

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES



**VARIABILIDAD CLIMATICA EN LAS REGIONES NORTE, CENTRAL Y
CARIBE Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES PRODUCTIVAS EN FINCAS
LECHERAS COSTARRICENSES**

Juan Ismael Ruiz Jaramillo

Heredia, Noviembre 2017

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magister Scientiae* en Producción Animal Sostenible.

**VARIABILIDAD CLIMATICA EN LAS REGIONES NORTE, CENTRAL Y
CARIBE Y SU ASOCIACIÓN CON VARIABLES PRODUCTIVAS EN FINCAS
LECHERAS COSTARRICENSES**

Juan Ismael Ruiz Jaramillo

Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado Regional en
Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magister Scientiae* en
Producción Animal Sostenible

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

José Rodríguez Zelaya, Ph.D.

Presidente Consejo Central de Postgrado

.....

Sandra Estrada König, MSc.

Directora PCVET

.....

Bernardo Vargas Leitón, Ph.D.

Tutor

.....

Hugo Hidalgo León, Ph.D.

Asesor

.....

Sergio Abarca Monge, MSc.

Asesor

.....

Juan Ismael Ruiz Jaramillo

Sustentante

RESUMEN GENERAL

Esta investigación se realizó con el objetivo de cuantificar la variabilidad climática para tres zonas de importancia agropecuaria de Costa Rica y su posible asociación con variables productivas y reproductivas en los hatos lecheros.

En un primer estudio se utilizaron Modelos Lineales Mixtos Generalizados (GLMM) para el análisis de la series mensuales de datos provenientes de 33 estaciones meteorológicas (periodo 1985 a 2015), ubicadas en las regiones climáticas Norte (n=8), Central (n=9) y Atlántica (n=16). Las variables analizadas fueron: precipitación (PRE), humedad relativa (HR), temperatura (TMAX, TMIN, TPROM), radiación solar (RS) e índice de temperatura y humedad (ITH/ generada). El modelo incluyó efectos fijos de Región, Mes, Año, ENOS, Región×Mes, Región×Año y Región×ENOS; así como los efectos aleatorios de variación *dentro* y *entre* estaciones. Las Regiones Atlántica y Norte presentaron comportamiento similar en las variables TMIN, TP, TMAX, ITH, RS y PRE, no así en la variable HR. La Región Central presentó menores temperaturas, HR, PRE e ITH, pero mayor RS que las Región Norte y Atlántica. Los factores que presentaron efecto significativo sobre todas las variables fueron Mes, Año, Región y ENOS. La interacción Región×Mes también fue significativa para todas las variables. La interacción Región×Año fue significativa para TMIN y PRE, mientras que Región×ENOS fue significativa para TMAX y PRE. Las tendencias intermensuales fueron bastante homogéneas, obedeciendo a patrones estacionales marcados, principalmente para las variables de Temperatura, ITH, Precipitación y RS. Las tendencias interanuales fueron muy heterogéneas y afectadas parcialmente por la ocurrencia del efecto ENOS.

Se realizó un segundo estudio con el objetivo de evaluar la asociación entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y las variables producción diaria de leche (KGL) e Intervalo Parto Concepción (IPC) en hatos lecheros de las regiones climáticas Norte y Central de Costa Rica (1990-2015). Las variables KGL e IPC fueron analizadas mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLMM) que consideró los efectos fijos de Raza, Año, Número de Parto, ENOS, ITH y Raza×ITH. Para KGL se incluyeron además los efectos de Etapa de Lactancia y Raza×Etapa de Lactancia. Todos los factores presentaron efecto altamente significativo ($P < 0,0001$) sobre KGL e IPC. Se observó un descenso escalonado en KGL desde 17 hasta 11 kg

asociado a incrementos de ITH desde 63 hasta 77. El patrón escalonado se relacionó con las regiones climáticas. Los grupos raciales Holstein, Holstein×Jersey y Holstein×Pardo Suizo mostraron un descenso más marcado, mientras que Pardo Suizo, Jersey, y Pardo Suizo×Jersey mostraron un descenso menos marcado, pero con menores volúmenes de producción. Se observó un aumento escalonado en IPC desde 105 hasta 125 d asociado a incrementos de ITH desde 64 hasta 77. Las razas Pardo Suizo y Jersey, así como los cruces Holstein×Pardo Suizo, Jersey×Pardo Suizo y Holstein×Jersey, mostraron una elevación progresiva en el IPC conforme aumenta el ITH, mientras que la raza Holstein presentó un aumento escalonado en IPC a partir de ITH=70. Estos resultados confirman el efecto adverso de ITH sobre la producción y el intervalo parto concepción.

Palabras Claves: Tendencias climáticas, ITH, ganado lechero.

GENERAL ABSTRACT

This research was carried out with the objective of quantifying climatic variability for three zones of agricultural importance in Costa Rica and its possible association with productive and reproductive variables in dairy farms.

In a first study, Generalized Linear Mixed Models (GLMM) were used to analyze monthly series of data from 33 meteorological stations (period 1985-2015), located in North (NR/n=8), Central (CR/n=9) and Atlantic (AR/n=16) climatic regions. The variables analyzed were: precipitation (PRE), relative humidity (RH), temperature (TMAX, TMIN, TAVG), solar radiation (SR) and temperature and humidity index (THI / generated). The model included fixed effects of Region, Month, Year, ENSO, Region×Month, Region× Year and Region×ENSO; and the random effects of variation *within* and *between* stations. The availability of information, as a proportion from the total number of months (n=372) within the period fluctuated widely, from 18% (RS) to 73% (PRE). North and Atlantic Regions showed similar behavior in the variables TMIN, TAVG, TMAX, THI, SR and PRE, but differed for Relative Humidity. The Central Region showed lower Temperatures, RH, PRE and THI than the other two regions, but higher SR. Factors with significant effect on all variables were Month, Year, Region and ENSO. Month×Region interaction was also significant for all variables. The interaction Region×Year was significant for TMIN and PRE, whereas Region×ENSO was significant for TMAX and PRE. Monthly variation was fairly homogeneous, obeying mostly to seasonal patterns, primarily for variables Temperatures, THI, PRE and SR. Interannual trends were very heterogeneous and partially affected by the occurrence of ENSO effect.

A second study was carried out with the objective of evaluating the association between Temperature and Humidity Index (THI) and variables daily milk production (KGL) and Calving to Conception Interval (CCI) in dairy herds of the northern and central climatic regions of Costa Rica (1990-2015). THI values for the locations of herds under study during the period under analysis were obtained by Kriging interpolation performed on climatic data series from 33 meteorological stations. The variables KGL and CCI were analyzed using a GLMM model that considered the fixed effects of Race, Year, Calving Number, ENOS, THI and Race × ITH. For KGL, the effects of Stage of Lactation and Race×Lactation Stage were also included. All factors

had a highly significant effect ($P < 0.0001$) on KGL and CCI. A stepwise decrease was observed in KGL, from 17 to 11 kg, associated with increases in THI from 63 to 77. The stepwise pattern was related to the climatic regions. The Holstein, Holstein×Jersey and Holstein× Brown Swiss racial groups showed a more marked decline, while Brown Swiss, Jersey, and Brown Swiss×Jersey showed a less marked decrease, but with lower production volumes. There was a stepwise increase in CCI from 105 to 125 d associated with increases in THI from 64 to 77. The Brown Swiss and Jersey races, as well as the Holstein×Brown Swiss, Jersey×Brown Swiss and Holstein×Jersey races showed a progressive increase in the CCI as the THI increases, whereas the Holstein breed showed a stepwise increase in CCI from THI= 70. These results confirm the adverse effect of high THI on dairy milk yield and calving to conception interval.

