta para que ella logre realizar su máxima evapotranspiración y así cubrir el faltante de precipitación para dicho mes. Esta situación se prolonga hasta el mes de marzo. Para la contabilidad hídrica se procede de igual manera.

En el mes de abril la precipitación fue mayor que la ETP; la línea tres presenta un sobrante de 37 mm de agua que pasan directamente a la línea seis ( $\Delta S$ ), ganando nuevamente agua el perfil del suelo. Para hallar el valor de la línea cinco (AAS) en este mes, se suma el valor almacenado o retenido por el suelo en el mes anterior (marzo) cuyo valor fue de tres milímetros y la cantidad ganada por el perfil del suelo que fue de 37 mm, para un gran total de 40 mm como nuevo valor de la línea cinco en abril. Con este valor se va a la tabla de agua retenida por el suelo al cual corresponde un negativo acumulado de 90. Para esta situación se ha manejado la tabla de retención o acumulación de agua en el suelo en sentido contrario a los meses de enero, febrero y marzo.

**Tabla 10.** Subtipo climático según la variación estacional del índice de eficiencia térmica.

(VEIET) en verano (%)	Subtipo climático
< 48	A'
48.0 a 51.9	B'4
51.9 a 56.3	B'3
56.3 a 61.6	B'2
61.6 a 76.3	B'1
76.3 a 88.0	C'2
> 88.0	D'

Fuente: Thornthwaite (13) citado por Ometto (9).

En el mes de mayo la diferencia entre P y ETP en la línea tres dio un valor positivo de 38 mm y pasa directamente a la línea seis para continuar reabasteciendo el perfil del suelo. Las líneas cinco (AAS) y cuatro (negativo acumulado) se calculan de igual manera como se procedió en el mes de abril.

En el mes de junio el valor de la línea tres (P-ETP) fue de 339 mm de los cuales una parte se tomaron para que sumado al AAS en el mes anterior le permitieran al perfil del suelo llegar nuevamente a su capacidad de campo (100 mm). El valor restante (317 mm) se convirtió en exceso o sobrante de agua.

Para completar la tabla 1 entre los meses de julio y noviembre, se siguió el procedimiento del mes de junio.

**Figura de la contabilidad hídrica**

La información del balance hídrico se lleva a una figura que representa la entrada y la salida del agua en el perfil del suelo, la reposición de agua en el mismo y los períodos de exceso y déficit de agua para las plantas.

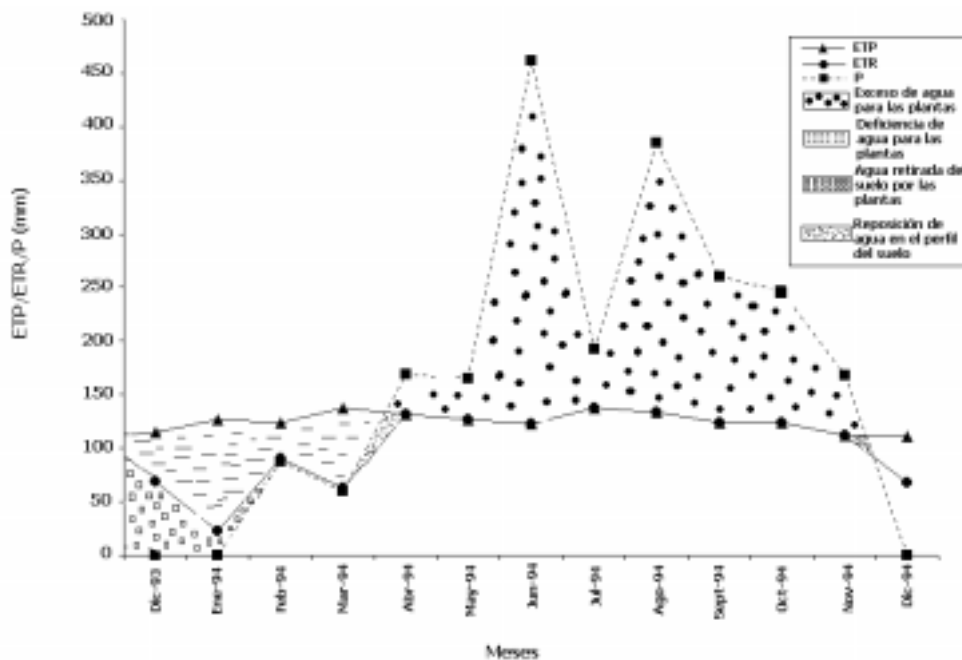
La figura consta de un eje cartesiano en el cual se colocan los meses del año (tiempo) en las abscisas y los valores de ETP, ETR y P expresados en milímetros de altura de agua en las ordenadas.

Según la figura 1, la zona de Buenavista presentó para el año 1994 una caracterización climática de tipo monomodal para la precipitación, con un período seco (ETP>P) entre los meses de diciembre y marzo y un período húmedo (ETP<P) que se inició desde finales de marzo hasta noviembre.

