



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CONFORT CLIMÁTICO  
PARA GANADO BOVINO  
EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:**

*Rodolfo Muro Reyes*

*San Luis Potosí, S.L.P., México*

*Febrero de 1999*



El trabajo titulado “**Estimación del índice de confort climático para ganado bovino en el estado de San Luis Potosí**”, que presenta Rodolfo Muro Reyes, como requisito parcial para obtener el grado de “Maestro en Ciencias Agropecuarias”, fue revisado y aprobado por Comité de Tesis .

TUTOR: Dr. Daniel Francisco Campos Aranda

ASESOR: Ph. D. Rosa Elena Santos Díaz

ASESOR: M.C. Florencio Roveló Viveros



Two handwritten signatures are visible on a lined background. The top signature is a large, stylized cursive signature. The bottom signature is a smaller, more legible cursive signature.

San Luis Potosí, S.L.P., febrero de 1999.

## DEDICATORIA

Dedicación especial a mi padre el Sr. Jesús Muro Castañón, quien antes de emprender su viaje de ida me dio en forma silenciosa y precisa, la enseñanza de la vida y a mi madre Aurora Reyes Romo de Vivar, como complemento indispensable de la gran pareja, que con su fortaleza y gran carácter no cejó ni un paso a su vida sin su gran compañero, para dar una dedicación total a sus hijos.

A mi esposa Alejandra Ochoa Gutiérrez, a mis hijos Alejandra y Rodolfo por la paciencia que me han tenido en las empresas de mi vida, la ternura brindada en los momentos difíciles y la sonrisa oportuna.

A mis hermanos: Tere, Jesús, Aurora, Ma. del Carmen y Rosa Elena.

A mis amigos

A mis compañeros

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme continuar y le pido de todo corazón que si estoy equivocado me de fortaleza para reconcer mi error y si tengo la razón, no me vuelva insoportable.

Un especial agradecimiento al profesionista de la medicina veterinaria Carlos Lavín Hinojosa, quien sin conocerme me obsequió de su tiempo, derramó su conocimiento y transmitió su experiencia sin egoísmo alguno, ni interés personal.

A quienes con su buena voluntad y espíritu de servicio, participaron de diferentes maneras en el desarrollo del presente trabajo:

Manuel Ochoa Cordero

Fabian Flores y familia

Arturo Esper Bujaidar

Manuel Rosillo

Florencio Rovelo

Luis Alonso González de Alba

Martha Olivia Díaz Gómez

A mi Comité de Tesis.

## CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| CONTENIDO.....   | v      |
| ÍNDICE DE CUADROS.....   | vi     |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | vii    |
| RESUMEN.....   | ix     |
| SUMMARY.....   | x      |
| <br>   |        |
| INTRODUCCIÓN.....  | 1      |
| <br>   |        |
| LITERATURA REVISADA.....   | 3      |
| El Clima y su relación con el ganado.....                                | 3      |
| Influencia del clima.....  | 3      |
| Temperatura del aire.....  | 4      |
| Efectos de la humedad atmosférica.....                                   | 6      |
| Viento.....  | 6      |
| Precipitación.....   | 7      |
| Radiación solar.....   | 8      |
| Fotoperíodo e insolación.....  | 8      |
| Presión atmosférica.....   | 9      |
| Efecto en el consumo de alimentos, tasa de concepción y fertilidad.....  | 9      |
| Disminución del efecto detrimental por disconfot calórico.....           | 10     |
| Índice Temperatura-Humedad (ITH).....                                    | 11     |
| <br>   |        |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 12     |
| Área de estudio.....   | 12     |
| Elementos climáticos utilizados.....                                     | 12     |
| Fórmula utilizada del Índice Temperatura-Humedad.....                    | 12     |
| Fotoperíodo.....   | 14     |
| Radiación solar.....   | 15     |
| Representación gráfica de los estimadores del confort climático.....     | 15     |
| Relación ganado y estimadores del confort climático.....                 | 15     |
| Bioclimograma para identificar períodos de confort en una localidad..... | 15     |
| Análisis de datos.....   | 17     |
| <br>   |        |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 18     |
| Fórmulas utilizadas.....   | 18     |
| Selección de la fórmula para estimar el ITH.....                         | 18     |
| Cálculo de fotoperíodo.....  | 24     |
| Representación gráfica del ITH, fotoperíodo y radiación solar.....       | 24     |
| Contraste de los valores estimados y esperados del ITH.....              | 31     |
| Biodiagramas para identificar períodos de confort.....                   | 32     |
| CONCLUSIONES.....  | 35     |
| LITERATURA CITADA.....   | 36     |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Ecuaciones de la forma $y_i = m_i x_i + b_i$ , para obtener la tensión de vapor mensual ( $y_i$ ) en mb a partir de la temperatura mínima ( $x_i$ ) en °C. ....             | 14     |
| 2      | Intervalos y límites del Índice Temperatura-Humedad para diferentes razas de ganado bovino según varios autores. ....   | 16     |
| 3      | Índice Temperatura Humedad calculado y estimado, para las localidades de los observatorios meteorológicos de San Luis Potosí, Rioverde, S.L.P. y Ciudad Valles, S.L.P. .... | 19     |
| 4      | Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la Zona del Altiplano Potosino. ....  | 20     |
| 5      | Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la Zona Media. ....   | 21     |
| 6      | Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la Zona Huasteca. ....  | 23     |
| 7      | Fotoperíodo medio mensual para las latitudes que abarcan el estado de San Luis Potosí. ....   | 24     |
| 8      | Distribución por municipio de razas de ganado bovino, valores extremos del ITH estimado e intervalos del ITH para tolerancia del confort climático. ....                    | 31     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Localización y claves de las estaciones climatológicas en el estado de San Luis Potosí.....                         | 13     |
| 2      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de enero en el estado de San Luis Potosí. ....      | 25     |
| 3      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de febrero en el estado de San Luis Potosí. ....    | 25     |
| 4      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de marzo en el estado de San Luis Potosí. ....      | 26     |
| 5      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de abril en el estado de San Luis Potosí. ....      | 26     |
| 6      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de mayo en el estado de San Luis Potosí. ....       | 27     |
| 7      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de junio en el estado de San Luis Potosí. ....      | 27     |
| 8      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de julio en el estado de San Luis Potosí. ....      | 28     |
| 9      | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de agosto en el estado de San Luis Potosí. ....     | 28     |
| 10     | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de septiembre en el estado de San Luis Potosí. .... | 29     |
| 11     | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de octubre en el estado de San Luis Potosí. ....    | 29     |
| 12     | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de noviembre en el estado de San Luis Potosí. ....  | 30     |
| 13     | Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de diciembre en el estado de San Luis Potosí. ....  | 30     |



|    |   |    |
|----|---|----|
| 14 | Biodiagramas para identificar períodos de confort en ganado<br>bovino productor de carne .....                          | 32 |
| 15 | Biodiagramas para identificar períodos de confort en ganado bovino productor<br>de leche.....                           | 33 |
| 16 | Características regionales de confort climático para ganado productor<br>de leche en el estado de San Luis Potosí ..... | 34 |
| 17 | Características regionales de confort climático para ganado productor<br>de carne en el estado de San Luis Potosí.....  | 34 |

## RESUMEN

En el estado de San Luis Potosí, no existe una caracterización de los elementos del clima que señalen regiones propicias para el desarrollo ganadero, el Índice Temperatura-Humedad (ITH) es un buen indicador del “confort climático” para el desarrollo y producción de las diferentes razas del ganado bovino. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) conocer las variaciones en el estado de San Luis Potosí del Índice Temperatura-Humedad (ITH), 2) regionalizar el estado con base a los coeficientes de tolerancia del “confort climático” para ganado bovino, 3) proporcionar información climatológica que pueda ser aplicada a seleccionar las razas de ganado bovino que mejor se adapten a una región y la aplicación de biodiagramas que identifiquen períodos de confort o desconfort climático. Se utilizaron datos de 102 estaciones climatológicas existentes en el área de estudio. La fórmula para el cálculo del ITH propuesta por el U. S. Weather Bureau, se modificó en dos criterios que se basan en la estimación de la temperatura bulbo húmedo, en el primero se consideró la presión normal, y en el segundo no se consideró, y por medio de una correlación se probó su interconexión con la fórmula original, encontrando una correlación de 0.99 en el segundo criterio, se utilizó este último para por ser de más fácil aplicación. El fotoperíodo presenta una variación entre el mes de más duración de luz y el de menor duración es de 2.82 h. Para conocer la distribución de las características que puedan estimar el “confort climático” en el estado, se realizó una representación gráfica mensual del ITHe, radiación solar y fotoperíodo, por medio de isolíneas. Los valores extremos actuales del ITHe en el estado de San Luis Potosí y los valores extremos esperados de tolerancia del ITH para ganado bovino, se contrastaron por medio de una prueba de  $\chi^2$ , con una probabilidad de ocurrencia del 99.54 % y 98.87 % para ganado bovino productor de carne y ganado bovino respectivamente productor de leche. El ganado bovino productor de carne y de leche localizado en los diferentes municipios del estado de San Luis Potosí se encuentra ubicado en un confort climático adecuado. Basado en estos resultados se delimitaron las regiones con características de confort climático, para el desarrollo de ganado productor de leche o de carne. Para estimar los períodos de confort el ganado se propone un biodiagrama. Los efectos indirectos del clima sobre el ganado se sugiere sea considerado para la planeación del desarrollo ganadero, ya que la cantidad y calidad de pastura, dependerá de las características climáticas. Sin embargo el grado de afectación del clima sobre el ganado, deberá considerarse con reservas, los efectos adversos de la producción, pueden enmascarse con un mal manejo, alimentación mala, sanidad mala.

## SUMMARY

In the state of San Luis Potosí, there is not a characterization of the climate elements that define favorable regions for the cattle production. The Index Temperature-humidity (ITH) is a good indicator for climatic comfort for different cattle breeds performance. The objectives of this study were. 1) to know the variations on the Index Temperature-humidity in the state of San Luis Potosí. 2) Make a regionalization of the state base upon tolerance of climatic comfort coefficients for cattle and 3) to obtain climatological information that can be applied to improve cattle production and identify climatic discomfort and comfort periods by a biodiagram. Data from 102 climatological stations located in the study area were used to conduct this study. The ITH formula for proposed by the U. S. Weather Bureau was modified considering two approaches based on the estimate humid bulb temperature. Because correlation between original formula and modified formula by second approach was higher, this one was used for ITH calculation, desinged ITHe. The photoperiod showed a variation between the largest light duration month and the shoertest light month of 2.82 h. A graphics monthly representation of the ITH was done to know the distribution of some characteristics that estimate the climatic comfort in the state. The current extreme values of the ITHe in the state and the expecting extreme values of tolerance of the ITH for cattle were tested by a  $\chi^2$  with a probability of occurrence of 99.54% and 98.87% for livestock and dairy cattle, respectively. Based in these results delimitation of regions with characteristic of climatic comfort, were defined for livestock or dairy cattle. Comfort or discomfort periods were estimated by a biodiagram. According with this study breeds of livestock and dairy cattle are located in an appropriate climatic in San Luis Potosí state. Finally effects of climate in animal production should be taken with caution because other factors such as nutrition animal management and sanitary aspects are also involved.

## INTRODUCCIÓN

Cuando una cultura ganadera es conservadora, resulta difícil aceptar las propuestas de cambios en formas de manejo, introducción de razas nuevas o en tipos de alimentación que permitan un mejor rendimiento económico y de esa manera tener acceso a los diferentes productos y subproductos pecuarios en todos los sectores socioeconómicos del país. Al mejorar los sistemas de producción ganadero será posible participar en la política del intercambio comercial con otros países y como fuente productora de alimentos a menor costo.

El confort en el que se mantenga el ganado es determinante para su producción, entendiéndose éste, como un sistema en el que interviene una alimentación adecuada y oportuna, instalaciones apropiadas, espacio suficiente, higiene, buen trato y un clima conveniente para el desarrollo. Una de las limitantes en la producción ganadera es el clima y aunque las clasificaciones de climas son numerosas, cada una de ellas es funcional para la finalidad a la que se destina, la clasificación de climas para turismo no es de utilidad para la agricultura y una clasificación basada en tipos de vegetación no es de gran utilidad para la ganadería, aun cuando se consideran los mismos elementos climáticos.

En el estado de San Luis Potosí, existen zonas en las que la ocurrencia de las variantes climatológicas hacen que el potencial genético del ganado tenga un aprovechamiento limitado, dado que las condiciones climáticas desfavorables afectan la fertilidad, el estado de salud y conducen a un rendimiento bajo del ganado. Actualmente en el estado no existe una identidad de los elementos del clima que señalen regiones más propias para el desarrollo ganadero. Por todo esto, es importante agrupar los elementos del clima que conduzcan a identificar índices de tolerancia climática para el ganado bovino en el estado de San Luis Potosí, mediante la aplicación de métodos que permitan conocer su distribución en espacio y tiempo del “confort climático” dirigido a la producción de las diferentes razas ganado bovino.

Existen límites extremos de las condiciones del Índice Temperatura-Humedad en las diferentes razas del ganado bovino, que permiten un mejor desarrollo y producción y que es lo que se puede llamar “confort climático”. Cuando se conocen las formas y grados de afectación de los elementos que determinan el “confort climático” para la producción del

ganado, es conveniente aplicar los conocimientos existentes para un mejor rendimiento económico, por lo cual los objetivos del presente trabajo son:

1. Conocer las variaciones en el estado de San Luis Potosí del Índice Temperatura-Humedad, como indicador del “confort climático” para ganado bovino.
2. Regionalizar el estado de San Luis Potosí, con base a los coeficientes de tolerancia del “confort climático” para ganado bovino productor de carne y para productor de leche.
3. Proporcionar información climatológica y una metodología que pudiera ser aplicada para seleccionar la raza de ganado bovino que mejor se adapte a la región, con el uso de mapas de distribución del Índice Temperatura-Humedad en el estado de San Luis Potosí y la aplicación de biodiagramas que permitan identificar períodos de confort o desconfort climático, en ganado bovino para una localidad.