Keywords: climatic trends, THI, dairy cattle.

AGRADECIMIENTO

“Se agradece siempre la mano que te tienden para cruzar un charco, nunca se sabe lo profundo que puede llegar a ser.” Anónimo.

Tengo tantas personas a las que agradecer, que es difícil encontrar algún orden sin desmeritar de una u otra manera la ayuda brindada. Pero le agradezco, principalmente, a Kendra Jaramillo, por haber sido el soporte que me permitió alcanzar esta nueva meta. También, a mis padres: Eyda Jaramillo y Jaime Ruiz, que con grandes esfuerzos me ayudaron a avanzar; a mi sobrina, Jaimeris, que me diste la sonrisa y un porqué volver a casa; a mi abuela, Gardenia, que siempre está allí y con la que se puede contar en cualquier momento. Y a mis demás familiares por darme sus buenos deseos.

Les agradezco a mis amigos y compañeros de clase: Aníbal Sánchez, Marvin Jaroth Solano, Héctor Parajón, Osmin Linarte y Jorge Jiménez, con los cuales he acumulado un sinfín de anécdotas inolvidables. También, le agradezco a María Arias, Secretaria del Posgrado, que siempre tuvo la disposición de ayudar.

Se le agradece, a los miembros de comité de tesis: al Dr. Bernardo Vargas, al Dr. Hugo Hidalgo y MSc. Sergio Abarca, que con sus consejos y recomendaciones pude sacar este trabajo adelante. Y a todas las personas que de una u otra manera me ayudaron y apoyaron, ¡Gracias!

Juan I Ruiz J.

DEDICATORIA

El Karma es el juez de nuestros actos, es la energía trascendente e invisible que se deriva de nuestros comportamientos y que va acumulando consecuencias y pagos conforme a ellos. El Karma, simplemente nos dice, que: las fuerzas que pusimos en movimiento hace diez minutos o hace diez vidas volverán a nosotros. Así que, recuerda:

“Lo que te niegas a aceptar, te va a seguir ocurriendo”

“Donde quiera que vayas, siempre estarás tú”

“Lo que nos rodea nos refleja y reflejamos lo que nos rodea”

“Cada paso lleva al siguiente paso; y así, sucesivamente”

“No se puede pensar en dos cosas al mismo tiempo”

“Si tú crees que algo es verdad, entonces, en algún momento de tu vida serás llamado a demostrar que es verdad”

“El aquí, y el ahora”

“La historia se repite hasta que aprendamos las lecciones necesarias para cambiar nuestro camino”

“Todas las recompensas requieren de un esfuerzo inicial”

“Cada contribución personal es también una contribución a la totalidad. Pon todo tu corazón en cada acto para que obtenga el valor necesario.”

E.M.J.S.

J.R.M.

K.G.J.S.

J.M.R.H.

G.S.

J.I.R.J.

y D.V.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<u>Pág.</u>
RESUMEN GENERAL.....	IV
GENERAL ABSTRACT.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VIII
DEDICATORIA.....	IX
LISTA DE CUADROS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE ANEXOS.....	XVI
LISTA DE ABREVIACIONES.....	XVII
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I. CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LAS REGIONES NORTE, CENTRAL Y ATLÁNTICA DE COSTA RICA DURANTE EL PERIODO 1985-2015.....	24
RESUMEN.....	25
ABSTRACT.....	26
INTRODUCCIÓN.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
Fuentes de información.....	29
Análisis estadístico descriptivo.....	30
Análisis estadístico por Modelos Lineales Mixtos Generalizados.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
Disponibilidad de información.....	34
Resultados generales de modelo GLIMMIX.....	37
Temperaturas.....	41
Precipitación.....	46

Humedad Relativa.....	49
ITH.....	51
Radiación Solar.....	54
CONCLUSIONES.....	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
CAPÍTULO II. EFECTO DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA - HUMEDAD (ITH) SOBRE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA DE HATOS LECHEROS EN LAS REGIONES NORTE Y CENTRAL DE COSTA RICA.....	64
RESUMEN.....	65
ABSTRACT.....	66
INTRODUCCIÓN.....	67
MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
Fuentes de información.....	69
Análisis estadístico descriptivo.....	70
Interpolación de datos climáticos.....	70
Análisis de Asociación.....	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
Selección de Hatos.....	74
Predicción Dinámica de ITH en las Locaciones de los Hatos.....	75
Producción de Leche Diaria.....	79
Intervalo de Parto-Concepción.....	83
CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
CONCLUSIONES GENERALES.....	94
RECOMENDACIONES GENERALES.....	95
ANEXOS.....	97

LISTA DE CUADROS

<u>CUADRO</u>	<u>Título</u>	<u>Pág.</u>
CAPITULO I.		
CUADRO 1.	Localización por región de las estaciones meteorológicas.....	31
CUADRO 2.	Cantidad de datos (n), distribución asumida, Ajuste y Valores de significancia (P) para efectos fijos obtenidos a partir del Modelo Mixto de Regresión (GLMM) utilizado para el análisis de las variables climáticas.....	38
CUADRO 3.	Medias Marginales (\pm D.E) de Temperatura promedio ($^{\circ}$ C) según región para distintas fases del evento ENOS.....	45
CUADRO 4.	Medias Marginales (\pm D.E) de pluviosidad (mm/mes) según región para distintas fases del evento ENOS.....	48
CAPITULO II.		
CUADRO 1.	Promedios, desviaciones estándares, mínimos y máximos de valores residuales predichos, estimados lineales y valores predichos de ITH (n= 48 892).....	76

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>Título</u>	<u>Pág</u>
CAPITULO I.		
FIGURA 1.	Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	30
FIGURA 2.	Cantidad de registros mensuales disponibles según estación y variable dentro de región vs. Máximo posible.....	36
FIGURA 3.	Número de meses clasificados según categoría de evento ENOS (Niño, Niña, Normal) dentro de cada año calendario, para el periodo 1985-2015.....	40
FIGURA 4.	Valor relativo de los componentes de varianza para efectos aleatorios entre estaciones, dentro de estaciones y residual, según variable analizada.....	40
FIGURA 5.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para las variables de Temperatura Máxima (TMAX, panel superior), Promedio (TP, centro) y Mínima (TMIN, panel inferior) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre la región climática (RA: Atlántica, RC: Central, RN: Norte).....	42
FIGURA 6.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para las variables de Temperatura Máxima (TMAX, panel superior), Promedio (TP, centro) y Mínima (TMIN, panel inferior) en función de los años (1985-2015) región climática (RA: Atlántica, RC: Central, RN: Norte).....	44
FIGURA 7.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable precipitación (PRE) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	47
FIGURA 8.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable precipitación en función de los años (1985-2015) y la región climática.....	47
FIGURA 9.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Humedad Relativa (HR) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	50