En el período seco los suelos perdieron su capacidad de campo, las plantas sufrieron una gran deficiencia de agua y debieron retirar agua del suelo; en consecuencia, la calidad y la cantidad del forraje para el pastoreo pudieron estar fuertemente comprometidas.

Con las primeras lluvias del mes de abril, el suelo aún no lograba recuperarse del intenso período seco y el agua almacenada en el suelo era mínima; solamente a partir del mes de junio el suelo recuperó su capacidad de campo, se alcanzó la condición de humedad ideal para las plantas y se presentaron sobrantes o escorrentías en el perfil del suelo.

La figura así construida permite apreciar con mayor claridad el movimiento de agua a través de los diferentes meses, constituyéndose en una herramienta fundamental para programaciones agrícolas, manejo de suelos y praderas, ajustes de capacidad de carga animal, manejo de lotes de ganado según su estado fisiológico y productivo y explicación de fenómenos productivos y reproductivos en los animales.



**Figura 1.** Balance hídrico para la zona de Buenavista (Córdoba) en 1994.

Según Ometto (9) el balance hídrico propuesto por Thornthwaite (13) se utiliza también como un elemento básico en la clasificación climática de un lugar. El autor conjuga cuatro criterios a saber: humedad global del clima, variación estacional de la humedad o precipitación, eficiencia térmica global con referencia a ETP y porcentaje de evapotranspiración correspondiente al verano en relación con el total del año.

### Clasificación climática

En términos generales, la clasificación climática de Thornthwaite (13) se basa en el índice efectivo de humedad (Im), el índice de eficiencia térmica (ET) y la variación estacional del índice de eficiencia térmica (VEIET).

*Índice Efectivo de Humedad (Im).* Expresa el índice efectivo de humedad para el año (Índice Hídrico) y se presenta durante el periodo de exceso y el período de deficiencia. Su representación matemática que tiene en cuenta el índice de humedad (Iu) y el índice de aridez (Ia) es la siguiente:

$$Im = (Iu - 0.6 Ia)$$

*Índice de humedad (Iu).* Se define como la relación entre el exceso de agua en el suelo y las necesidades de agua representadas en el balance por la ETP, expresada en porcentaje. El rango de variación de este índice esta entre cero y un valor cualquiera positivo. Su expresión matemática es:

$$Iu = \frac{100 \text{ exceso}}{E T P}$$

Donde:

- Iu = Índice de humedad en el periodo considerado.  
 Exceso = Sobrante de agua en el suelo. Tabla 1, línea 9.  
 ETP = Evapotranspiración potencial.

*Índice de aridez (Ia).* Expresa la relación entre la deficiencia hídrica y las necesidades de agua representada por la ETP expresada en porcentaje. El rango de variación de este índice estará entre cero y 100 mm. Es cero (0) cuando no hay deficiencia y es de 100 mm cuando la deficiencia iguala a la ETP. Su expresión matemática es:

$$Ia = 100 \frac{Def.}{ETP}$$

Donde:

- Ia = Índice de aridez en el periodo considerado.  
 Def = Deficiencia de agua para la planta. Tabla 1, línea 8.  
 ETP = Evapotranspiración potencial.

De acuerdo con el Im, Thornthwaite (13) clasificó los siguientes tipos climáticos: superhúmedo, húmedo, subhúmedo, seco, semiárido y árido (véase Tabla 8).

*Índice de Eficiencia Térmica (ET).* Es la expresión propia de la ETP, la cual está en función directa de la temperatura y de la longitud del día, parámetros que resumen las condiciones térmicas de un lugar cualquiera del globo.

Las regiones próximas al Ecuador donde la temperatura no varía sensiblemente a través del año y donde los días son aproximadamente iguales a las noches, la ETP es de aproximadamente 1.140 mm anuales. Este valor sirve para definir el límite entre climas megatérmicos (temperaturas altas) y climas mesotérmicos (temperaturas medias) (véase Tabla 9).

*Variación estacional del índice de eficiencia térmica (VEIET).* Expresa la variación de la ETP total del verano con respecto al total del año en porcentaje (véase Tabla 10). Su representación matemática es:

$$VEIET = \frac{ETP \text{ en verano}}{ETP \text{ anual}} \times 100$$

Utilizando el balance hídrico para la zona de Buenavista (véase Tabla 1) y basados en los índices climáticos propuestos por Thornthwaite (13) es posible determinar su clasificación climática, de la siguiente manera:

1. Se halla el Iu.

$$Iu = \frac{\text{exceso}}{E T P} \times 100 = \frac{938}{1514} \times 100 = 61,95\%$$

2. Se determina el Ia.

$$Ia = \frac{Def.}{ETP} \times 100 = \frac{256}{1514} \times 100 = 16,90 \%$$

3. Se busca el Im

$$I_m = (I_u - 0.6 I_a)$$

$$I_m = (61,95 - 0,6 \times 16,90)$$

$$I_m = 51,81$$

4. Se determina la VEIET.

$$VEIET = \frac{111+127+124+138}{1514} \times 100$$

$$VEIET = 33.02\%$$

Con base en los índices hallados y su confrontación con las tablas 8,9 y 10, el clima de Buenavista para el año de 1994 se clasifica como húmedo con altas temperaturas (megatérmico) y presencia de vegetación durante el período de verano.