## LITERATURA REVISADA

### El Clima y su relación con el ganado

#### Influencia del clima

Las formas en que el clima puede afectar a los animales domésticos son más complejas que las que afectan a las plantas y como consecuencia, es más difícil hacer una evaluación general. Para fines de estudio, generalmente es necesario examinar los diversos aspectos uno por uno, pero la acción es recíproca entre los diversos efectos, por lo que puede emitirse un juicio en un caso particular sólo en relación con el alcance total de los efectos posibles (Lee, 1988). Al respecto Hafez y Dyer (1972) señalan, que una parte considerable de la productividad ganadera se debe al efecto directo del clima, por ejemplo, el ganado, de un clima frío es corto y grueso y con piel basta, mientras que el ganado criado en un clima cálido es largo, esbelto y de piel suave. Con un enfoque más definido, diversos autores (Vieira, 1965; Hafez y Dyer, 1972; Preston y Willis, 1974; Morrison, 1983; Gwazdauskas, 1984; Armstrong 1994) coinciden en señalar que el grupo más importante de factores climáticos, es aquel que define el ambiente térmico del animal y que comprende la temperatura del aire, humedad relativa, movimiento del aire y radiación solar.

Varios autores (Hafez y Dyer, 1972; Preston y Willis, 1974; Fuentes, 1980; Hahn, 1981; Stott, 1981; Young, 1983; Gwazdauskas, 1984; y Shell *et al.*, 1995) concluyen que el impacto de climas adversos es de particular importancia en lo que se refiere al uso eficiente de la economía y los recursos energéticos para la producción de la agricultura. En climas extremos o cuando los animales son cambiados a ambientes adversos, la transferencia de energía es alterada entre el animal y el medio ambiente, presentando una rápida respuesta en relación a la capacidad y velocidad de adaptación. En climas calurosos se reduce el consumo de alimento y en climas fríos se aumenta, de tal manera que la energía dietética se desvía a funciones que produzcan calor para tratar de mantener su temperatura corporal, con lo que la eficiencia alimentaria compromete la producción y la reproducción.

La exposición continua a bajas temperaturas resulta en hipotermia, siendo mortal el hecho de no poder producir el calor corporal suficiente. Se considera que un ambiente satisfactorio para cualquier ganado, según Webster (1983), es aquel que asegure una

productividad óptima y que también favorezca el comportamiento y la salud del animal. Por lo que un medio ambiente satisfactorio debe incluir una temperatura adecuada para la producción y mantenimiento del animal; el espacio suficiente para evitar heridas agudas o disconfort crónico y un ambiente donde por una parte reduzca el riesgo de enfermedades e infecciones y favorezca a los patrones de socialización animal.

### **Temperatura del aire**

Papadakis (1980) afirma que todos los procesos biológicos dependen básicamente de la temperatura, por lo tanto ésta rige la vida vegetal y animal. Acorde a este principio, Hafez y Dyer (1972) encontraron que la temperatura ambiental o del aire que rodea el cuerpo del animal es sumamente importante para el confort y funcionamiento general de los procesos fisiológicos, razón por la cual Griffiths (1985) sugiere que es necesario definir la tolerancia al calor, ya que los animales son más tolerantes al efecto de la tensión por frío que a las condiciones de la tensión por calor. Los límites bajos de la temperatura de la zona termoneutra es llamada temperatura crítica baja y es la temperatura que por debajo de los niveles normales, un animal debe incrementar la velocidad de metabolismo para la producción de calor y mantener la homeotermia.

Diversos autores (Fuquay, 1981; Griffiths, 1985; Hafez y Dyer, 1972; Robertshaw, 1987) coinciden en señalar que la pérdida total de calor hacia el medio ambiente es igual a la suma de las pérdidas por conducción, convección, radiación y evaporación, la totalidad del calor perdido por estos tres mecanismos recibe el nombre de pérdida de calor sensible. La cantidad de calor sensible perdida, es proporcional a la superficie del animal y a la diferencia de temperatura entre el animal y el medio, además, los animales pierden calor por evaporación de agua a través de las superficies húmedas de la piel y tracto respiratorio. En ambientes cálidos, Hafez y Dyer (1972) señalan que la evaporación es el medio más efectivo y en último extremo, el único procedimiento para la eliminación del calor, por lo contrario en un ambiente frío, la evaporación se reduce a un mínimo que no puede descender más, en consecuencia la pérdida total de calor aumenta linealmente con el descenso de la temperatura y con la misma rapidez de calor sensible, por lo que el animal debe perder calor en la misma cantidad en que lo produce para evitar el aumento de su temperatura corporal. De tal manera

que Fuquay (1981) define la termorregulación, como la media que un animal necesita para mantener la temperatura de su cuerpo, involucrando la pérdida y ganancia de calor. Por otra parte Young (1983) y Sutton (1995) consideran que cuando la temperatura ambiental se incrementa en forma continua, la temperatura corporal se eleva, sin embargo los mecanismos internos reducen la producción de calor, aumentan las pérdidas por evaporación y radiación.

Hafez y Dyer (1972) observaron que el discomfort ambiental, proporcionalmente retrasa menos la deposición de proteínas que la grasa, por lo que cabe esperar, que los animales más grasos se crían en ambientes termoneutros y que la separación de la zona de termoneutralidad dará lugar a animales más magros. En relación al ganado productor de leche, Mellado (1995) y Shearer y Bray (1995) concluyen que la temperatura ambiente para confort es de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $24^{\circ}\text{C}$ , independientemente de la edad del animal o período de lactancia de la vaca y cuando la temperatura ambiente rebasa los  $26^{\circ}\text{C}$  se activan procesos fisiológicos compensatorios tendientes a mantener el balance del agua, el energético, el térmico, el hormonal y el mineral.

Varios autores (Vieira, 1965; Hafez y Dyer, 1972; Mellado, 1995) han observado que las vacas lecheras sometidas a un discomfort térmico, presentan las siguientes respuestas: reducción del consumo de alimento, reducción de la absorción de nutrientes, reducción de la producción de leche, disminución en la actividad del animal, búsqueda de sombra o lugares donde sople el viento o de estanques de agua donde pueda sumergirse parcialmente, incremento en la tasa de respiración, incremento del flujo de la sangre en los vasos sanguíneos de la periferia, sudoración, disminución de la masa animal, disminución de las enzimas oxidativas y reducción de los niveles de varias hormonas en la sangre. Las vacas bajo discomfort térmico presentan una baja de defensas del organismo, incrementando así el riesgo de la presencia de enfermedades, además si el discomfort por el calor resulta excesivo y la capacidad de termorregulación del animal es inadecuada, seguramente causará la muerte (McDowell, 1974; Mellado, 1995).

Sutton (1995) señala que a medida que la temperatura del cuerpo disminuye, éste responde aumentando la producción de calor y reduce su pérdida, hasta que se establece un nuevo equilibrio térmico. Por otra parte, Lascelles *et al* (1985) concluyen que el aumento en la temperatura corporal provoca una serie de respuestas fisiológicas encaminadas a obtener una nueva homeostasis, la cual es la relación recíproca entre los animales y su medio



ambiente y la capacidad de una animal para mantener su estabilidad interna a pesar de los cambios externos del medio ambiente. Lo anterior implica, según Stott (1981) y Mellado (1995), una reducción en la productividad del animal y el ajuste por mecanismos homeostáticos referenciado a la adaptación del animal y puede ser favorable o desfavorable a los intereses económicos de los humanos.

### **Efectos de la humedad atmosférica**

El contenido de vapor de agua o humedad del aire reduce notablemente la tasa de pérdida de calor del animal (McDowell, 1974; Mellado, 1995). La tasa de enfriamiento por evaporación a través de la piel y del tracto respiratorio depende ampliamente de la humedad del aire. Si la humedad es baja, como sucede en zonas cálidas y secas, la evaporación es rápida, algunas veces con excesiva rapidez, conduce a irritación en la piel y deshidratación en general. Por otro lado, si la humedad resulta elevada como sucede en zonas cálidas y húmedas, la evaporación es lenta, reduce la pérdida de calor del animal y por consiguiente altera el equilibrio térmico; así también se señala que la humedad absoluta o la presión del vapor del aire afecta la velocidad de evaporación en las superficies del agua (Morrison, 1983).

Se ha observado que la humedad supone la creación de condiciones capaces de originar enfermedades, reducir la calidad de los alimentos y acentuar las deficiencias minerales en el suelo y en los forrajes. La humedad elevada, proporciona un ambiente adecuado para: la proliferación de gérmenes patógenos, insectos y otros agentes de vectores infectivos, huéspedes reservorios potenciales y mantenimiento de condiciones apropiadas en la piel para el crecimiento de bacterias, hongos y ectoparásitos (McDowell, 1974; Mellado, 1995).

### **Viento**

McDowell (1974) señala que la rapidez con que se mueve el aire sobre la piel del animal, influye en la tasa de pérdida de calor a través de la superficie corporal, este proceso es relativamente simple cuando tiene piel desnuda y se dificulta mas si está cubierta por pelo. Cuando aumenta la velocidad del aire se facilita la pérdida de calor por evaporación si la piel contiene humedad. Un mayor flujo de aire determinará con frecuencia el mismo efecto que

una elevación de temperatura y la mayor elevación del aire influirá indirectamente sobre la cantidad de calor radiante que recibe el animal al modificar la temperatura de los objetos que rodea. así mismo Mellado (1995) menciona que los animales con pelo corto, grueso y liso soportan mejor el calor por que se facilita el movimiento del aire en la piel del animal, lo cual incrementa la disipación del calor, en relación a los de pelo largo, delgado y no liso.

McDowell (1974) señala que la velocidad del aire en climas cálidos y secos resulta demasiado alta para el ganado, indicando que muchas veces debe proporcionárseles algún medio de protección. En ambientes húmedos y cálidos es característico la reducida velocidad del aire y por consiguiente, se deberá buscar zonas con un movimiento del aire superior a 5 km/h. En condiciones ideales, la velocidad del aire en una zona seca y cálida deberá mantenerse en unos 8 km/h o menos durante las horas diurnas para evitar la desecación y calentamiento excesivo del cuerpo de los animales.

### **Precipitación**

McDowell (1974) afirma que el principal efecto de la lluvia sobre el ganado es indirecto como resultado de su influencia sobre la producción de alimentos y presentación de enfermedades y parasitismo. La lluvia estacional resulta importante porque determina: la cantidad de alimento que puede producirse; el período de tiempo durante el que los forrajes mantienen una gran calidad; las prácticas de pastoreo que pueden seguirse; las necesidades de alimentos almacenados y suplementarios y el sistema de conservación de alimentos que resultará más útil. Al respecto Castle y Watkins (1988) señalan que la precipitación es el factor de control que determina el rendimiento en los pastos, aunque el hecho importante es el balance de agua total en el suelo, cuando la pérdida de agua por evaporación y transpiración es grande. se produce un déficit de humedad en el suelo retrasando el crecimiento del forraje. Los períodos de lluvias intensas aumentan el contenido acuoso de los forrajes, limitan la cantidad de nutrientes que puede ingerir el animal como resultado de las limitaciones físicas sobre el consumo total. Así mismo Gwazdauskas (1984) encontró que la velocidad de concepción es alta durante la estación lluviosa y va relacionada con la disponibilidad de alimento.

## **Radiación solar**

Diversos autores (Vieira 1965; McDowell 1974; Fuquay; 1981 y Mellado 1995) coinciden en señalar que un animal que pasta en un prado abierto se ve expuesto a: la radiación solar directa, la radiación solar reflejada por la atmósfera y la radiación solar reflejada por el suelo, por objetos que lo rodean y por el horizonte y se añade a la carga de calor del animal. El calor al que está sujeto el ganado, proviene fundamentalmente de las fuentes exógenas (medio ambiente) y endógenas (metabolismo interno del animal), en el primer caso la principal fuente de calor ambiental es la radiación solar. Por otra parte, el pelo del ganado tiende a reducir la cantidad de radiación y atrapar el aire aislando así al animal, aunque la cantidad de calor absorbida por el animal también depende del color de su pelo (Vieira, 1965; Griffiths, 1985 y Mellado, 1995).

Adicionalmente, los animales se hallan expuestos a una radiación indirecta emitida por los constituyentes de la atmósfera, al respecto, Mellado (1995) encontró que en el caso de los animales de color blanco en climas subtropicales y sin sombra tienen una mayor producción lechera que el ganado en el que predomina el color negro. También se ha observado que las vacas de raza Holstein de color predominantemente blanco, presentan menos días abiertos y servicios de concepción que el resto de las vacas. Por otro lado, las vacas de pelo blanco presentan el problema de piel despigmentada lo cual ocasiona quemaduras o cáncer en la piel, como consecuencia de una mayor penetración de la radiación solar en animales de colores claros.

## **Fotoperíodo e insolación**

Torres (1980) señala que el fotoperíodo es la cantidad de horas luz y la insolación es el número de horas de brillo directo del sol, por lo que la nubosidad es de interés conocerla como un atenuante de la radiación solar directa. McDowell (1974) afirma que el fotoperíodo diario resulta crítico para los vegetales y ejerce una influencia directa sobre el rendimiento de los animales. Las estaciones con temperatura alta y fotoperíodo largo influyen sobre la reproducción en las hembras a través de anestros y fertilidad reducida y una menor producción y calidad de semen en los machos. Aparentemente la luz actúa sobre la glándula

pituitaria a través de vías nerviosas desde los ojos y asevera que la duración del fotoperíodo influye sobre el crecimiento y muda del pelo en el ganado vacuno.

### **Presión atmosférica**

Los grandes cambios de presión que tiene lugar entre las distintas alturas son sumamente importantes para los animales, al descender la presión puede estimularse el consumo de alimento. Cuando el ganado es transportado de regiones bajas a grandes altitudes suelen encontrarse dificultades, como la enfermedad de montaña que se presenta con frecuencia en el ganado vacuno tras cambios súbitos de altitudes apreciables. Se ha indicado que los animales presienten las tormentas a través de los cambios de presión y realizan modificaciones en su comportamiento. Hasta la fecha es muy limitada la evidencia sobre los efectos que ejercen los cambios de la presión atmosférica en el rendimiento de los animales (McDowell, 1974).

### **Efecto del clima en el consumo de alimentos, tasa de concepción y fertilidad**

Thatcher *et al.* (1997) mencionan que un animal en disconfort calórico alto, reducirá su consumo de alimentos para disminuir la carga asociada a la digestión y al metabolismo de los nutrientes del metabolismo y por lo contrario, Fuentes (1980) expresa que cuando la temperatura ambiente es baja se incrementa el consumo suplementario de alimentos para combatir la baja temperatura y no para un aumento de producción, al respecto Young (1980) encontró que la función digestiva durante la exposición al frío se reduce, siendo ésta independiente de la ingestión de alimentos. Por otra parte Hafez y Dyer (1972) mencionan, que la actividad muscular, incluida la acción de comer, supone un aumento de la producción de calor. El incremento de calor debido a los alimentos, medido como el aumento en la producción de calor por cada unidad que se incrementa el consumo de alimentos, es el calor obtenido como un subproducto de la transformación incompleta de las moléculas de los alimentos en productos finales para ser utilizados.