FIGURA 10.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Humedad Relativa (HR) en función de los años (1985-2015) y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	50
FIGURA 11.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	53
FIGURA 12.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en función de los años y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	53
FIGURA 13.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Radiación Solar (RS) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	55
FIGURA 14.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Radiación Solar (Rad Sol) en función de los años y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).....	55
CAPITULO II.		
FIGURA 1.	Ubicación de los hatos seleccionados (puntos) y las estaciones meteorológicas (Banderas) utilizadas en el presente estudio...	74
FIGURA 2.	Parámetros, criterios de ajuste (SCE, AIC) y curva estimada del modelo (Power- Sine Hole Effect) a los valores observados (círculos) de semivarianza de residuales para la variable ITH.	75
FIGURA 3.	Valores predichos de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en las coordenadas geográficas (X=Longitud, Y=Latitud) de 226 hatos contemporáneos al mes de Enero, año 2015.....	77
FIGURA 4.	Valores predichos de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) según mes (Enero a Diciembre) y año calendario (1995, 2000, 2005, 2010 y 2015) para el hato con locación (Lat=10,115 y Long= -84,086).....	78
FIGURA 5.	Medias Marginales (con IC95%) para las variable Producción diaria de leche (KGL) en función del ITH.....	81
FIGURA 6.	Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la	

	variable Producción diaria de leche (KGL) en función del ITH según grupo racial.....	81
FIGURA 7.	Medias Marginales (con IC95%) para la variable IPC en función de ITH.....	85
FIGURA 8.	Medias Marginales para la variable IPC en función de ITH y grupo racial.....	85

LISTA DE ANEXOS

<u>ANEXO</u>	<u>Título</u>	<u>Pág.</u>
ANEXOS 1.	Instructivo para los autores. Revista Agronomía Mesoamericana.....	97

LISTA DE ABREVIACIONES

CC: Cambio Climático.

ENOS: El Niño/Oscilación del Sur.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación.

GEI: Gases de Efectos Invernadero.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IPCC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

MSNM: Metro sobre el Nivel del Mar.

NAO: Oscilación del Atlántico Norte.

OMA: Oscilación Multidecadal del Atlántico.

OMM: Organización Meteorológica Mundial.

PDO: Oscilación Decadal del Pacífico.

VC: Variabilidad Climática

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.0. Justificación

La Variabilidad Climática (VC) está ocasionado grandes daños a las actividades agropecuarias debido a la pérdida de cosechas y animales por efecto de plagas, sequías e inundaciones (Barrantes et al., 2006; Ríos e Ibrahim, 2008). La VC también causa problemas a la salud humana y dificulta el acceso al agua. En el 2010, en Costa Rica, las pérdidas por fenómenos hidrometeorológicos se cuantificaron en 1161 millones de dólares, equivalentes al 63,7% en el PIB (Región Atlántica, Central y Norte, entre otras). El exceso de precipitación es causante de pérdidas por 1 053 millones de dólares, equivalentes al 57,8 % del PIB, mientras que los eventos de sequía participaron, en términos absolutos, con 107,5 millones de dólares en pérdidas, equivalentes al 5,9% del PIB (MAG, 2011).

Para el año 2015, las pérdidas causadas por fuertes lluvias tan solo en el Atlántico, se estimaron preliminarmente en 13,6 millones de dólares, solo en daños a la red vial, lo cual afecta no solamente el acceso a los servicios básicos de los habitantes, sino a la producción agropecuaria de la región (Bravo, 2015).

Las regiones agro-productoras de Costa Rica están expuesta al paso de eventos hidrometeorológicos extremos debido a su posición geográfica (Ríos e Ibrahim, 2008), lo cual puede provocar un superávit de recurso hídrico de hasta un 40% con respecto a lo normal en la Región Atlántica (Retana, 2000), a altas temperaturas y sequías en la Región Norte, y frentes fríos que afectan el Valle Central y parte de la Región Norte (MAG, 2011). Este exceso o escasez de la lluvia es un factor que hace más vulnerable a los sistemas de producción agropecuarios; ya que la mayor parte de los productores del sector agropecuario son de bajos recursos y tienen menores posibilidades de adaptarse a períodos de sequías más largos, a regímenes de lluvias más intensas, o a un mayor estrés térmico (Giger y Hoeggel, 2011).

Ginger y Hoeggel (2011) han pronosticado que la variabilidad en recurso hídrico causada por el Cambio Climático (CC) tendrá un severo impacto sobre el sector primario, especialmente en zonas tropicales y subtropicales, y que los países en desarrollo serán los más afectados. Debido a esto, el clima debe ser entendido desde una nueva perspectiva de

calentamiento global, y a las acciones de adaptación que se deben emprender (Retana, 2012). En Centroamérica, el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C por década desde el año 1900, mientras que las noches y días fríos han disminuido -2,2% a -2,4% promedio anual. Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que, aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación, sí se ha observado una intensificación de las mismas, es decir, ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto (Corrales, 2010).

El presente estudio pretende cuantificar la variabilidad climática de los últimos 30 años para tres zonas de importancia agropecuaria de Costa Rica y su posible asociación con variables productivas de hatos lecheros. Este estudio puede servir de base para el desarrollo de nuevas metodologías o alternativas de desarrollo en el campo agro-productivo, tales como: variedades de pastos resistentes a sequía o encharcamiento, mejores métodos de riego, también para la escogencia de las razas lecheras con mejor respuesta elástica a los embates de clima y nuevos calendarios productivos, entre otras, ya que no existen estudios iguales en el país.

2.0. Clima.

Según el IPCC (2007), el clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años.

El clima de la tierra está influido por un flujo continuo de energía procedente del sol, que llega principalmente en forma de luz visible. Cerca del 30% de esta luz se dispersa inmediatamente y vuelve al espacio, mientras que la mayor parte del 70% restante, atraviesa la atmósfera para calentar la superficie de la tierra (Altamirano, 2012). Esto causa intrincadas interrelaciones planeta-sol, las que casi siempre son medidas por variables de magnitud de superficie, como lo son la temperatura, la precipitación o el viento (Argeñal, 2010).

Existen innumerables variables climáticas, que determinan los diferentes climas del mundo o de las regiones, interactuando entre ellas o trabajando de manera independiente. Entre ellas tenemos la temperatura, la precipitación, el viento, intensidad de luz, fotoperiodo, nubosidad, humedad, entre otras (IMN, 2008).

2.1. Variabilidad Climática vs. Cambio Climático

El concepto de variabilidad climática (VC) se relaciona con las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático, denominadas “variabilidad interna”, o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico, denominadas “variabilidad externa” (Corrales, 2010; Argueñal, 2010; Altamirano, 2012). Esto involucra oscilaciones y eventos inconstantes con los valores medios registrados en períodos no menores a los 30 años, pero que no suponen una reorientación del clima tan brusca como lo supone el Cambio Climático (CC) (Gómez et al., 2011).