Para evaluar el efecto climático sobre parámetros productivos como el peso a una edad determinada o las ganancias diarias de peso en un periodo de tiempo, se debe tener en cuenta la caracterización del clima en los meses previos a la fecha de corte del análisis.

Una vez se ha establecido la base de datos con relación a los periodos climáticos, se puede analizar el efecto de parámetros productivos sobre parámetros reproductivos mediante los procedimientos de Modelos Lineales Generales (GLM) del SAS (11) así como los coeficientes de correlación y regresión. De esta manera se relacionan variables climáticas, productivas y reproductivas que permitan tomar decisiones sobre el manejo del sistema productivo en forma integrada.

### Summary

*Methodological proposal to determine the climate periods applied to production and reproduction studies on bovine cattle in the tropics.*

*The climatic effect on productive and reproductive performance in plants and animals is reflected on the forage production of a prairie, the weight gain of the animals or the distribution of their calvings along the year. In order to determinate the most favorable climatic period to the productive behavior of cattle, it's necessary to characterize and classify the climate depending on the factors that most affect it. The characterization is achieved through the elaboration of the hydric balance, that is the account of soil water, a methodology that takes in account the rainfall, the potential and real evapotranspiration and the movement of water through the soil outline. The climatic effect on productive and reproductive characteristics is evaluated considering the climate during four or five months prior to the date of analysis. The database is created based on this criteria. The statistical analysis uses the General Lineal Model procedures of Statistical Analysis System, as also correlation and regression coefficients. The climatic and statistic methodology is applicable to animal production systems as a tool for the analysis and explanation of productive and reproductive events in bovine cattle.*

**Key words:** *bovine, climate, evapotranspiration, hydric, production, reproduction.*

### Referencias

1. Anderson J. The periodicity and duration of oestrus in Zebu cattle. J Agric Sci. 1944; 34:57-63 citado por Gómez LJ. Ganado Cebú: II. Reproducción. Rev Fac Nal Agron. 1973; 28:3-62.
2. Escobar A, Mesa J. Eficiencia reproductiva en ganado cebú. Seminario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1967. 37p.
3. Giraldo LG. Meteorología. Aplicación especial al microclima del bosque. Investigación. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1989. 302p.
4. Gómez LJ. Ganado Cebú: II. Reproducción. Rev Fac Nal Agron. 1973, 28:3-62.
5. González RA, Rendón VA. Comportamiento reproductivo del ganado cebú en bosque seco tropical bajo inseminación artificial. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1984. 101p.
6. Higuera LF, Mejía JH. Eficiencia de la Inseminación artificial en bovinos de carne en el Valle de Risaralda. Seminario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1970. 34 p.
7. Lowry WP. Compendio de apuntes de climatología para la formación del personal meteorológico de la clase IV.

- Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. 1973. 167p. (OMM: No. 327).
8. Morrison DG, Feazel JI, Bagley CP, Blouin DC. Postweaning growth and reproduction of beef heifers exposed to calve at 24 or 30 months of age in spring and fall seasons. *J Anim Sci.* 1992; 70: 622-630.
  9. Ometto JC. *Bioclimatología Vegetal*. Sao Paulo, Brasil. Editorial Agronómica Ceres Ltda. 1981. 425p.
  10. Penman HL. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc R Soc Serie A: Mathematical and Physical Science.* Londres. Editorial Chamberlin. 1948,293p. Citado por Torres E. *Agrometeorología*. México. Editorial Diana. 1983. 150 p.
  11. *Statistical Analysis System - STAT User's Guide*. 4<sup>a</sup> edition. New York, USA. Editorial Varcomp. 1990; 2: 2540p.
  12. Schellenberg R, Weniger JH. *Sistemas de producción de leche y carne en fincas ganaderas de la Costa Atlántica de Colombia*. Informe Técnico N°5. Cali, Colombia. 1985. 218p.
  13. Thorntwaite, CW. *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review. New York, USA. Editorial Mc Graw-Hill. 1948. 150p. Citado por Ometto JC. *Bioclimatología Vegetal*. Sao Paulo, Brasil. Editorial Agronómica Ceres Ltda. 1981. 425p.
  14. Torres E. *Agrometeorología*. México. Editorial Diana. 1983. 150 p.
  15. Villamizar P. *Nociones de climatología*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1978. 59 p.