En un estudio recapitulativo, Mellado (1995) encontró que la reproducción empieza a declinar a partir de los 25 °C y que ésta puede descender hasta solo un 5%, cuando las temperaturas rebasan los 35 °C. En regiones del norte de México con veranos extremos, el

porcentaje de concepciones durante los meses más calurosos del año desciende hasta un 20 %, en comparación con 54 % de concepción observado durante los meses frescos del año. Sin embargo, en climas templados donde las temperaturas del verano rebasan los 30 °C durante el día, pero desciende marcadamente durante la noche, la tasa de concepción no se afecta y en climas tropicales se tiene mayor tasa de preñez cuando las vacas se inseminan ya avanzada la tarde. En contraste Gwazdauskas (1984) menciona que las variaciones de la temperatura rectal y uterina cerca de la inseminación bajo hipertermia con disconfort por frío, tiene asociación psicológica y es una de las causas de la reducción de la fertilidad. Al respecto Griffiths (1985) indica que cuando los niveles de temperatura del medio ambiente, son altos, tiende a reducirse la fecundidad en los animales.

Wieder (1995) menciona que el clima afecta la calidad de semen en el macho; la actividad sexual de la vaca en celo, la probabilidad de concepción y el mantenimiento de la preñez en la hembra. Mellado (1995) indica que bajo condiciones de hipertermia, las vacas de razas europeas presentan celos más cortos alrededor de 10 h, en comparación con 18 h cuando no hay disconfort térmico. Por otra parte, las vacas cebú aun cuando no estén sujetas a temperaturas elevadas, también presentan celos más cortos, de 5 a 7 h que el ganado europeo.

### **Disminución del efecto detrimental por disconfort calórico**

Griffiths (1985) afirma que el calor que provoca disconfort térmico es posible disminuirlo empleando aspersores de agua o bien proporcionándole agua fría. Otros métodos señalados para disminuir los efectos negativos del disconfort calórico son: sombras, enfriamiento evaporativo con agua en forma de nebulizaciones, rocío o aerosoles en combinación con ventilación forzada del aire y posibles tanques de enfriamiento (Sheare y Bray, 1995; Thatcher *et al.*, 1997).

McDowell (1974) y Fuquay (1981) mencionan que la radiación procedente del sol, del cielo y de los objetos que lo rodean suelen añadirse a la carga de calor del animal. Sin embargo, puede reducirse sustancialmente con sombras y cobertizos que eliminen la mayor parte de la energía solar directa y reduzcan la radiación reflejada. Morrison (1983) y Armstrong (1994) señalan que las sombras no afecta a la temperatura, su función es atenuar

la radiación solar sobre el ganado, por lo que estos son consideradas como esenciales para mantener la eficiencia de la producción de leche y para la supervivencia animal.

### **Índice Temperatura-Humedad (ITH)**

El U.S. Weather Bureau, citado por McDowell (1974) ha intentado reunir los dos elementos en un índice significativo fundado en sensaciones de confort y discomfort en el hombre; se dispone de un número limitado de datos que indican que el índice sirve también para estimar el discomfort de los animales, éste se identifica como Índice Temperatura-Humedad, que es un valor adimensionado y está basado en la temperatura bulbo seco en °C y la temperatura bulbo húmedo en °C. Kelly y Bond (1971) hacen mención que la fórmula que usaron para calcular el ITH está basada en la temperatura bulbo seco (°F) y la humedad relativa ( $HR \% / 100$ ), concluyen que donde existan registros climáticos y modelos apropiados, probablemente las técnicas estadísticas puedan ser usadas para predecir el resultado del manejo del ganado bovino. Shell *et al.* (1995) señalan que cuando la radiación solar y el índice Temperatura-Humedad son elevados disminuye el volumen de fluidos del cuerpo como un efecto de la disipación del exceso de calor a través de la orina, la piel y vaporización por respiración. Armstrong (1974) señala que el Índice Temperatura-Humedad es usado para indicar el grado de discomfort en el ganado, cuando el ITH excede de 72 unidades, la producción de leche es afectada de manera adversa. Adicionalmente Gwazdauskas (1980) afirma que el ITH es usado para evaluar los efectos combinados de las variables climáticas en forma individual en la lactancia y la reproducción

Hahn y Osburn (1969) usaron una regresión lineal simple derivada de la función del ITH para estimar la producción de leche en el tiempo de verano, las reservas del caso señaladas por Hahn (1981) con relación a la predicción de una cierta producción esperada, es que esta se puede perder por los niveles de producción de vacas al tener una selección inadecuada en lugares diferentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estado de San Luis Potosí se localiza en la parte centro oriente de la República Mexicana, entre los 21° 09' 35'' y 24° 33' 25'' de latitud norte y los 98° 19' 40'' y 102° 17' 30'' de longitud oeste. Lo limitan de norte a sur, por el lado oeste, los estados Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz e Hidalgo y de sur a norte, por el oeste, los de Querétaro, Guanajuato, Jalisco y Zacatecas. El estado ocupa por extensión, el decimoquinto lugar entre las entidades que conforman el territorio nacional, con una superficie de 62 304.74 km<sup>2</sup> (INEGI, 1985).

### Elementos climáticos utilizados

Los datos de temperatura media y temperatura mínima mensual que se utilizaron, se obtuvieron de la red integrada por 102 estaciones climatológicas existentes en el estado San Luis Potosí (Figura 1), de las cuales 20 pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional, 48 son estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua y 34 estaciones que corresponden a la región huasteca (Campos, 1985).

### Fórmula utilizada del Índice Temperatura-Humedad

La fórmula originalmente propuesta por el U. S. Weather Bureau, citado por McDowell (1974) para el cálculo de Índice Temperatura-Humedad es la siguiente:

$$ITH = 0.75 (t_s + t_h) + 40.6 \quad (1)$$

ITH = Índice Temperatura-Humedad

$t_s$  = temperatura bulbo seco en °C

$t_h$  = temperatura bulbo húmedo en °C

La fórmula anterior no fue posible aplicarla en forma directa, dado que ninguna estación climatológica de la red utilizada en el presente trabajo reporta la  $t_h$ , por lo que ésta se modificó haciendo la estimación de la  $t_h$  a partir de la fórmula psicrométrica citada por Torres (1980), para el cálculo de la tensión de vapor:

$$e = e_s - cp (t_s + t_h) \quad (2)$$

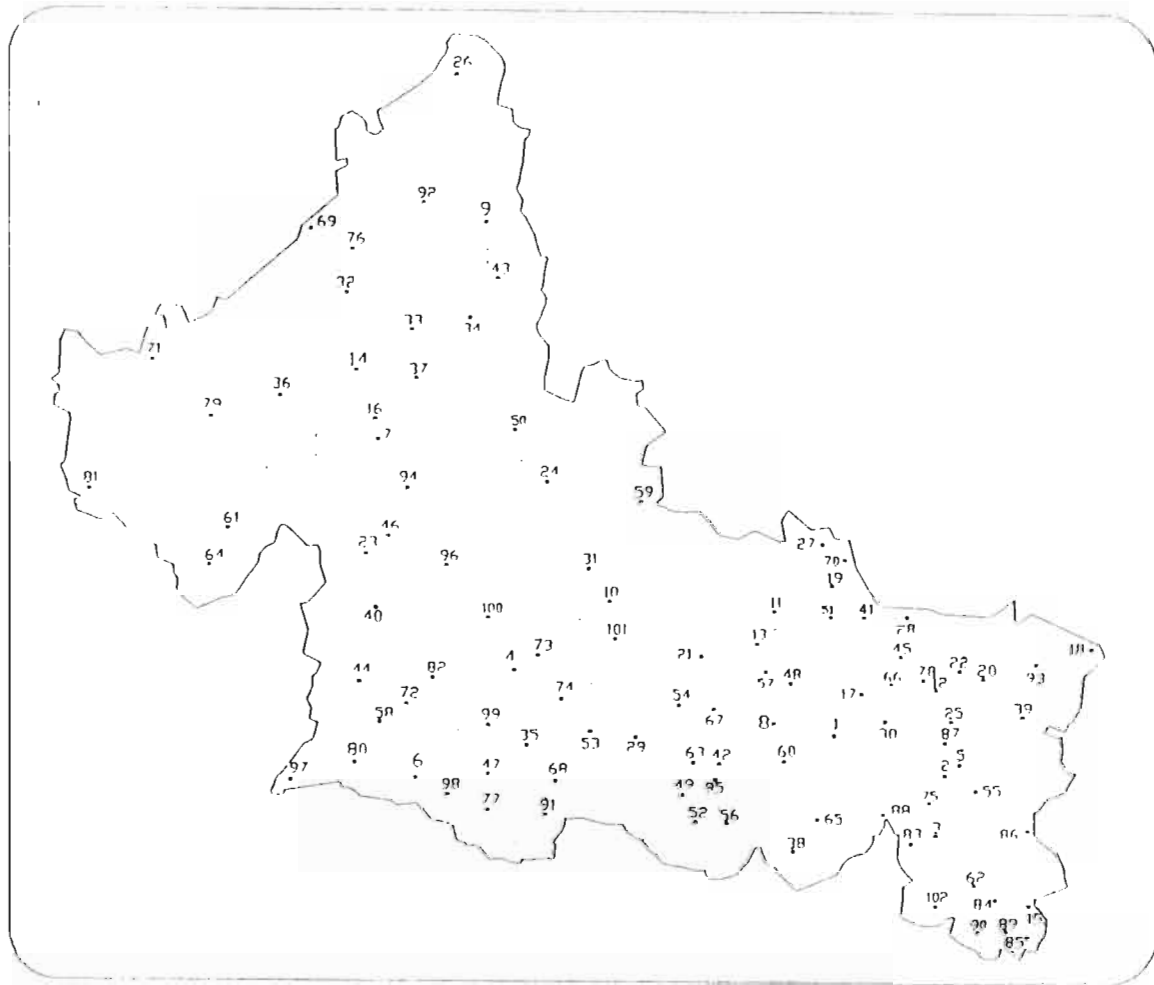


Figura 1. Localización y claves de las estaciones climatológicas en el estado de San Luis Potosí

- |                                       |   |   |
|---------------------------------------|---|---|
| (1) Agua Nueva (Tamasopo)             | (35) La Solitiera (Zaragoza)                    | (69) S. J. de Caranadas (R. de Catarina)    |
| (2) Altamira (Ciudad Valles)          | (36) La Victoria (Santo Domingo)                | (70) San Juan El Meco (Cd. del Maiz)        |
| (3) Aquismón (Aquismón)               | (37) Laguna Seca (Charcas)                      | (71) San Juan del Salado (Santo Domingo)    |
| (4) Armadillo de los Infante          | (38) Langüillas                                 | (72) San Luis Potosí                        |
| (5) Ballesteri (Ciudad Valles)        | (39) Los Adjuntos (Tamuín)                      | (73) San Nicolás Tolentino                  |
| (6) Bledas (Villa de Reyes)           | (40) Los Pilares (Ahuatlulco)                   | (74) Santa Catarina (San Nicolás Tolentino) |
| (7) Cañada Verde (Charcas)            | (41) Los Molinos (El Naranjo)                   | (75) Santa Cruz (Aquismón)                  |
| (8) Cárdenas                          | (42) Manantial Media Luna (Ríoverde)            | (76) Sta. Ma. del Refugio (R. de Catarina)  |
| (9) Cedral                            | (43) Matehuala                                  | (77) Santa María del Río                    |
| (10) Cerritas                         | (44) Mexquilit                                  | (78) Santa Rosa (Ciudad Valles)             |
| (11) Ciudad del Maiz                  | (45) Micos (Ciudad Valles)                      | (79) Santa Dominga                          |
| (12) Ciudad Valles                    | (46) Moctezuma                                  | (80) Santiago (Villa de Arriaga)            |
| (13) Col. A. Obregón (Cd. del Maiz)   | (47) Ojo Caliente (Santa María del Río)         | (81) Sauc de Catera (Valle de Parana)       |
| (14) Cayatlillo (Charcas)             | (48) Ojo de Agua (Alaquines)                    | (82) Salud de Graciela Sanchez P.           |
| (15) Chalcihuanilla (San Martín)      | (49) Ojo de Agua Seco (Ríoverde)                | (83) Tamazulac (Aquismón)                   |
| (16) Charcas                          | (50) Palo Blanco (Villa de Guadalupe)           | (84) Tamcolat                               |
| (17) Damián Carranza (Tamasopo)       | (51) Papagayos (Ciudad del Maiz)                | (85) Tamculin (Tamazunchale)                |
| (18) Ebano                            | (52) Paredes (Ríoverde)                         | (86) Tamquiñuche (Escobedo)                 |
| (19) Ejido Abillas (El Naranjo)       | (53) Paso de San Antonio (Ríoverde)             | (87) Tamquiñuche (Ciudad Valles)            |
| (20) Cáca (Tamuín)                    | (54) Pastora (Ríoverde)                         | (88) Tamzinchara (Tamasopo)                 |
| (21) El Charco (Ríoverde)             | (55) Piedra Antonia de los Santos               | (89) Tamagualta (Tamazunchale)              |
| (22) El Chay (Ciudad Valles)          | (56) Piedra Morlaya (San Ciria de Acosta)       | (90) Tierra Blanca (Tamazunchale)           |
| (23) El Grillo (Moctezuma)            | (57) Presa Alvaro Obregón (S.L.P.)              | (91) Tierra Nueva                           |
| (24) El Huizochil (Gundolcazor)       | (58) Presa El Peaje (S.L.P.)                    | (92) Vanegas                                |
| (25) El Pujal (Tlanlajas)             | (59) Presa de Guadalupe (Gundolcazor)           | (93) Velasco (Tamuín)                       |
| (26) El Salado (Vanegas)              | (60) Puyón                                      | (94) Venado                                 |
| (27) El Silla (El Naranjo)            | (61) Refinería (Salinas de Hidalgo)             | (95) Vinas (Ríoverde)                       |
| (28) El Tigre (Ciudad Valles)         | (62) Requeletón (Alfreda M. Terrozas)           | (96) Villa de Arista                        |
| (29) Faro Gallinas (Ríoverde)         | (63) Ríoverde                                   | (97) Villa de Arriaga                       |
| (30) Gallinas (Aquismón)              | (64) Salinas de Hidalgo                         | (98) Villa de Reyes                         |
| (31) Gundolcazor                      | (65) S. Antonio de las Guayabas (Sta. Catarina) | (99) Villa de Zaragoza                      |
| (32) La Cardanilla (Real de Catarina) | (66) San Diego (Cd. Valles)                     | (100) Villa de Hidalgo                      |
| (33) La Maraña (Real de Catarina)     | (67) San Francisco (Ríoverde)                   | (101) Villa de Juárez                       |
| (34) La Presa (Villa de Guadalupe)    | (68) San José Abasco (Sta. Ma. del Pin)         | (102) Xilita                                |