El concepto de VC se confunde con frecuencia con el de CC, siendo que existen puntos de encuentro y disyunción entre ambos. En primer lugar, ambos conceptos se empatan cuando la Variabilidad Climática es tal, que alcanza significativos cambios en los valores medios estadísticos, sin que se muestre un regreso claro a las condiciones climáticas normales. En estas condiciones, el análisis de VC coincide con el análisis del CC en el sentido de que, el primer concepto está llevando a consecuencia el segundo (Gómez et al., 2011).

Según Quintero et al. (2012), el CC se refiere a la modificación del clima a grandes escalas de tiempo, usualmente décadas, y en relación a períodos históricos comparables, debido a causas naturales, externas o internas de la tierra, o antrópicas, y con ocurrencias en el pasado geológico. Los cambios climáticos son por sí mismos una condición natural del planeta, con una historia de factores naturales que han alterado la composición y dinámica de la atmósfera provocando descensos y aumentos globales en la temperatura. Prueba de ello, son los períodos fríos conocidos como glaciaciones, alternados con períodos

interglaciares. El CC actual, sin embargo, se diferencia de los fenómenos naturales, en el sentido de que está asociado a la influencia de las actividades humanas sobre las condiciones del sistema climático, provocando intensos cambios en la variabilidad del clima (Gómez et al., 2011).

La VC puede suceder en períodos interanuales, es decir, un año puede mostrar ciertas características climáticas típicas y el año siguiente puede mostrar algunos eventos o variables que sobrepasan o son deficitarias respecto a las estadísticas medias. Sin embargo, en el tercer año se pueden restablecerse las condiciones climáticas típicas y devolverle la estabilidad al clima analizado (Gómez et al., 2011). Por ejemplo, la alta variabilidad de la lluvia tropical está explicada entonces por múltiples procesos que interactúan entre sí y se manifiestan en diferentes escalas espacio-temporales, como por ejemplo la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO por sus siglas en inglés), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés), las cuales forman parte de la variabilidad natural del clima. A una escala interanual, el principal modulador de la variabilidad climática es el ENOS (El Niño/Oscilación del Sur), en sus dos fases, el Niño (fase cálida) y la Niña (fase fría) (Yepes, 2012).

Indudablemente ambos eventos, VC y CC, están sujetos en la actualidad a un mismo agente modificador, como es el calentamiento global, provocando la alteración de la dinámica de la retención de calor y modificando las corrientes atmosféricas y marinas (Argueñal, 2010). Los gases con mayor potencial de efecto invernadero son el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y los gases-F (hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre).

2.2. Causas de la Variabilidad Climática/ ENOS.

El clima de la región centroamericana es moldeado por una serie de manifestaciones atmosféricas principales como: las ondas provenientes del este, los frentes fríos, las oscilaciones de la zona de convergencia intertropical, el tránsito de ciclones tropicales en el Océano Atlántico y el Mar Caribe y los sistemas ciclónicos que viajan paralelos al istmo y México a lo largo del Océano Pacífico. Cuando estas condiciones se acoplan con otras

condiciones atmosféricas de otra escala de tiempo y espacio surgen los eventos climáticos extremos tales como las fuertes lluvias, inundaciones, deslizamientos de tierra y las sequías (Corrales, 2010).

El concepto de eventos extremos desde el punto de vista social, económico, y climático tiene muchas y variadas definiciones. Normalmente, años lluviosos y de temperaturas extremas indican la presencia de eventos atmosféricos que han impactado al país en el curso de semanas o días. Para Costa Rica, un evento climático extremo representa, en promedio, un aumento de un 29% o una disminución de un 24% del total anual de la lluvia (IMN, 2008). De tal manera, los eventos climáticos extremos no son una excepción, sino que son bastantes recurrentes. El evento de mayor importancia es el ENOS, seguido por los frentes fríos, sistemas de bajas presiones y los huracanes (Corrales, 2010).

La fase cálida de ENOS, conocida como El Niño, consiste en la migración de corrientes marinas anormalmente cálidas del Pacífico Tropical Oeste hacia el Pacífico Tropical Este, con un simultáneo aumento de la presión atmosférica en el oeste y una disminución en el este (Retana et al., 2011). Lo contrario ocurre en eventos fríos conocidos como La Niña, que ocurre cuando los vientos alisios soplan con mayor intensidad que lo habitual, reforzando el apilamiento de aguas cálidas en Indonesia y el surgimiento de aguas frías en la costa de Sudamérica, aumentando la diferencia de temperatura de las aguas a través de la región ecuatorial (Camilloni, 2011).

Algunas veces esta fase fría precede a la fase cálida, aunque entre ellas ocurre una condición llamada “Niño Neutral” en donde no se presentan condiciones extremas (Yepes, 2012). Este modelador anual se presenta en forma recurrente con magnitud variada. Según su duración e intensidad, ocasiona importantes efectos en el clima a escala planetaria, alterando los patrones normales de comportamiento de la precipitación y la temperatura, entre otras variables climáticas (Retana et al., 2011).

El término ENOS (El Niño-Oscilación Sur) se definió a mediados del siglo XX, pero la relación de este fenómeno con los diferentes regímenes de precipitación y temperatura alrededor del mundo, se estableció a finales de la década de 1950 (Vega y Stolz, 1997). Según Fernández y Ramírez (2001), ENOS es el fenómeno que más se relaciona con Variabilidad Climática en Centroamérica y en general, es la fuente de VC interanual más

dominante en el Trópico. En aquellas zonas donde existe una alta probabilidad de ocurrencia de un escenario hidroclimático en particular, se dice que ENOS tiene una buena señal o una buena teleconexión. Por el contrario, donde las probabilidades de ocurrencia de varios escenarios hidroclimáticos son semejantes, la señal de ENOS es poco clara (IMN, 2008).

2.3. Consecuencias de la Alteración de la Variabilidad Climática

Debido a la alteración de la VC se espera que haya una disminución progresiva anual de lluvia, alta precipitación en cortos períodos y de mayor intensidad, y períodos de sequías más extendidos y calurosos. Este comportamiento de la lluvia y los períodos secos indican que los patrones climáticos que hemos conocido hasta ahora serán mucho más erráticos (Chevarri, 2014). Algunos de los efectos esperados del CC se discuten seguidamente.

Sequías. La sequía es un fenómeno temporal que resulta de la escasez o mala distribución prolongada de la precipitación y de la evaporación en exceso, de forma que su combinación provoca un importante déficit entre la necesidad de agua de las plantas y animales, y el recurso hídrico. El mayor o menor déficit presentado determina la intensidad de la sequía. La sequía, por tanto, es un componente normal de la Variabilidad Climática (ENOS) y se da en todas partes de la tierra (Banegas, 2006). Las sequías prolongadas están representadas principalmente por períodos estacionales extremadamente secos que dejan de manifiesto la vulnerabilidad de muchas actividades económicas y de ecosistemas que dependen del agua (Ríos e Ibrahim, 2008).

Se proyecta que habrá disminución en la esorrentía superficial, lo cual disminuirá las reservas de fuentes de agua superficial y subterránea, aumento en las restricciones de las inversiones de infraestructura necesaria para el manejo del agua, menor desarrollo económico de las zonas afectadas (Hidalgo et al., 2013), e incremento en la frecuencia y duración de los racionamientos de agua.

Inundaciones. Se define inundación a la sumersión de las aguas en zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas y, se inundan por efecto del ascenso temporal de ríos, lagos u otros. Normalmente son causadas por diferentes eventos meteorológicos que implican una Variabilidad Climática, en especial, en el área Atlántica Costarricense donde diferentes poblados de Limón son normalmente afectados por ser zonas de

vulnerabilidad ambiental. En general, todas las regiones de Costa Rica están expuestas a inundaciones, pero en el caso de la vertiente del Atlántico, debido a su localización, se incrementa exponencialmente; ya que es territorio lluvioso, en especial, cuando hay efectos acumulados de frentes fríos, sistemas de presión o huracanes cercanos (IMN, 2008).

El incremento de las tormentas o lluvias genera un aumento de la escorrentía superficial, lo que produce un mayor impacto en paisajes fragmentados, deforestados y de poca cobertura. Algunos de los efectos ocasionados incluyen: aumento de la erosión, inundación en áreas rurales y urbanas, nivel de humedad más alta, mayores precipitaciones en la estación lluviosa, aumento de enfermedades patógenas en la agricultura y ganadería, pérdidas de cosechas, aumento en la frecuencia y magnitud de deslizamientos y avalanchas, y destrucción de la infraestructura vial, hidroeléctrica, sistemas de riego, acueductos y alcantarillados.

Temperaturas Altas. Se definen como temperaturas altas aquellas que sobrepasan los límites normales de una región, desde luego dependiendo del año, estación e incluso de la topografía de la región (CIAFEME-UADY, 2013). Las altas temperaturas están asociadas en su mayor parte al CC, debido a los GEI. Sin embargo, también se deben en parte a la variación de la VC, ya que la presencia de temperaturas altas (extremas) está asociada a la presencia de eventos extremos como ENOS (Argueñal, 2010). Las altas temperaturas están ligadas a las sequías o a la poca precipitación (IMN, 2008).

Alteración en la Humedad. La humedad, en conjunto con la temperatura y la precipitación, tanto en su exceso como en su disminución, es una de las características atmosféricas que son afectadas significativamente gracias a la VC (Frentes fríos, ENOS, etc.); la cual, indiscutiblemente, es una de las características de las regiones del trópico y regiones sub-tropicales (Retana, 2012). Las plantas inician su desarrollo dependiendo de la exposición a la humedad y a la temperatura y son significativamente importantes durante su etapa de crecimiento. Los factores climáticos están relacionados con etapas importantes de la fenología de las mismas (Benegas, 2006). La disminución de la humedad de los suelos es una de las mayores amenazas a la agricultura de las regiones (Jiménez et al., 2011).

Incidencia de Plagas. Las variaciones del clima sostenidas en el tiempo hacen migrar especies, fortalecer y desaparecer otras, transformar y adaptar aquellas de respuestas

elásticas; por ende, el clima es un modulador de vida (Retana, 2012). Al disminuir las fronteras climáticas también se observan desplazamientos de fito-plagas o zoo-plagas. Estas plagas a su vez aumentan las pérdidas económicas en el sector ganadero y agrícola. Un ejemplo es el caso de Etiopía en 1888, que sufrió altas temperaturas que aumentaron las poblaciones de langosta y gusanos, malograron los granos y afectaron al ganado (Retana, 2000).

Alteración en el comportamiento del Viento. El viento ejerce sobre las plantas y animales una serie de efectos beneficiosos, ya que permite la renovación del aire al facilitar una mejor oxigenación y transpiración. También transporta semillas y permite la dispersión de el polen permitiendo la fecundación en muchos cultivos e incluso permite la eliminación de insectos vectores. Estos beneficios son principalmente afectados cuando hay un debilitamiento de los vientos (Retana y Villalobos, 2003; Retana, 2012). Normalmente, en Costa Rica los vientos alisios son más intensos en la estación seca; sin embargo, durante la ocurrencia del ENOS, se observan vientos alisios más fuertes en algunos meses de la estación lluviosa, creando sequía. La alteración del patrón de los vientos afectan las lluvias por convección, ya que se reducen los efectos térmicos de la orografía (Fernández y Ramírez, 2001).

2.4. Métodos de Evaluación de Variabilidad Climática

Ante la evidencia de un CC a escala global, los análisis de tendencia de Variación Climática se han convertido en un tema de gran interés para la mayoría de los países del mundo. Los expertos en la materia han señalado que, para evidenciar la existencia de un CC, es necesario analizar las tendencias de variables climáticas tales como precipitación, presión atmosférica, viento, radiación solar y temperatura, entre otras, considerando diferentes escalas de tiempo y espacio (IDEAM, 2011; Castro y Carvajal, 2013).

Las tendencias son componentes determinísticos transitorios que se definen como el cambio sistemático y continuo sobre una muestra de información que afecta las distribuciones y dependencias de la serie. Por ejemplo, si hay un cambio ascendente o descendente en la precipitación, entonces se produce una tendencia positiva o negativa (IDEAM, 2011).

Una serie se dice que es homogénea cuando su variabilidad obedece únicamente a causas climáticas (Mitchell et al., 1966). La obtención de datos climáticos está propensa a muchas vicisitudes cuya detección no es fácil, sobre todo en las series temporales más largas. Registros falsos, movimiento de estaciones o cambio en las características físicas del lugar, dan lugar a la aparición de inhomogeneidades ajenas a la realidad climática. Su detección y corrección es fundamental para poder elaborar conclusiones fiables sobre la tendencia de variación de la serie.

La mayor parte de las metodologías disponibles se basan en comparar las series problema con otras supuestamente homogéneas que, o bien pertenecen a observatorios cuya historia puede hacer pensar que se hallan libres de los factores perturbadores, o bien se construyen sintéticamente a partir de otras series vecinas, con la esperanza de que sus respectivas inhomogeneidades queden diluidas en la serie compuesta (Aguilar et al., 2003).

Existen diversas técnicas estadísticas, paramétricas o no paramétricas, que han sido utilizadas para evaluar tendencias climáticas. Entre los métodos paramétricos para evaluación de series de tiempo se han utilizado métodos basados en modelos de regresión. Estos modelos son del tipo $Y = \beta_0 + \beta_1 x + e$, donde e es el error o perturbación aleatoria, β_0 es el intercepto y β_1 es la pendiente, que representa las unidades de cambio en la variable dependiente Y (variable climática) por unidad de cambio en la variable independiente X (unidad de tiempo). Mediante contrastes de hipótesis $H_0: \beta_1 = 0$ vs. $H_1: \beta_1 \neq 0$ es posible evaluar si existen aumentos/reducciones significativas en las variables climáticas. Estos modelos tienen la desventaja de que requieren que la variable analizada presente una distribución normal (Aguilar et al., 2003).