$e$  = tensión de vapor, en mm de Hg  
 $e_s$  = tensión de vapor a saturación, en mm de Hg  
 $c$  = constante para psicrómetros ventilados = 0.000787  
 $p$  = presión atmosférica normal del lugar, en mm de Hg  
 $t_s$  = temperatura bulbo seco, en °C  
 $t_h$  = temperatura bulbo húmedo, en °C

La presión atmosférica normal del lugar ( $p$ ) en milibares, fue estimada con la fórmula propuesta por la International Commission for Air Navigation citada por Wiesner (1970) y es válida hasta los 12 000 metros de altitud.

$$p = 1013.2 \cdot \left( \frac{288 - 0.0095 \cdot Z}{288} \right)^{5.256} \quad (3)$$

$Z$  = altitud del lugar en metros

Para la estimación de la tensión de vapor a saturación ( $e_s$ ) se utilizaron las ecuaciones lineales propuestas por Campos (1993) y que se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Ecuaciones de la forma  $y_i = m_i x_i + b_i$ , para obtener la tensión de vapor mensual ( $y_i$ ) en mb a partir de la temperatura promedio de mínima ( $x_i$ ) en °C.**

|     | m e s e s |       |        |        |        |        |        |        |        |        |       |       |
|-----|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
|     | ene       | feb   | mar    | abr    | may    | jun    | jul    | ago    | sep    | Oct    | nov   | dic   |
| $m$ | 0.914     | 1.035 | 1.202  | 1.344  | 1.412  | 1.413  | 1.301  | 1.294  | 1.238  | 1.093  | 0.957 | 0.930 |
| $b$ | 4.047     | 2.216 | -0.890 | -5.617 | -5.384 | -2.837 | -2.575 | -1.175 | -1.195 | -1.175 | 3.357 | 3.758 |

$m$  = pendiente  
 $b$  = intercepto  
 Campos (1993)

### Fotoperíodo

Para el área de estudio se calculó el fotoperíodo ( $N$ ) medio mensual con intervalos de 30 minutos de latitud, empleando la fórmula siguiente citada por (Torres, 1980):

$$N = \frac{2 \omega}{15} \text{ en horas} \quad (4)$$

$\omega$  = ángulo horario (de la salida del sol al medio día solar) =  $\cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta)$   
 $\phi$  = latitud geográfica  
 $\delta$  = declinación solar

### **Radiación solar**

La distribución de la radiación solar incidente media diaria (Ri) en langley/día, para el estado de San Luis Potosí, se tomó de los mapas presentados por Campos (1993).

### **Representación gráfica de los estimadores del confort climático**

Para conocer la variación y distribución de las características que puedan estimar el “confort climático” en el estado de San Luis Potosí, se realizó una representación gráfica mensual del ITHe, la radiación solar y del fotoperíodo, por medio de isolíneas.

### **Relación ganado y estimadores del confort climático**

La Identificación y ubicación de las razas de bovinos en el estado de San Luis Potosí, se obtuvo de información proporcionada por la SAGAR en forma directa y mediante reconocimiento físico de las localidades señaladas por esa secretaria, se corroboró la existencia de las razas y formas de explotación ganadera. Para relacionar su existencia y ubicación, se consideró la distribución mensual de los valores extremos del Índice Temperatura-Humedad estimado y los índices de tolerancia temperatura-humedad, mencionados por diferentes autores, los cuales se presentan en el Cuadro 2.

### **Biodiagrama para identificar períodos de confort en una localidad.**

Para la identidad de períodos de confort o desconfort en una localidad, se propone un biodiagrama en el que se forma un polígono con base en un sistema cartesiano, donde, el eje de las ordenadas corresponde a la temperatura mensual en °C y el eje de las abscisas corresponde a el Índice Temperatura-Humedad mensual.

**Cuadro 2. Intervalos y límites del Índice Temperatura-Humedad para diferentes razas de ganado bovino.**

| Razas                             | Índice Temperatura-Humedad |                    |                              |               |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
|                                   | Armstrong<br>(1994)        | McDowell<br>(1974) | Shell <i>et al</i><br>(1995) | Lee<br>(1967) |
| Cebú (brahman)                    |                            | máximo 89          | 65 a 85                      |               |
| 1/2 cebú - 1/2 angus              |                            | máximo 84          |                              |               |
| 3/8 cebú - 5/8 angus              |                            | máximo 84          |                              |               |
| Santa getrudis                    |                            | máximo 82          | 65 a 85                      |               |
| 1/2 africaner - 1/2 angus         |                            | máximo 80          |                              |               |
| Jersey                            |                            | máximo 79          | 65 a 85                      |               |
| 1/4 cebú - 3/4 angus              |                            | máximo 77          |                              |               |
| Herford                           |                            | máximo 73          |                              | 55 a 72       |
| 1/4 africaner - 3/4 angus         |                            | máximo 72          |                              |               |
| Angus                             |                            | máximo 59          |                              | 55 a 72       |
| Gyr                               |                            |                    | 65 a 85                      |               |
| Nellore                           |                            |                    | 65 a 85                      |               |
| Guzerat                           |                            |                    | 65 a 85                      |               |
| Charolais                         |                            |                    |                              | 55 a 72       |
| Shorton, holstein, jersey y suizo | < 72 confort               |                    |                              | 55 a 72       |
|                                   | 72 a 78 discinfort         |                    |                              |               |
|                                   | medio                      |                    |                              |               |
|                                   | 78 a 89 disconfort         |                    |                              |               |
|                                   | fuerte                     |                    |                              |               |
|                                   | 89 a 98 disconfort         |                    |                              |               |
|                                   | severo                     |                    |                              |               |
|                                   | > 89 mortal                |                    |                              |               |

### **Análisis de datos**

Se utilizó una correlación para conocer el grado de interconexión entre la fórmula propuesta por el U.S. Weather Bureau para el cálculo del ITH y las fórmulas modificadas para la estimación del ITH, aplicando los datos reportados por los observatorios meteorológicos de San Luis Potosí, Rioverde S. L. P. y Ciudad Valles S. L. P.

Para el mapeo del Índice Temperatura-Humedad estimado, la radiación solar y el fotoperíodo, se colocaron los valores de éstos sobre los puntos geográficos de cada una de las estaciones utilizadas, formando una red de triángulos para todo el estado y por interpolación se determinó la variación entre estaciones trazando líneas sobre puntos de igual valor, apoyado en el software DESINCAD-2D, versión 4.2 y AUTOCAD versión 12, para PC.

A partir de los datos del Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en todas las estaciones climatológicas de Estado de San Luis Potosí y verificada la existencia de razas en sus diferentes localidades, se analizó la concordancia entre los valores extremos del ITH (valores actuales) y los límites de tolerancia extremos del ITH (valores esperados) para el confort climático ganadero por medio de una prueba de  $\chi^2$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fórmulas utilizadas

La ecuación 1, se modificó al sustituir la temperatura bulbo húmedo ( $t_h$ ) por la siguiente fórmula para estimar la temperatura bulbo húmedo ( $t_{he}$ ).

$$t_{he} = \left( t_s - \frac{e - (m_i)(t_s) + b_i}{-cp} \right) \quad (5)$$

Queda como primera expresión modificada para la estimación del ITHe<sub>i</sub> la fórmula siguiente en la que se considera la presión normal del lugar a partir de la altitud:

$$ITHe_i = 0.75 \cdot \left( t_s + \left( t_s - \frac{e - (m_i)(t_s) + b_i}{-cp} \right) \right) + 40.6 \quad (6)$$

Dado que en algunos casos las estaciones climatológicas no reportaron datos de altitud para considerar la presión normal del lugar, se realizó una segunda modificación a la ecuación 1, que consiste en no considerar este dato, quedando la siguiente expresión:

$$ITHe_i = 0.75 \cdot \left( t_s + \left( t_s - \frac{e - (m_i)(t_s) + b_i}{-c} \right) \right) + 40.6 \quad (7)$$

sustituyendo:

$$ITHe = 0.75 \cdot \left( t_s + \left( t_s - \frac{6.11 \cdot 10^{\left( \frac{7.5 \cdot t_s}{237.3 + t_s} \right)} - (m_i)(t_s) + b_i}{-0.79388} \right) \right) + 40.6 \quad (7)$$

### Selección de la fórmula para estimar el ITH

Para conocer el comportamiento de la fórmula modificada y seleccionar la más apropiada, se realizó una correlación entre el ITH calculado con la ecuación 1, contra el ITHe estimado con las ecuaciones 6 y 7, los valores utilizados para  $m_i$  y  $b_i$  son los presentados en el Cuadro 1. Los resultados obtenidos del ITHe estimado en sendas aplicaciones y su correlación, se expresa en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Índice Temperatura-Humedad calculado y estimado, para las localidades de los observatorios meteorológicos de San Luis Potosí, Rioverde, S.L.P. y Ciudad Valles, S.L.P.**

| Observatorio               | Índice Temperatura-Humedad |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Correlación |         |
|----------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|---------|
|                            | ene                        | feb  | mar  | abr  | may  | jun  | jul  | ago  | sep  | oct  | nov  | dic  |             |         |
| 1 Fac. Ing. <sup>*</sup>   | 54.1                       | 56.1 | 60.1 | 64.2 | 70.0 | 68.6 | 65.8 | 65.4 | 64.7 | 60.3 | 58.4 | 55.9 |             |         |
| 2 Fac. Ing. <sup>**</sup>  | 53.7                       | 56.1 | 60.8 | 66.1 | 71.7 | 69.0 | 65.5 | 64.9 | 63.9 | 60.1 | 57.5 | 55.5 | 0.9895      | 1 vs. 2 |
| 3 Fac. Ing. <sup>***</sup> | 53.9                       | 56.4 | 60.9 | 66.1 | 71.7 | 69.1 | 65.4 | 65.0 | 64.1 | 60.3 | 57.8 | 55.8 | 0.9904      | 1 vs. 3 |
| 4 Rioverde <sup>*</sup>    | 60.2                       | 64.0 | 64.8 | 64.2 | 76.7 | 75.9 | 75.9 | 74.3 | 74.1 | 70.2 | 65.7 | 62.1 |             |         |
| 5 Rioverde <sup>**</sup>   | 61.2                       | 65.2 | 67.5 | 66.1 | 79.8 | 77.4 | 78.5 | 74.5 | 74.7 | 71.0 | 66.7 | 62.8 | 0.9898      | 4 vs. 5 |
| 6 Rioverde <sup>***</sup>  | 61.3                       | 65.3 | 67.5 | 66.1 | 79.6 | 77.3 | 78.3 | 74.5 | 74.6 | 71.0 | 66.7 | 62.9 | 0.9904      | 4 vs. 6 |
| 7 Cd.Valles <sup>*</sup>   | 62.0                       | 64.3 | 70.6 | 72.2 | 74.7 | 82.0 | 77.4 | 79.0 | 77.1 | 71.8 | 66.5 | 66.9 |             |         |
| 8 Cd.Valles <sup>**</sup>  | 62.1                       | 65.7 | 71.0 | 72.1 | 74.3 | 82.1 | 77.5 | 80.7 | 78.8 | 73.6 | 68.9 | 69.8 | 0.9845      | 7 vs 8  |
| 9 Cd.Valles <sup>***</sup> | 62.1                       | 65.7 | 71.0 | 72.1 | 74.2 | 82.1 | 77.5 | 80.7 | 78.8 | 73.6 | 68.8 | 69.8 | 0.9848      | 7 vs 9  |

<sup>\*</sup> Se aplicó la ecuación 1 para el cálculo

<sup>\*\*</sup> Se aplicó la ecuación 6 para la estimación

<sup>\*\*\*</sup> Se aplicó la ecuación 7 para la estimación

Los dos criterios de modificación aplicados a la fórmula original, presentan una correlación alta con respecto a la fórmula original, por lo que se concluye que la altitud del lugar no es significativo para este caso y las ecuaciones 6 y 7 se pueden utilizar indistintamente para la estimación del ITH, sin embargo esta última es mas sencilla en su aplicación.

Los valores del Índice Temperatura-Humedad estimados mediante la aplicación de la ecuación 7, para las 102 estaciones climatológicas del estado de San Luis Potosí, se muestran en el Cuadro 4 para la zona altiplano, en el Cuadro 5 para la zona media y en el Cuadro 6 para la zona huasteca.

Las condiciones ideales para conocer el ITH es con la aplicación directa de la fórmula original y evitar al máximo la estimación de datos faltantes, en éste caso, la fórmula modificada por la estimación del ITH, se recomienda aplicarla para localidades situadas en el estado de San Luis Potosí o lugares muy cercanos a su límite geográfico.