Entre los métodos no paramétricos se han utilizado pruebas como Mann-Kendall. Esta prueba ha sido usada ampliamente en ciencias ambientales debido a que no requiere una distribución de probabilidad definida para la variable dependiente y es flexible ante la presencia de datos perdidos (Méndez et al., 2008). Si el estadístico S obtenido en la prueba es positivo se infiere que la tendencia de la serie es creciente, mientras que si S es negativo hay una tendencia decreciente o de disminución.

Otro estadístico no paramétrico utilizado es la *Pendiente Q de Sen*. Este estadístico implica el cálculo de pendientes para todos los pares de puntos de tiempo ordinales. Luego

se utiliza la mediana de estas pendientes como una estimación de la pendiente general. La pendiente de Sen es insensible a valores atípicos y puede utilizarse para detectar si hay una tendencia en los datos (Castro y Carvajal, 2013).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008) recomienda el uso de períodos estándares para caracterizar el clima actual de una región y hacerlo comparable estadísticamente con otros. Actualmente, la mayor parte de estas normales climatológicas o “líneas base climáticas” se construyen a partir de los registros del período normal 1961-1990, aunque debido a la mayor disponibilidad de datos y cercanía de tiempo también se están utilizando las del período 1971-2000. El análisis de la Variabilidad Climática de estos períodos base permite detectar tendencias, fases de oscilación de largo período e incluso Cambios Climáticos que se estén sucediendo para obtener resultados estadísticos robustos (IMN, 2008).

La línea base para Costa Rica se desarrolló para el período 1961-1990, a nivel anual y mensual, tanto para la precipitación como para las temperaturas extremas (máxima y mínima). Se estima que esta escala puede atenuar los errores a nivel diario y horario de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2008). Esto permite la estimación de la magnitud de los cambios en precipitación anual, días con lluvia, temperatura máxima y mínima, durante eventos extremos y la influencia que presentan las fases de ENOS sobre estos eventos extremos.

3.0. Climas en las Regiones de Costa Rica

Geográficamente, Costa Rica, está en la zona definida como Tropical (IMN, 2008). Esta ubicación le confiere características tropicales a su entorno ecológico: bosques, red hidrográfica, suelos, clima, fauna y flora tropical. Pero por diferentes factores como el relieve, la situación con respecto al continente, la influencia oceánica y la circulación general de la atmósfera posee característica climática que difieren del trópico estándar. Estos factores dividen a Costa Rica en seis grandes regiones climáticas tales como: Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Región Central, Región Norte y Región Atlántica (Solano, 1996).

El presente estudio se enfocará en el análisis de patrones climáticos en las regiones Atlántica, Central y Norte de Costa Rica, las que se describen brevemente a continuación:

Región Atlántica: comprende toda la provincia de Limón, y la parte oriental de la provincia de Cartago. Poseyendo relieves que van desde los 600 a 1600 msnm. El régimen de esta vertiente no presenta una estación seca definida pues las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos, y un máximo en promedio en los meses lluviosos de 4 500 mm (IMN, 2008). Esta vertiente se puede dividir, principalmente: en Región Atlántico Norte y Sur, donde se denotan cinco subregiones nombradas: RA1, RA2, RA3, RA4 y RA5 (Solano, 1996).

Región Central: Se encuentra en el centro del país. Comprende los núcleos de mayor urbanización de la provincia de San José, Heredia, Alajuela y Cartago (IMN, 2008).

El valle central es afectado principalmente por condiciones del Pacífico así como por la influencias del Atlántico (vientos alisios, etc.). En las partes más bajas del Valle Occidental (Atenas, Guácima, etc.) se puede encontrar un clima seco con marcada influencia del Pacífico, mientras que en San José, Heredia y Cartago se experimenta un clima templado, afectado por los vientos alisios, principalmente (IMN, 2008). La temperatura promedio de esta región es de 22°C, mientras que la precipitación promedio anual es de 2 300 mm en el occidente del valle y 1 700 mm en el oriente (Solano y Villalobos, 2000).

Región Norte: Esta región está ubicada en el área norte del país, las cuales colinda al norte con la República de Nicaragua (Solano y Villalobos, 2000). Presenta un régimen de precipitación del Atlántico, que es lluvioso todo el año, con una disminución relativa de las lluvias en los meses de febrero, marzo y abril (IMN, 2008).

La región Norte presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio de 22°C y un promedio de pluviométrico de 3 200 mm anual. Es una región de contraste en la lluvia, ya que en ella interactúan tanto elementos climáticos como factores geográficos propios de esta región, debido a su relieve montañoso, llanuras extensas y la influencia al noroeste, del lago de Nicaragua (Solano, 1996).

4.0.Efectos de la alteración de Variabilidad Climática sobre el rendimiento de bovinos lecheros.

Está bien documentado que la producción agrícola, la producción de leche, los componentes de la leche y el bienestar del ganado se ven afectadas por la variabilidad del clima. Cuando el animal sale de su zona de confort, disminuye el consumo de alimento y decae su condición corporal, lo que puede causar problemas productivos y de salud (Ríos e Ibrahim, 2008).

La producción láctea depende en gran medida de la habilidad del desempeño reproductivo de cada hembra (Vargas y Ulloa, 2008). Esta producción de leche es la sumatoria de la descarga láctea del animal después de la producción de calostro hasta el secado, y es sumamente sensible a las inclemencias del clima, especialmente en el trópico, donde la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar se combinan produciendo alteraciones fisiológicas, denominadas en conjunto *estrés calórico*. Este estrés es uno de los causantes de mayores pérdidas en el rubro lechero (Román, 2010) ya que afecta parámetros reproductivos, tales como el Intervalo de Parto Concepción (IPC), y parámetros productivos como la producción de leche total (Ríos e Ibrahim, 2008).

Según Román en el 2010, una forma de cuantificar el grado de estrés al que podría estar expuesto el ganado bovino es mediante el uso del índice de temperatura-humedad (ITH). Este *estrés calórico* no es más que la sensación de malestar que se experimenta cuando la permanencia en un ambiente determinado exige esfuerzos desmesurados a los mecanismos de que dispone los organismos para mantener la temperatura interna, mientras se efectúa el intercambio de agua y demás sustancias (Thom, 1959; NRC, 1971; West et al., 2003). Tradicionalmente, valores de ITH <70 son considerados como zona de confort; con ITH > 72 hay incremento en la frecuencia respiratoria; entre 75 a 78 es estresante para el animal, y >78 ocasiona malestar y riesgos de salud (Armstrong, 1994).

La zona de confort del ganado especializado corresponde a un rango de ITH en el cual el animal no necesita activar sus mecanismos de autorregulación térmica (West et al., 2003). La Producción de Leche Total como el Intervalo Parto-concepción, pueden ser afectados por el clima de manera directa, actuando sobre el animal, o indirecta, actuando sobre otros factores del entorno (vectores de enfermedades, modelación del ambiente, entre

otras), que a su vez influyen sobre el animal y causan repercusiones. Esto suscita problemas como la obtención de lactancias largas, nuevas vaquillas de remplazo, atrasos en los celos, aumento en la incidencia de enfermedades o aumento a la susceptibilidad a las mismas, por efectos del mismo animal o por la aparición de vectores transmisores de enfermedades (Hammami et al., 2013).