**Cuadro 4. Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la zona del Altiplano Potosino.**

| Estación                        | Índice Temperatura-Humedad |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                 | ene                        | feb  | mar  | Abr  | may  | jun  | jul  | ago  | sep  | oct  | nov  | dic  |
| Cañada Verde (Charcas)          | 54.3                       | 56.1 | 61.0 | 67.5 | 70.9 | 71.2 | 68.9 | 68.9 | 67.8 | 67.3 | 60.1 | 57.3 |
| Coyotillos (Charcas)            | 54.5                       | 56.9 | 60.3 | 65.5 | 69.4 | 68.6 | 66.5 | 66.5 | 65.2 | 65.1 | 58.3 | 55.9 |
| Charcas                         | 58.6                       | 61.7 | 66.3 | 72.0 | 74.9 | 74.3 | 71.6 | 71.3 | 69.1 | 68.5 | 62.2 | 58.1 |
| Cedral                          | 56.8                       | 59.7 | 64.3 | 69.1 | 71.9 | 73.0 | 71.8 | 71.3 | 68.3 | 67.5 | 61.4 | 57.6 |
| El Grito (Moctezuma)            | 56.5                       | 58.6 | 63.6 | 68.5 | 71.5 | 71.2 | 68.9 | 69.1 | 67.7 | 66.7 | 60.1 | 57.3 |
| El Huizache (Guadalcazar)       | 61.0                       | 62.6 | 67.5 | 58.4 | 74.7 | 71.2 | 71.1 | 72.4 | 71.5 | 68.6 | 63.3 | 63.3 |
| Guadalcazar                     | 60.3                       | 61.8 | 66.7 | 72.9 | 74.9 | 73.6 | 70.6 | 70.5 | 68.9 | 68.8 | 63.6 | 61.2 |
| El Salado (Vanegas)             | 56.0                       | 58.5 | 62.3 | 67.5 | 70.3 | 71.1 | 69.5 | 66.6 | 65.1 | 64.8 | 59.6 | 57.3 |
| Vanegas                         | 57.5                       | 60.6 | 64.7 | 69.5 | 72.3 | 73.0 | 71.3 | 70.8 | 69.4 | 68.6 | 61.4 | 57.9 |
| La Cardoncita (Catorce)         | 58.9                       | 59.5 | 64.7 | 67.5 | 70.6 | 70.0 | 68.9 | 68.9 | 66.1 | 67.3 | 62.5 | 61.0 |
| La Maroma (Catorce)             | 57.8                       | 59.9 | 65.2 | 69.7 | 72.9 | 73.5 | 72.3 | 71.7 | 70.6 | 69.0 | 62.3 | 59.0 |
| Coronados (Catorce)             | 56.8                       | 58.6 | 61.8 | 65.1 | 66.8 | 66.4 | 65.1 | 66.4 | 65.2 | 64.4 | 59.5 | 59.6 |
| Sta. Ma del Refugio (Catorce)   | 56.9                       | 58.3 | 63.4 | 68.2 | 70.7 | 71.2 | 69.5 | 69.4 | 67.7 | 67.0 | 60.7 | 58.1 |
| La Presa (Villa de Guadalupe)   | 60.3                       | 62.5 | 66.4 | 71.9 | 74.4 | 73.6 | 74.2 | 74.1 | 72.5 | 71.2 | 64.1 | 61.5 |
| Palo Blanco (Villa de Gpe.)     | 59.5                       | 62.9 | 68.0 | 72.5 | 75.7 | 74.6 | 74.0 | 73.1 | 73.6 | 72.4 | 65.0 | 60.7 |
| La Victoria (Sto. Domingo)      | 54.0                       | 57.3 | 60.1 | 64.0 | 66.8 | 67.7 | 66.2 | 65.5 | 60.6 | 66.7 | 58.3 | 56.6 |
| S. Juan del Salado (S. Domingo) | 56.6                       | 58.0 | 60.7 | 64.1 | 67.3 | 67.7 | 65.5 | 65.5 | 64.1 | 67.0 | 60.4 | 57.9 |
| Santo Domingo                   | 62.1                       | 63.6 | 65.9 | 70.8 | 71.3 | 72.8 | 70.8 | 71.7 | 67.7 | 67.3 | 63.1 | 60.5 |
| Los Pilares (Ahuualulco)        | 63.5                       | 65.0 | 71.0 | 76.7 | 78.6 | 77.8 | 76.1 | 75.6 | 74.4 | 73.7 | 67.5 | 64.5 |
| Matehuala                       | 60.0                       | 63.4 | 68.1 | 73.2 | 75.9 | 76.4 | 74.9 | 75.4 | 73.2 | 71.5 | 64.8 | 60.5 |
| Mexquitic                       | 61.0                       | 63.7 | 66.7 | 70.9 | 73.2 | 72.7 | 69.8 | 70.4 | 68.8 | 69.1 | 63.6 | 61.3 |
| Moctezuma                       | 63.1                       | 64.7 | 68.1 | 71.7 | 73.5 | 73.0 | 72.1 | 72.2 | 70.9 | 71.5 | 66.4 | 63.2 |
| La Reforma (Salinas de Hgo.)    | 58.3                       | 58.5 | 65.2 | 68.9 | 71.6 | 71.1 | 68.7 | 67.8 | 67.2 | 66.8 | 60.4 | 58.5 |
| Salinas de Hidalgo              | 53.8                       | 55.6 | 60.1 | 62.3 | 63.0 | 65.1 | 63.2 | 60.6 | 59.6 | 60.0 | 58.1 | 54.5 |
| Santiago (Villa de Arriaga)     | 58.9                       | 60.8 | 63.9 | 67.9 | 69.7 | 69.0 | 67.2 | 67.1 | 65.4 | 65.6 | 60.9 | 59.3 |
| Sauz de Calera (V. de Ramos)    | 57.1                       | 60.6 | 65.0 | 69.8 | 71.5 | 68.4 | 68.4 | 68.3 | 62.8 | 68.0 | 62.8 | 59.6 |
| Venado                          | 58.4                       | 60.9 | 64.5 | 69.8 | 72.9 | 72.7 | 71.3 | 71.7 | 69.4 | 68.6 | 62.2 | 58.1 |
| Villa de Arista                 | 58.0                       | 60.0 | 65.8 | 69.7 | 71.2 | 71.2 | 71.0 | 70.7 | 69.4 | 67.5 | 61.4 | 58.1 |
| Villa de Arriaga                | 56.5                       | 58.5 | 62.3 | 68.6 | 69.7 | 69.9 | 67.8 | 67.1 | 65.2 | 65.0 | 60.9 | 58.1 |
| Villa Hidalgo                   | 58.9                       | 61.1 | 65.0 | 68.6 | 70.0 | 70.9 | 68.4 | 68.4 | 66.3 | 66.8 | 62.2 | 60.4 |

**Cuadro 5. Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la Zona Media.**

| Estación                       | Índice temperatura-humedad |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | ene                        | feb  | mar  | abr  | may  | jun  | jul  | ago  | sep  | oct  | nov  | dic  |
| Armadillo de los Infante       | 58.9                       | 61.2 | 67.3 | 72.4 | 74.5 | 73.0 | 70.5 | 70.8 | 69.9 | 69.1 | 63.3 | 58.2 |
| Bledos (Villa de Reyes)        | 59.4                       | 61.4 | 61.1 | 67.3 | 68.7 | 67.2 | 65.8 | 65.6 | 64.1 | 66.2 | 61.5 | 60.2 |
| Cárdenas                       | 71.8                       | 72.6 | 74.1 | 75.8 | 77.7 | 76.7 | 75.7 | 76.0 | 76.1 | 77.0 | 73.0 | 71.4 |
| Cerritos                       | 62.9                       | 65.4 | 70.8 | 76.7 | 80.0 | 77.5 | 76.2 | 76.9 | 75.7 | 76.0 | 67.8 | 63.7 |
| Ciudad del Maíz                | 60.2                       | 64.5 | 69.3 | 75.5 | 77.9 | 78.6 | 75.7 | 75.0 | 73.2 | 71.9 | 65.7 | 62.3 |
| Col. A. Obregón (Cd. del Maíz) | 63.5                       | 66.4 | 71.2 | 76.6 | 79.0 | 78.0 | 76.4 | 76.5 | 74.7 | 74.1 | 67.8 | 64.3 |
| Ejido Abritas (El Naranjo)     | 60.5                       | 62.8 | 68.5 | 74.6 | 77.2 | 77.1 | 75.7 | 76.1 | 74.4 | 73   | 65.9 | 62.3 |
| El Charco (Rioverde)           | 58.6                       | 60.6 | 65.6 | 69.7 | 70.7 | 74.1 | 72.1 | 71.8 | 70.3 | 72.6 | 64.5 | 61.7 |
| El Salto (El Naranjo)          | 65.2                       | 68.7 | 73.3 | 80.8 | 83.2 | 84.3 | 82.1 | 82.9 | 80.8 | 78.4 | 71.2 | 66.1 |
| Faro Gallinas Rioverde)        | 64.3                       | 67.2 | 73.5 | 79.0 | 82.0 | 80.9 | 78.8 | 79.1 | 76.9 | 75.1 | 69.0 | 65.4 |
| La Salitrera (V. de Zaragoza)  | 56.8                       | 58.9 | 64.3 | 69.1 | 70.9 | 69.9 | 67.8 | 67.5 | 66.7 | 65.4 | 59.9 | 57.8 |
| Laguna Seca (Charcas)          | 56.0                       | 58.7 | 62.1 | 66.9 | 70.6 | 70.9 | 69.2 | 69.1 | 68.1 | 66.7 | 60.6 | 59.1 |
| Lagunillas                     | 66.5                       | 68.1 | 73.9 | 78.6 | 81.0 | 80.9 | 79.6 | 80.1 | 76.9 | 76.4 | 70.7 | 67.0 |
| Maitines (El Naranjo)          | 67.7                       | 70.5 | 77.6 | 85.3 | 88.6 | 87.8 | 87.3 | 87.2 | 85.0 | 84.2 | 75.7 | 70.2 |
| Media Luna (Rioverde)          | 60.3                       | 64.5 | 68.8 | 73.2 | 75.6 | 75.9 | 74.2 | 75.6 | 74.7 | 73.0 | 68.0 | 63.2 |
| Ojo Caliente (S.L.P.)          | 60.6                       | 61.5 | 68.5 | 72.7 | 75.4 | 73.6 | 72.0 | 71.7 | 70.4 | 70.3 | 64.5 | 61.3 |
| Ojo de Agua Seco (Rioverde)    | 61.1                       | 64.0 | 70.7 | 76.0 | 78.1 | 77.1 | 75.9 | 75.4 | 73.1 | 71.9 | 66.4 | 63.2 |
| Papagayos (Ciudad del Maíz)    | 61.3                       | 62.9 | 67.7 | 73.0 | 75.1 | 75.0 | 74.6 | 73.2 | 72.3 | 71.7 | 65.5 | 63.0 |
| Paredes (Rioverde)             | 59.4                       | 62.3 | 67.0 | 72.7 | 75.1 | 74.5 | 72.6 | 71.0 | 69.6 | 69.1 | 62.8 | 60.9 |
| San Antonio (Rioverde)         | 64.1                       | 66.4 | 71.7 | 76.9 | 78.8 | 78.8 | 76.1 | 77.1 | 73.2 | 73.1 | 66.9 | 63.7 |
| Pastora (Rioverde)             | 63.5                       | 66.2 | 71.7 | 76.9 | 78.6 | 79.5 | 77.0 | 76.1 | 74.4 | 73.9 | 67.8 | 64.7 |
| Presa A. Obregón (Alaquines)   | 62.9                       | 65.2 | 70.1 | 74.9 | 76.4 | 76.4 | 74.4 | 74.7 | 73.2 | 72.6 | 67.1 | 63.5 |
| Presa El Peaje (S.L.P.)        | 58.4                       | 60.5 | 65.3 | 70.1 | 72.4 | 70.6 | 68.7 | 68.4 | 67.2 | 66.8 | 62.3 | 59.8 |
| Presa Guadalupe (Guadalcazar)  | 63.6                       | 63.9 | 68.1 | 71.4 | 71.9 | 71.9 | 71.5 | 70.8 | 69.9 | 70.1 | 65.2 | 61.5 |
| Rayón                          | 63.1                       | 64.9 | 70.0 | 75.1 | 77.7 | 76.7 | 74.9 | 74.8 | 73.1 | 72.6 | 66.9 | 64.0 |
| Rioverde                       | 62.9                       | 66.9 | 71.3 | 76.9 | 79.8 | 79.7 | 78.0 | 77.9 | 75.5 | 73.7 | 67.1 | 63.8 |
| San Antonio (Santa Catarina)   | 65.4                       | 67.9 | 73.7 | 80.0 | 82.2 | 81.5 | 79.8 | 79.7 | 77.2 | 77.0 | 70.5 | 66.6 |
| San Francisco (Rioverde)       | 62.1                       | 64.5 | 70.5 | 75.5 | 78.5 | 77.1 | 75.7 | 75.2 | 73.4 | 72.6 | 66.8 | 63.8 |
| Albuquerque (Sta. Ma. del Río) | 59.2                       | 60.9 | 64.6 | 68.9 | 71.6 | 70.8 | 67.5 | 67.5 | 65.7 | 66.4 | 62.3 | 60.4 |
| El Meco (Cd. del Maíz)         | 60.0                       | 62.9 | 67.7 | 73.4 | 75.1 | 74.5 | 73.2 | 73.1 | 72.0 | 71.0 | 65.2 | 61.2 |
| San Luis Potosí                | 60.8                       | 63.7 | 68.8 | 72.9 | 74.2 | 73.1 | 71.0 | 71.0 | 68.8 | 68.5 | 63.5 | 60.5 |
| San Nicolás Tolentino          | 59.8                       | 62.8 | 67.3 | 71.9 | 74.5 | 73.6 | 71.1 | 71.3 | 69.8 | 69.0 | 63.6 | 61.5 |
| Santa Catarina (San Nicolás T) | 59.1                       | 60.0 | 65.8 | 71.2 | 73.5 | 66.4 | 67.5 | 67.7 | 66.1 | 67.5 | 61.0 | 58.7 |
| Santa María del Río            | 61.0                       | 62.9 | 69.3 | 73.4 | 74.9 | 73.5 | 72.0 | 72.2 | 70.8 | 70.3 | 64.3 | 61.7 |
| Soledad de Graciano S. R.      | 58.9                       | 61.5 | 65.3 | 70.1 | 71.2 | 71.4 | 68.7 | 68.7 | 67.7 | 67.0 | 62.2 | 59.7 |



|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tierra Nueva      | 59.2 | 61.8 | 64.0 | 65.8 | 69.7 | 72.2 | 67.8 | 68.4 | 65.5 | 68.5 | 58.9 | 58.8 |
| Vigas (Rioverde)  | 62.9 | 63.9 | 69.5 | 74.9 | 77.2 | 77.8 | 75.9 | 75.0 | 73.6 | 73.1 | 66.9 | 63.3 |
| Villa de Reyes    | 61.6 | 65.4 | 69.3 | 74.2 | 76.1 | 75.7 | 74.0 | 74.1 | 71.6 | 71.3 | 65.7 | 62.8 |
| Villa de Zaragoza | 57.1 | 59.5 | 64.0 | 67.9 | 70.0 | 69.7 | 67.5 | 68.0 | 66.6 | 66.8 | 61.5 | 59.1 |
| Villa Juárez      | 63.5 | 65.1 | 69.8 | 75.3 | 77.7 | 76.2 | 74.9 | 74.7 | 73.1 | 72.1 | 66.6 | 63.8 |

---

**Cuadro 6. Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas de la Zona Huasteca.**

| Estación                      | Índice Temperatura-Humedad |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|                               | ene                        | feb  | mar  | abr  | may  | jun   | jul   | ago  | sep  | oct  | nov  | dic  |
| Agua Buena (Tamasopo)         | 67.2                       | 69.4 | 75.2 | 81.4 | 84.3 | 84.5  | 83.2  | 84.2 | 82.1 | 79.8 | 72.8 | 68.1 |
| Altamira (Ciudad Valles)      | 68.9                       | 71.8 | 77.0 | 84.9 | 88.8 | 88.3  | 88.0  | 88.2 | 86.2 | 85.1 | 75.9 | 71.2 |
| Aquismón                      | 69.8                       | 71.6 | 77.2 | 84.6 | 86.9 | 87.6  | 87.5  | 87.7 | 85.3 | 83.3 | 75.9 | 71.6 |
| Ballesmi (Ciudad Valles)      | 69.4                       | 72.4 | 78.2 | 86.7 | 90.0 | 90.5  | 89.2  | 90.4 | 87.9 | 85.6 | 77.0 | 71.6 |
| Ciudad Valles                 | 67.9                       | 72.0 | 77.0 | 86.0 | 88.6 | 89.3  | 87.5  | 88.2 | 84.6 | 81.5 | 74.7 | 69.0 |
| San Martín Chalchicuautla     | 67.0                       | 69.4 | 75.4 | 82.9 | 85.4 | 85.6  | 84.5  | 85.1 | 83.6 | 81.8 | 73.8 | 69.4 |
| Danián Carmona (Tamasopo)     | 65.2                       | 66.5 | 73.3 | 81.9 | 83.9 | 83.6  | 81.2  | 82.0 | 79.9 | 79.4 | 71.6 | 67.7 |
| Ebano                         | 67.9                       | 70.7 | 76.6 | 83.8 | 86.9 | 86.9  | 85.9  | 86.5 | 84.8 | 83.5 | 75.7 | 70.2 |
| El Coco (Tamuín)              | 69.8                       | 72.6 | 79.4 | 87.8 | 90.7 | 90.7  | 90.2  | 90.4 | 87.9 | 85.8 | 77.0 | 72.0 |
| El Choy (Ciudad Valles)       | 68.9                       | 71.6 | 78.4 | 86.5 | 89.7 | 89.7  | 88.0  | 88.2 | 86.0 | 84.0 | 76.2 | 71.4 |
| El Pujal (Tanlajás)           | 68.5                       | 71.6 | 78.0 | 85.8 | 88.8 | 89.5  | 87.8  | 88.7 | 85.7 | 84.0 | 75.5 | 70.2 |
| El Tigre (Ciudad Valles)      | 66.8                       | 68.7 | 75.4 | 83.1 | 85.4 | 84.5  | 84.0  | 84.0 | 82.5 | 81.1 | 72.6 | 68.5 |
| Gallinas (Aquismón)           | 66.6                       | 69.0 | 75.0 | 82.7 | 85.8 | 85.6  | 84.3  | 84.4 | 82.1 | 80.3 | 72.4 | 68.1 |
| Las Adjuntas (Tamuín)         | 68.9                       | 71.4 | 77.4 | 84.9 | 88.6 | 88.5  | 87.3  | 87.9 | 86.2 | 84.7 | 76.2 | 71.0 |
| Micos (Cd. Valles)            | 65.7                       | 68.1 | 74.8 | 82.3 | 84.7 | 84.7  | 83.4  | 84.0 | 81.9 | 80.0 | 71.8 | 67.4 |
| Ojo de Agua (Alaquines)       | 59.2                       | 61.1 | 64.9 | 68.9 | 70.6 | 70.5  | 69.2  | 68.6 | 68.3 | 68.0 | 62.6 | 61.2 |
| Pedro Antonio de los Santos   | 67.0                       | 69.2 | 74.8 | 81.9 | 85.2 | 85.3  | 84.7  | 85.6 | 83.9 | 82.0 | 73.8 | 69.2 |
| Pedro Montoya (San Ciro)      | 60.2                       | 61.5 | 62.1 | 76.6 | 87.0 | 107.1 | 104.7 | 97.4 | 77.5 | 80.1 | 61.0 | 64.1 |
| Rayón                         | 63.1                       | 64.9 | 70.0 | 75.1 | 77.7 | 76.7  | 74.9  | 74.8 | 73.1 | 72.6 | 66.9 | 64.0 |
| Requetemu (Axtla de Terrazas) | 68.3                       | 70.9 | 77.2 | 85.5 | 88.6 | 89.0  | 87.5  | 87.9 | 86.0 | 84.0 | 75.5 | 71.0 |
| San Dieguito (Ciudad Valles)  | 65.6                       | 67.4 | 73.5 | 80.6 | 83.2 | 83.2  | 82.1  | 82.7 | 80.3 | 79.2 | 71.6 | 67.6 |
| Santa Cruz (Aquismón)         | 68.5                       | 70.7 | 76.8 | 84.0 | 87.2 | 87.1  | 86.6  | 87.0 | 85.3 | 83.8 | 75.5 | 70.4 |
| Santa Rosa (Ciudad Valles)    | 69.1                       | 72.4 | 78.2 | 86.0 | 89.5 | 90.0  | 88.7  | 89.2 | 86.9 | 85.1 | 76.6 | 71.6 |
| Tamapatz (Aquismón)           | 64.0                       | 64.7 | 70.3 | 75.3 | 77.9 | 77.3  | 76.6  | 76.5 | 75.3 | 74.6 | 68.0 | 66.8 |
| Tancalut (Tamasopo)           | 67.7                       | 70.5 | 76.6 | 84.0 | 86.5 | 85.6  | 84.3  | 84.7 | 81.4 | 80.9 | 73.8 | 69.4 |
| Tancuilin ((Tamazunchale)     | 67.4                       | 70.1 | 76.4 | 83.6 | 86.3 | 86.5  | 85.4  | 86.0 | 84.1 | 82.2 | 74.7 | 70.2 |
| Tanquián de Escobedo          | 67.6                       | 70.7 | 77.4 | 84.9 | 88.1 | 87.6  | 86.3  | 87.0 | 85.5 | 83.5 | 75.3 | 71.4 |
| Tantizohuche (Ciudad Valles)  | 68.7                       | 71.6 | 77.6 | 84.6 | 88.1 | 88.1  | 87.5  | 88.2 | 85.0 | 83.1 | 74.9 | 70.4 |
| Tanzanbaca (Tamasopo)         | 68.9                       | 71.0 | 77.4 | 85.3 | 88.6 | 87.8  | 86.1  | 86.3 | 84.1 | 82.6 | 75.1 | 70.8 |
| Temamatla (Tamazunchale)      | 66.6                       | 69.2 | 75.2 | 82.7 | 85.6 | 85.6  | 84.5  | 85.1 | 83.0 | 81.3 | 73.4 | 69.0 |
| Tierra Blanca (Tamazunchale)  | 67.4                       | 69.2 | 74.8 | 81.6 | 85.2 | 85.8  | 84.7  | 85.3 | 82.7 | 81.5 | 73.8 | 69.6 |
| Velasco (Tamuín)              | 70.2                       | 72.4 | 77.4 | 84.4 | 87.9 | 87.8  | 86.8  | 86.7 | 84.8 | 83.3 | 76.8 | 72.2 |
| Xilitla                       | 65.6                       | 67.4 | 72.8 | 78.6 | 81.2 | 80.7  | 80.4  | 80.3 | 79.1 | 78.8 | 70.9 | 67.7 |

### Cálculo del fotoperíodo

El fotoperíodo medio mensual calculado con la ecuación 4, para las latitudes que abarcan el estado de San Luis Potosí, se hizo a intervalos de 30' de latitud (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Fotoperíodo medio mensual para las latitudes que abarcan el estado de San Luis Potosí.**

| Latitud | fotoperíodo (h) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | ene             | feb   | mar   | abr   | may   | jun   | jul   | ago   | sep   | oct   | nov   | dic   |
| 24° 30' | 10.66           | 11.18 | 11.85 | 12.59 | 13.19 | 13.50 | 13.36 | 12.83 | 12.11 | 11.40 | 10.80 | 10.50 |
| 24° 00' | 10.68           | 11.19 | 11.85 | 12.59 | 13.18 | 13.48 | 13.34 | 12.82 | 12.11 | 11.41 | 10.82 | 10.52 |
| 23° 30' | 10.72           | 11.22 | 11.86 | 12.57 | 13.14 | 13.43 | 13.29 | 12.79 | 12.11 | 11.42 | 10.86 | 10.57 |
| 23° 00' | 10.74           | 11.23 | 11.86 | 12.56 | 13.13 | 13.41 | 13.27 | 12.78 | 12.11 | 11.43 | 10.87 | 10.59 |
| 22° 30' | 10.78           | 11.25 | 11.86 | 12.54 | 13.08 | 13.36 | 13.23 | 12.75 | 12.10 | 11.45 | 10.91 | 10.64 |
| 22° 00' | 10.80           | 11.27 | 11.86 | 12.53 | 13.07 | 13.34 | 13.21 | 12.74 | 12.10 | 11.46 | 10.93 | 10.66 |
| 21° 30' | 10.84           | 11.29 | 11.87 | 12.51 | 13.03 | 13.29 | 13.17 | 12.72 | 12.10 | 11.48 | 10.96 | 10.71 |

La variación del fotoperíodo en el estado de San Luis Potosí, entre la latitud más alta y la más baja es en el orden de 0.33 h y la variación entre el mes de más duración de luz y el de menor duración de luz fluctúa en el orden de 2.82 h.

### Representación gráfica del ITH, fotoperíodo y radiación solar

En las Figuras 2 a la 13 se presentan en forma gráfica la distribución mensual del Índice Temperatura-Humedad mensual estimado en las estaciones climatológicas en el estado de San Luis Potosí, así como también la radiación solar (langleys/día) y el fotoperíodo (h).

Una consideración que pueda ser importante, es la necesidad de inculcar una cultura del uso de la información climatológica en aplicación e interpretación, así como una mayor difusión de este tipo de información y ampliar la frecuencia de los informes del estado del tiempo.

En el Cuadro 8 se muestra la ubicación de razas de ganado bovino de importancia comercial, el valor máximo y mínimo del ITH por municipio en el estado de San Luis Potosí y los intervalos del ITH mencionados en el Cuadro 2, considerados de confort para el ganado.



Figura 2. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de enero en el estado de San Luis Potosí.



Figura 3. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de febrero en el estado de San Luis Potosí.

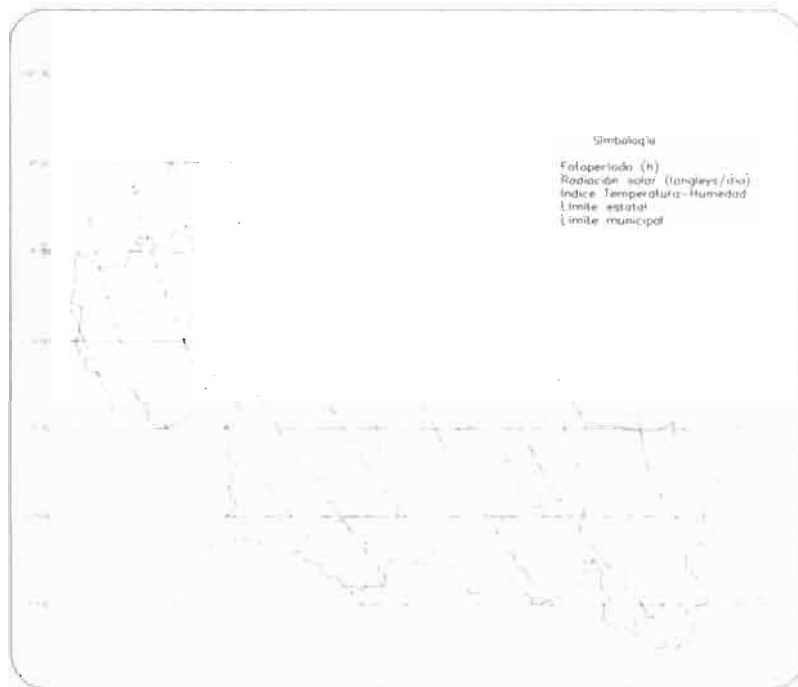


Figura 4. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de marzo en el estado de San Luis Potosí.

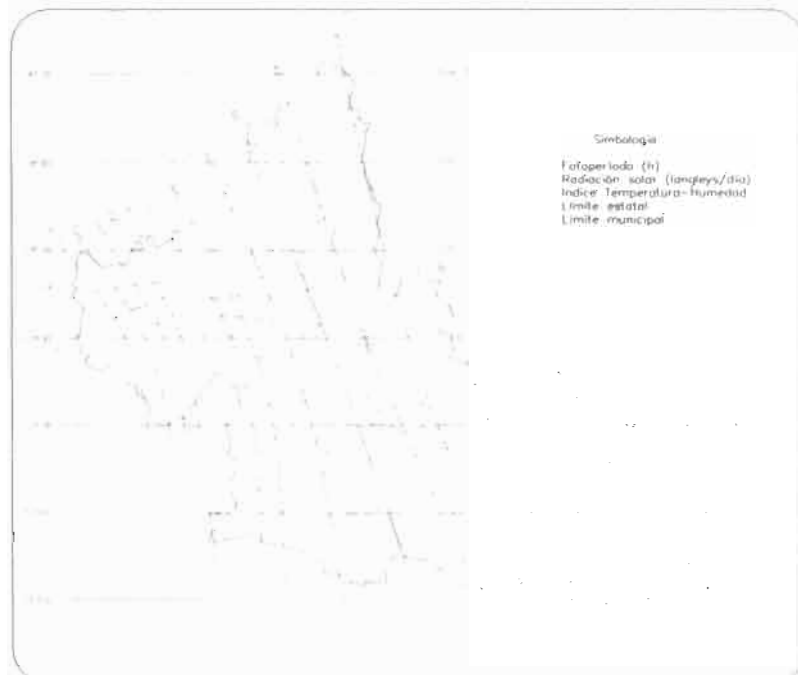


Figura 5. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de abril en el estado de San Luis Potosí.



Figura 6. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de mayo en el estado de San Luis Potosí.