Afectación Directa. En el contexto mundial, se reconoce que más del 50% de la población bovina se ubica en los trópicos, por lo que el estrés calórico causa severas pérdidas económicas en más del 60% de la ganadería de leche (Wolfenson et al., 2000) y de igual forma las funciones reproductivas (Bohadas et al., 1991).

Las vacas lecheras lactantes expuestas a altas temperaturas ambientales, a menudo ligadas a alta humedad relativa (ITH elevado), pueden sufrir de estrés calórico prolongado y presentar problemas reproductivos, como lo son la falta de celo o celos silencios, abortos, reabsorción embrionaria y problemas en la implantación embrionaria. También aumentan las probabilidades de distocia y enfermedades metabólicas hasta quedar en total anestro, siendo la raza Holstein la de mayor sensibilidad al estrés calórico, en comparación con la Jersey o la Pardo Suizo (Rivera y Hansen, 2001; Soto, 2001; Mee, 2004). Los rendimientos lácteos disminuyen de un 50 a un 75% a temperaturas superiores a 26,5°C para vacas Holstein y superiores a 29,5°C con vacas Jersey y Pardo Suizo (Hall, 2000).

La pérdidas en producción de leche y la reproducción durante los fuertes veranos, o la sequías causadas por la alteración en la regularidad del ENOS, influyen sustancialmente en el potencial económico del ganado lechero (Zewdu et al., 2014). El aumento del estrés calórico (ITH elevado) asociado con el cambio climático global, causa angustia a los animales lecheros y puede afectar a la producción de leche. Se ha estimado que la India pierde 1,8 millones de toneladas de leche de la producción anual, lo cual representa más de 650 millones de dólares, debido al estrés por calor en diferentes partes del país (Zewdu et al., 2014).

Se han encontrado evidencias de que el bajo porcentaje de concepción y la alta mortalidad embrionaria, asociados a un ITH alto, es el factor que más contribuyen a la baja eficiencia de fertilidad estacional en vacas lecheras lactantes (Román, 2010). Se ha

sugerido también, que los cambios en la temperatura y humedad ambiental que afectan la fertilidad, están correlacionados estrechamente con el momento de la inseminación, lo cual indica, que éste es probablemente el periodo crítico en el cual la fertilidad es afectada (Rivera y Hansen, 2001). Hammami (2013), reportó reducciones en el porcentaje de concepción cuando el ITH aumentó durante los meses de verano, temporadas calurosas o de sequías.

También se ha reportado que, en vaquillas, las altas temperaturas aumentan la incidencia de las ovulaciones silenciosas y provocan una reducción en la duración del estro, de las 18 horas que se consideran normales a una duración de 10 horas o menos (Román, 2010). Se ha reportado que afectación por ITH alto puede bajar la eficiencia reproductiva del hato de 75% a 10%. Este estrés climático desemboca también en problemas sanitarios, ya que el animal se encuentra sometido a tensión, su sistema inmunológico es más débil, y esto conlleva a diarreas en terneros, a la mortalidad de los mismos en los periodos secos y a retrasos en la entrada de las hembras de remplazo a la vida productiva.

Afectación Indirecta. En diferentes investigaciones se ha demostrado que la Variabilidad del Clima tiene un impacto importante sobre el forraje y sobre la calidad y la cantidad de los compuestos de la leche (West, 2003). Para el ganado, la alteración de la VC podría afectar los costos y la rentabilidad de la producción mediante la alteración del precio y la disponibilidad de los cultivos forrajeros, la ubicación y la productividad de los pastos y pastizales y la distribución de los parásitos del ganado y patógenos. Por lo tanto a la eficiencia con la que el ganado produce carne y leche (Key et al., 2014).

En las regiones donde se producen inundaciones, el exceso de humedad trae como consecuencia la reducción en los procesos de respiración de las raíces, provocando igualmente disminución de biomasa (Toro et al., 2011). Este exceso puede afectar a las plantas, incidiendo en diferentes estados, en especial, causando pudrición de las raíces y estimulando a un estrés calórico en la plantas o a su muerte; lo cual produciría pérdidas de pastizales debido a la humedad y exceso de lluvias (Altamirano, 2012). También aumenta la presencia de renquera en los animales con pezuñas o cascos, ya que se suavizan las

láminas de queratina, de la que está formada dichas estructuras, haciéndolos más vulnerables a los daños pódales (Greenough, 2009).

Según Toro et al. (2011), los fenómenos extremos fomentan que los organismos dañinos aumenten su incidencia en muchas áreas, ya que estos se presentan normalmente en una época del año. Por ejemplo, las sequías con humedad relativa alta (ITH elevado), estimulan la incidencia de garrapatas (vector de anaplasmosis), los ambientes de las regiones tropicales, con precipitaciones fluviales regulares y alta humedad, ofrecen situaciones óptimas para el desarrollo de varias generaciones de acarinos (garrapatas) por año, siendo considerada una plaga en zonas con temperaturas por encima de 20°C. Mientras que las inundaciones estimulan la presencia de enfermedades como la mastitis y presencia de otros microorganismos dañinos a las plantas y animales (aumento en las diarreas) (Mercado et al., 2011).

5.0.El programa VAMPP/ CRIPAS.

El programa VAMPP bovino 3.0® es un instrumento útil para la organización de datos y la toma de decisiones, ya que permite llevar registros adecuados tanto de aspectos productivos como de reproducción, salud y alimentación de los hatos; permitiendo la toma de acertadas decisiones con base a información veraz y las posibles optimizaciones de las producciones lecheras o cárnicas (Arias, 2000).

Esta herramienta se originó en los Países Bajos y fue introducido en Costa Rica en 1989 con el inicio del proyecto Salud de Hato, a través de un convenio entre la Universidad Nacional (UNA) y la Universidad de Utrecht (Países Bajos) (Pérez et al., 1989). El Centro Regional de Información para la Producción Animal Sostenible (CRIPAS), adjunto a la Escuela de Medicina Veterinaria, se encargó de adaptar el programa VAMPP bovino a las condiciones tropicales del país y a las características específicas de manejo de bovinos lecheros especializados, de doble propósito, de cría y de engorde (Romero et al., 2011). El programa ha permitido hacer control y monitoreo sistemático de más de 1 500 fincas bovinas con datos desde hace más de treinta años, permitiendo la realización de múltiples estudios en diferentes áreas como genética, reproducción, tecnificación y producción, entre otras (Vargas y Gamboa, 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. Peterson, y J. Wieringa. 2003. Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP Guidelines Series No. 1186. Llansó, Geneva. p. 50.
- Altamirano, J. 2012. Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. Tesis. Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2050.
- Argeñal, F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Honduras. http://www.bvsde.org.ni/web_textos/golfonseca/0173/14%20variabilidad%20climatica%20honduras.pdf (consultado 11 Jul. 2015).
- Arias, X. 2000. El manejo de la información como herramienta práctica al alcance del ganadero. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Http://www.encolombia.com/acovez24284_temas11.htm (consultado: 4, oct. 2015).
- Banegas, L. 2006. Propuesta metodológica para evaluar la adaptación de los productores a la variabilidad climática, principalmente a la sequía, en cuencas hidrográficas en América Central. Tesis. Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Barrantes, G., L. Jiménez y T. Maldonado. 2006. Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo de Costa Rica. Undécimo Informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Bohada, G. 1991 El cruzamiento como estrategia de mejoramiento. En: Carta ganadera. Vol. 28, 1:5.