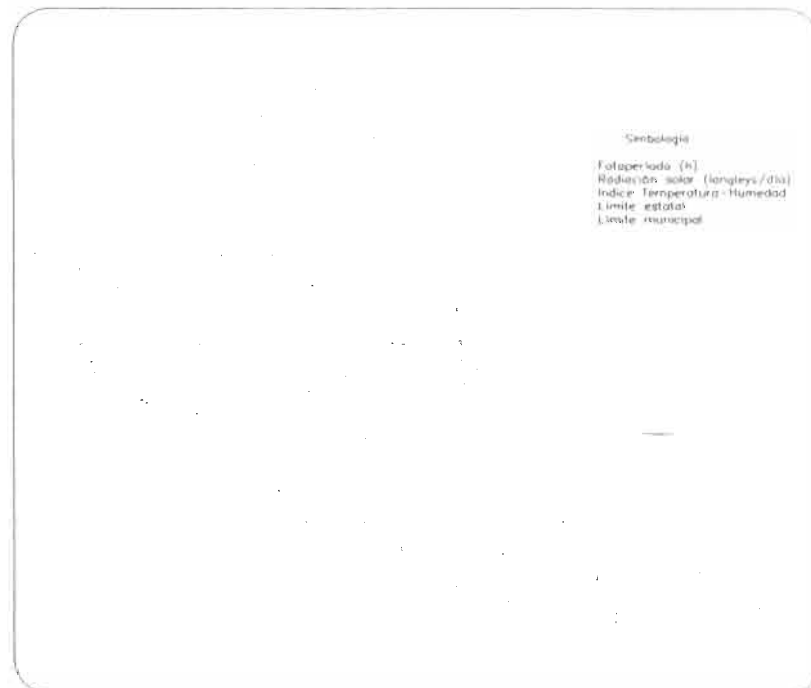


Figura 7. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de junio en el estado de San Luis Potosí.

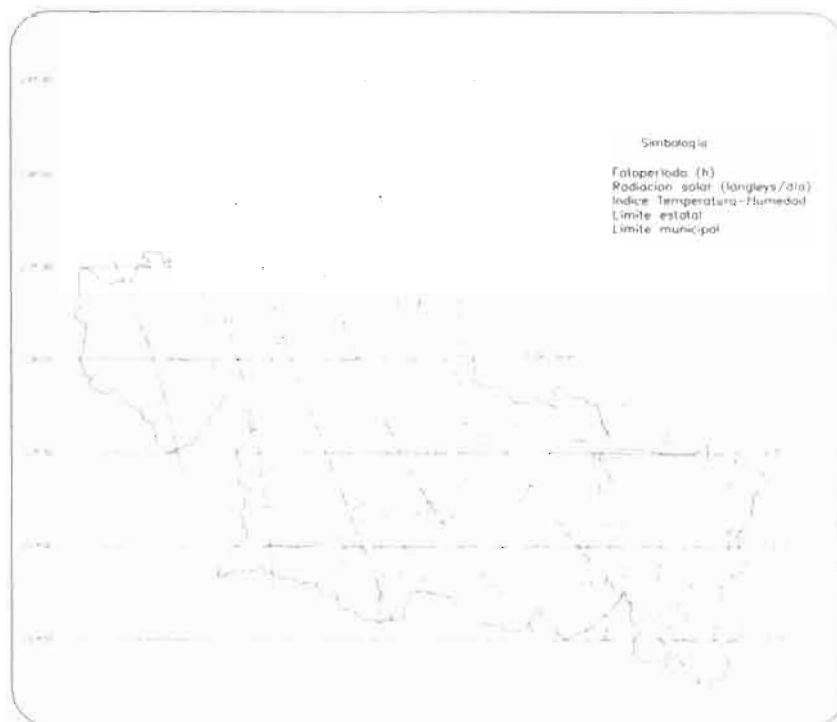


Figura 8. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de julio en el estado de San Luis Potosí.

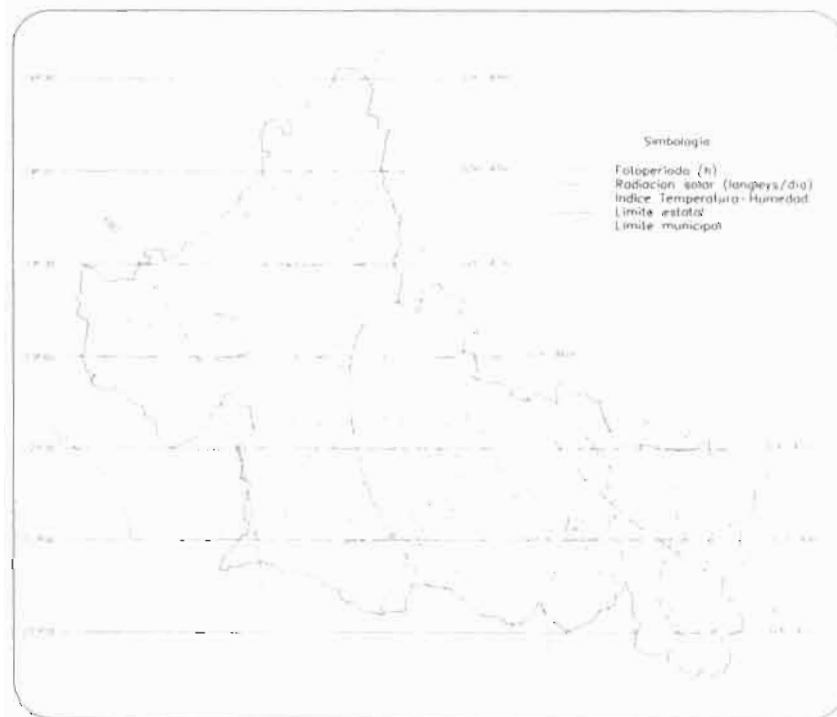


Figura 9. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperiodo para el mes de agosto en el estado de San Luis Potosí.

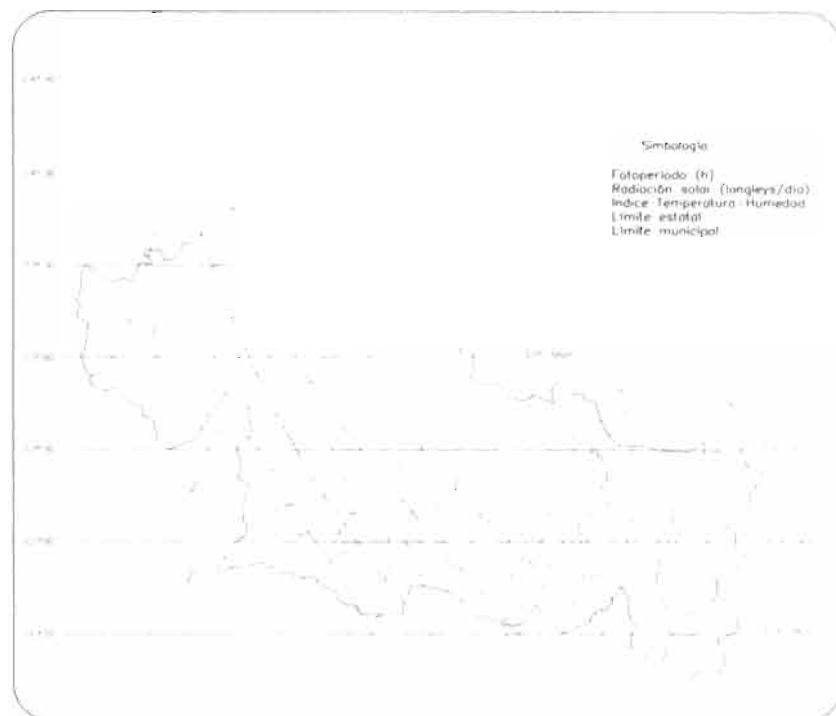


Figura 10. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de septiembre en el estado de San Luis Potosí.

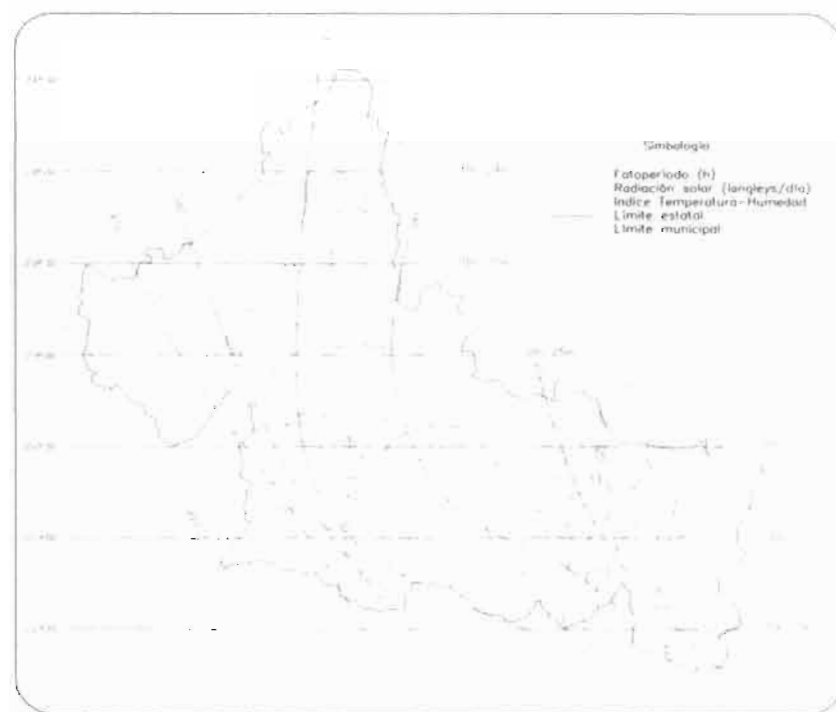


Figura 11. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de octubre en el estado de San Luis Potosí.



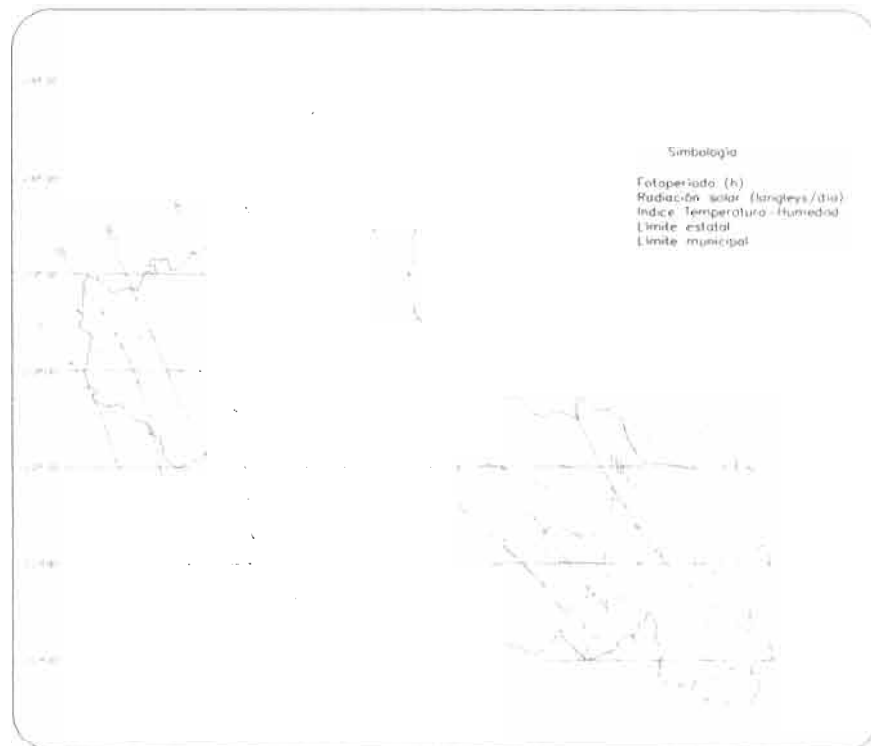


Figura 12. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de noviembre en el estado de San Luis Potosí.



Figura 13. Distribución del ITH, radiación solar y fotoperíodo para el mes de diciembre en el estado de San Luis Potosí.

**Cuadro 8. Distribución por municipio de razas de ganado bovino, valores extremos del ITH estimado e intervalos del ITH para tolerancia del confort climático.**

| Municipio                 | R a z a    |           |           |                 | ITHe*       | Intervalos de tolerancia** |
|---------------------------|------------|-----------|-----------|-----------------|-------------|----------------------------|
| Charcas                   | Beefmaster |           |           |                 | 58.1 a 74.9 | 55 a 72                    |
| Santo Domingo             | Beefmaster | Charolais | Herford   |                 | 60.5 a 72.8 | 55 a 72                    |
| Salinas de Hidalgo        | Beefmaster | Simental  | Angus     | Charoláis       | 53.8 a 65.1 | 55 a 72                    |
| Villa de Ramos            | Beefmaster | Simental  | Herford   | Charoláis       | 57.1 a 71.5 |                            |
| Villa de Arriaga          | Charoláis  | Angus     |           |                 | 56.5 a 69.9 |                            |
| Ciudad del Maíz           | Simental   | Simbra    |           |                 | 60.2 a 78.6 |                            |
| Rioverde                  | Simental   | Simbra    |           |                 | 62.9 a 79.8 | 55 a 72                    |
| San Luis Potosí           | Holstein   | Simbra    |           |                 | 60.5 a 74.2 | 55 a 72                    |
| Santa María del Río       | Holstein   | Jersey    | P. Suizo  | Angus           | 61.0 a 74.9 | 55 a 72                    |
| Soledad de Graciano S. R. | Holstein   |           |           |                 | 58.9 a 71.4 | 55 a 72                    |
| Villa de Reyes            | Holstein   | Jersey    |           |                 | 61.6 a 76.1 | 55 a 72                    |
| Ciudad Valles             | Brahman    | Suizo     | Americano |                 | 67.9 a 89.3 | 65 a 85                    |
| San Martín Chalchicuautla | Brahman    |           |           |                 | 67.0 a 85.6 | 65 a 85                    |
| Ebano                     | Brahman    | Simental  | Simbra    | Brahman x Suizo | 67.9 a 86.9 | 65 a 85                    |
| Tamuín                    | Brahman    | Simental  | Simbra    | Brahman x Suizo | 68.9 a 88.6 | 65 a 85                    |
| Axtla de Terrazas         | Brahman    |           |           |                 | 68.3 a 89.0 | 65 a 85                    |
| Tamazunchale              | Brahman    |           |           |                 | 67.4 a 86.5 | 65 a 85                    |
| Tanquián de Escobedo      | Brahman    | Simental  | Simbra    |                 | 67.6 a 88.1 |                            |

\*Valores tomados de los Cuadros 4, 5 y 6.

\*\* Con base en el ITH, para el confort climático del ganado, tomados del Cuadro 2

### Contraste de los valores estimados y esperados del ITH

Los valores extremos actuales del ITHe en el estado de San Luis Potosí y los valores extremos esperados de tolerancia del ITH para ganado bovino, se contrastaron por medio de una prueba de  $\chi^2$  y se encontró que para el ganado bovino productor de leche, la probabilidad de ocurrencia del mínimo actual contra el mínimo esperado es del 76.26 %. y la probabilidad de ocurrencia del máximo real contra el máximo esperado es del 99.54 %. Para el caso del ganado bovino productor de carne, la probabilidad de ocurrencia del mínimo actual contra el mínimo esperado es del 98.87 % y la probabilidad de ocurrencia del máximo actual contra el

máximo esperado es del 81.76 %. Por lo tanto, se considera que la distribución de las razas de ganado bovino productor de leche y las razas de ganado bovino productor de carne, se encuentran bien ubicadas en el estado de San Luis Potosí

El alto nivel de concordancia presentado, permitió tomar la decisión de delimitar regiones de confort climático para el posible desarrollo ganadero en producción de leche o en producción de carne. La delimitación de las regiones se basó en los mapas presentados en las figuras 2 a la 10, haciendo la consideración de las isolíneas coincidentes con los límites extremos de confort climático (Figuras 16 y 17).

### **Biodiagrama Para Identificar Períodos de Confort**

En las Figuras 14 y 15 se propone como alternativa un sistema cartesiano para la elaboración de polígonos que podrán servir para identificar períodos de confort de una localidad específica para diferentes razas de ganado bovino. La elaboración del polígono se realiza, localizando puntos de la temperatura contra el del Índice Temperatura-Humedad para cada mes, se unen todos los puntos formando un polígono, anotando en cada vértice el mes correspondiente.

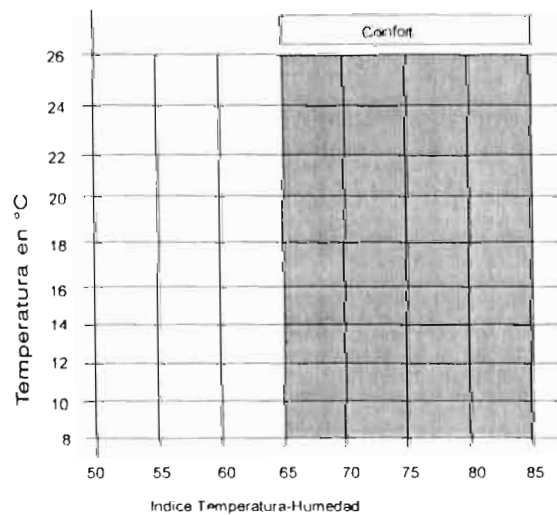


Figura 14. Biodiagrama para identificar períodos de confort en ganado bovino productor de carne.

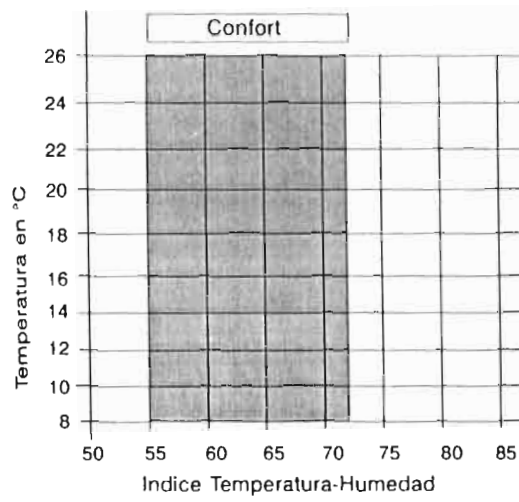


Figura 15. Bi-diagrama para identificar períodos de confort en ganado bovino productor de leche.

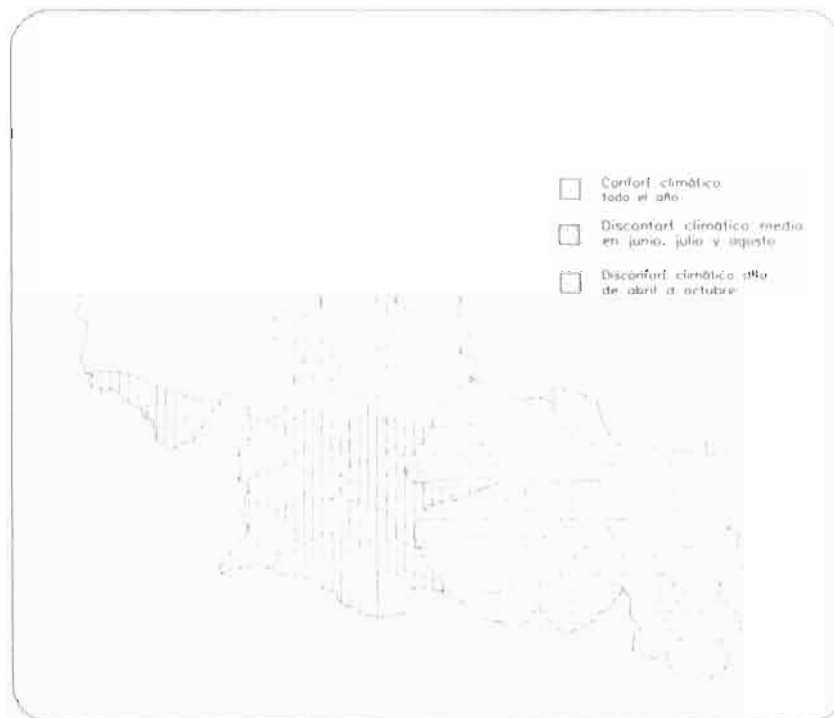


Figura 16. Características regionales de confort climático para ganado productor de leche en el estado de San Luis Potosí.

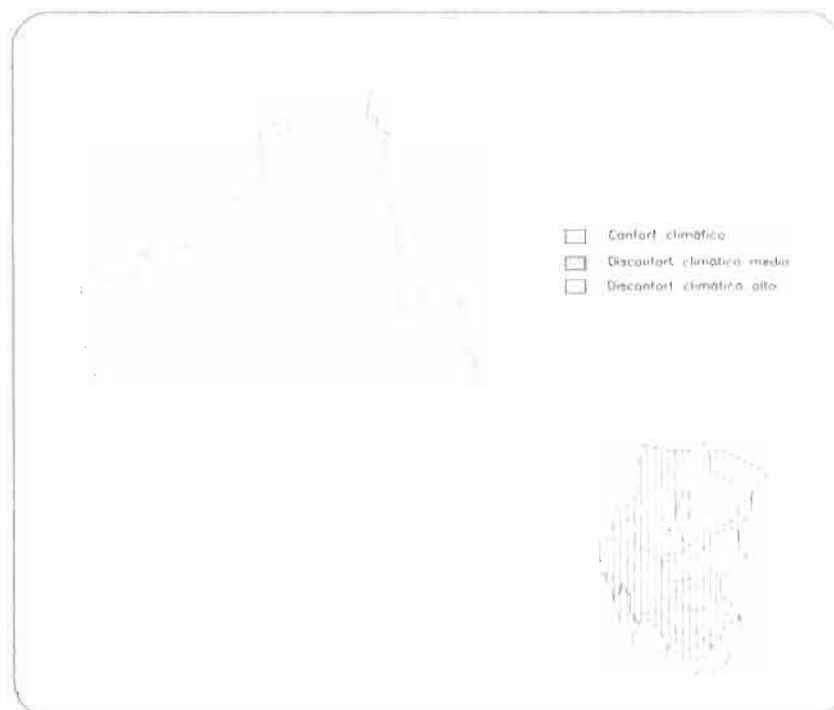


Figura 17. Características regionales de confort climático para ganado productor de carne en el estado de San Luis Potosí.

## CONCLUSIONES

La ecuación adaptada y utilizada para la estimación el Índice Temperatura-Humedad (ITHe) es confiable, solamente para el estado de San Luis Potosí, ya que los modelos de regresión lineal utilizados para la estimación de la temperatura bulbo húmedo fueron realizados con base en información de estaciones climatológicas del estado de San Luis Potosí.

La concordancia de los valores extremos reales de ITHe, contra los valores esperados (límites del confort climático) indican que el ganado bovino productor de carne y de leche localizado en los diferentes municipios del estado de San Luis Potosí se encuentra ubicado en un confort climático adecuado, aspecto que permitió regionalizar el estado de San Luis Potosí en zonas de confort climático.

El ITHe, la radiación solar incidente y la variación del fotoperíodo mensuales, en el estado de San Luis Potosí, se dibujaron de manera sobre puesta, de tal manera que puedan se utilizados para diferentes estudios ganaderos.

Los resultados expresados en el presente trabajo, proporcionan información climatológica aplicada a la ganadería, que pueda ser útil para la realización de estudios específicos o para proyectos en programas de desarrollo ganadero, por lo cual se sugiere ampliar a este tipo de estudios, encaminados a mejorar la producción ganadera, así como también la actualización, por lo menos cada diez años, dado que el clima es cambiante y esta información en ningún momento deberá considerarse como definitiva.

## LITERATURA CITADA

- Armstrong D.,V. 1994. Heat stress with shade and cooling. *Journal of Dairy Science* 77: 2044-2050.
- Campos A., D. F. 1985. *Agroclimatología Preliminar del Estado de San Luis Potosí*. CIEP, Facultad de Ingeniería de la U.A.S.L.P. México. 109 p.
- Campos A., D. F. 1993. Aplicación de la clasificación bioclimática UNESCO-FAO en el estado de San Luis Potosí. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Capítulo VI: Impacto Ambiental, Cocoyoc Morelos, México.
- Castle, M. E. y P. Watkins. 1988. *Producción Lechera Moderna*. Ed. Acribia, S.A., España. pp: 38-39.
- Fuentes Y., J. L. 1980. *Construcciones para la Agricultura*. Ed. Ministerio de Agricultura, España. pp: 186-192.
- Fuquay, J. W. 1981. Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*. 52: 164-173.
- Gwazdauskas, F. C. 1984. Effects climate on reproduction in cattle. *Journal of Dairy Science*. 68: 1568-1578.
- Gwazadauskas, F. C., J. A. Lineweaver and W. E. Vinson. 1980. Rates of conception by artificial insemination of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 66: 1510-1516.
- Griffiths, J. F. 1985. *Climatología Aplicada*. Capítulo 13. Publicaciones Culturales. México. pp: 87-90.
- Hahn G., L. 1981. Housing and management to reduce climatic impacts on livestock. *Journal of Animal Science* 52: 175-186.
- Hahn G., L. and D. D. Osburn. 1969. Feasibility of summer environmental control for dairy cattle based on expected production losses. *Journal of Animal Science* 12: 148-159.
- Hafez E., S. E. y I. A. Dyer. 1972. *Desarrollo y Nutrición Animal*. Capítulo 4. Ed. Acribia, España. pp: 105-132.
- INEGI. 1985. *Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí*.
- Kelly, C.F and T. E. Bond. 1971. A guide to environmental research on animals. In: *Bioclimatic Factors and Their Measurement*. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 42 p

Lascelles, Lindsay, Ryan y Shelton. 1985. Producciones Ganaderas-Biológica de los Animales. Ed. Aedos. Barcelona, España.

Lee D., H. K. 1988. El Clima y el Desarrollo Económico en los Trópicos. Manuales. Ed. UTEHA. México. pp: 120-135.

Lee D., H. K. 1967. Biometeorolgy, Proceeding of the Twenty-Eigth Annual Biology Colloquium. April 28-29. Oregon State University Press.

McDowell, R., E. 1974. Bases Biológicas de la Producción Animal en Zonas Tropicales, Capítulo 1, 2, 3. Ed. Acribia. España. pp: 13 -169

Mellado, M. 1995. Respuesta fisiológica, producción de leche, eficiencia reproductiva y salud del ganado lechero expuesto a temperaturas elevadas. Veterinaria México 26: 389-394.

Morrison, S. R. 1983. Ruminant Het Stress: Efect on production and means of alleviation. Journal of Animal Science 57: 1594 -1599.

Papadakis, J. 1980. El clima. Ed. Albatros. Buenos Aires, Argentina. pp 8-15

Preston, T. R y M. B. Willis, 1974. Producción Intensiva de Carne. Ed. Diana. México. pp: 229 230, 318 -319, 495 - 499.

Robertshaw, D. 1987. Proceedings, Grazing Livestock Nutrition Conference. Heat Stress. July 23-24. Colorado State University. pp: 657 -695.

Shearer, J.K. y D.R. Bray 1995. Manteniendo la salud de la ubre y la calidad de la leche durante períodos calurosos. Hoard's Dairyman. México. 6: 657 -695.

Shell, T.M., R.J. Early, J.R. Carpenter, D.L. Vincent, and B.A. Buckley. 1995. Prepartum nutrition and solar radiation in beef cattle. Journal of Animal Science 73: 1289-1302.

Sutton, D. B. 1995. Fundamentos de Ecología. Ed. Limusa. México. pp: 31-41

Stott, G. H. 1981. What is animal stress and how is it measured?. Journal of Animal Science. 52: 150-153.

Thacher, W.W., F. Moreira, J.D. Ambrose, C.A. Risco, and R.L. de la Sota. 1997. III Ciclo de Conferencias Internacionales sobre Nutrición y Manejo. La relación nutrición reproducción y su importancia en la producción de leche. Ed. del Grupo LALA. pp: 22 - 47.

Torres R., E. 1980. Agrometeorología. Ed. Diana. México. pp: 16-27.



Vieira de SÁ, F. 1965. Lechería Tropical, Ed. UTEHA. México. pp: 35-36.

Webster A., J. F. 1983. Environmental stress and the physiology, performance and health of ruminants. *Journal of Animal Science* 57: 1584-1593.

Wiesner, C. J. 1970. *Hydrometeorology*. Ed. Chapman and Hall LTD. London, England.

Wieder, R. 1995. El calor y el ganado. *Carta Ganadera*. febrero. México, D. F. pp 25-32

Young, B. A. 1980. Cold stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52: 154:163.

Young, B. A. 1983. Ruminant cold stress effect on production. *Journal of Animal Science* 57: 1601-1607.



•

6



•

•

•