- Bravo, J. 2015. Lluvia e inundaciones generan pérdidas en Costa Rica. Diario las Américas. http://www.diariolasamericas.com/5051_portada-america-latina/3197743_costa-rica-nicaragua-alerta-lluvias-fenomeno-climatico-el-nino.html (consultado: 4, oct. 2015)
- Camilloni, I. 2011. Variabilidad climática: el fenómeno del niño. Meteorología general. http://meteorologiageneral.at.fcen.uba.ar/teo/t17_vc.pdf (consultado 12 Jul. 2015).
- Castro, D., y Y. Carvajal. 2013. Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Memorias, 11:9-18.
- Chevarri, P. 2014. Cambio climático y ordenamiento territorial en Costa Rica. Perspectivas Fes Costa Rica - O 1/2014. Fundación Friedrich Ebert. San José, Costa Rica.
- CIAFEME-UADY (Comité Institucional para la Atención de Fenómenos Meteorológicos y Extremos).2013.Cambio Climático. Boletín informativo. México. P. 1 - 2.
- Corrales, L. 2010. Efectos del cambio climático para Centroamérica. Cuarto informe estado de la región. CONARE, San José, Costa Rica. p. 14 -16 y 55.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. El Cambio Climático, el Agua y la Seguridad Alimentaria. Roma, Italia. <http://bvssan.incap.int/local/cambio-climatico/CAMBIO-CLIMATICO-INSAN-MARCO-FAO.pdf> (Consultado 8 de Jul. 2015).
- Fernández, W. y P. Ramírez. 2001. El niño, la oscilación del sur y sus efectos en Costa Rica: Una Revisión. Tecnología en Marcha No. 11:1.
- Ginger, M., y U. Hoeggel. 2011. Adaptación al cambio climático: desafíos para la agricultura campesina. Centre for Development and Environment. Flash Informative No 2. Suiza. p.1.
- Gómez, R., A. Ronit, y R. Vindas. 2011. Políticas de cambio climático en Costa Rica, integrando esfuerzos para asumir los retos. Centro de Investigación en Cultura y Desarrollo, Uned. San José, Costa Rica. <Http://Inteligencianaturalexhibicion.Org/2/Wprica,%20integrando%20esfuerzos%202011.Pdf> (consultado 9 Jul. 2015).

- Greenough, P. 2009. Laminitis y claudicaciones en bovino: cómo encarar esta problemática. Inter-medical Primera edición. Buenos Aires, Argentina. 153 p.
- Hall, M. 2000. Meet the challenges of heat stress feeding. Howard's Dairyman. May. 2000. pp 344.
- Hammami, H., J. Bormann, N. M'hamdi, H. Montaldo, y N. Gengler. 2013. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic Cell score of Holsteins in a temperate environment. J. Dairy Sci. 96:1844–1855.
- Hidalgo H., J. Amador, E. Alfaro y B. Quesada. 2013. Hydrological climate change projections for Central America. J. of Hydrol. 495: 94-112.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2011. Proyectos de adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Bogotá. http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/AdCC/File/09_gutierrez.pdf (consultado 4 Ago. 2015).
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité de recursos hidráulicos, San José, Costa Rica. p. 3,5.
- IPCC (Panel intergubernamental del Cambio Climático). 2001. Cambio climático: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Tercer Informe de Evaluación. Contribución del Grupo II. IPCC, Ginebra, Suiza. p. 17.
- IPCC (Panel intergubernamental del Cambio Climático). 2007. Cambio climático: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. p. 104.
- Key N., S. Sneeringer, y D. Marquardt. 2014. Climate change, heat stress and U.S. dairy production. USDA. Reporte No. 175. Http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2506668 (consultado 29 de feb. 2016).

- MAG (Ministerio de agricultura y Ganadería). 2011. Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria en Costa Rica. Programa de Cambio climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria. San José, Costa Rica. p. 3.
- Manual IBM SPSS Usuarios. 2012. Chicago: SPSS Inc.
- Mee, J. 2004. Managing the dairy cow at calving time. *Vet. Clin. North am. Food anim. Pract.* 20:521-546.
- Milani, M., A. Hense, E. Rahmani y A. Ploeger. 2015. A pilot investigation of the relationship between climate variability and milk compounds under the bootstrap technique. *Foods* 3: 420-439
- Mitchell S.M., B. Dzerdzecvskii, H. Flohn, N. Hofmeyr, H. Lamb, K. Rao, y C. Wallen. 1966. Climatic Change. Technical note No. 79: 4, 6.
- National Research Council (NRC). 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. Natl. Washington, DC. Acad. Sci.
- Noordhuizen, J., y J. Buurman. 1984. Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP). The application of MUMPS for data processing. *Vet. Q.* 6(2): 66-72.
- OMM (Organization Mundial de Meteorología). 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO, Geneva No.8:17-19.
- Pérez, E., M. Baayen., E. Capella, y H. Barken. 1989. Depelopmenet of livestock information system for Costa Rica. En: H. Kuil, R. Palin, y J. Huhn editors. Livestock production and diseases in the tripics. *Proc. Ivinternl. Coof. Inst. Trop. Vet. Med.* Utrecht. The Netherlands. P 221-224.
- Quirós, E., y E. Alfaro. 2009. Algunos aspectos relacionados con la variabilidad climática en la isla del coco, Costa Rica. Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica, Instituto Meteorológico Nacional. *Revista de Climatología.* 9:33-44.
- Quintero, M., Y. Carvajal, y P. Aldunce. 2012. Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. No. 9: 2.

- Retana, J. 2000. Posibles efectos de la fase cálida del niño oscilación del sur, en la agricultura de Costa Rica. CNE, San José, Costa Rica. http://www.cne.go.cr/CEDO_CRID/CEDOCRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc12652/doc12652_contenido.pdf (consultado 11 Jul. 2015).
- Retana, J. y R. Villalobos. 2003. Impacto Social del fenómeno del Niño: Un recuento de 1976 -1978. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo, San José, Costa Rica. <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/revista/2003/Julio/4-Retana2-Julio03.pdf> (Consulta 11 de Feb. 2016).
- Retana, J., M. Solera, y J. Solano. 2010. Efecto de la variabilidad climática sobre la fluctuación poblacional de la rata cañera (*Sigmodonhispidus*) en Cañas, Guanacaste. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo, San José, Costa Rica. Http://www.Imn.Ac.Cr/Publicaciones/Estudios/Variab_Clima_Ratascr.Pdf (consulta 11 Jul. 2015).
- Retana, J. 2012. Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima. Ambientales. No. 44:3,5 y 7.
- Ríos, N. y M. Ibrahim. 2008. Impactos del Cambio Climático Sobre los Recursos Hídricos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 30: 3.
- Rivera R., y P. Hansen. 2001. Development of cultured bovine embryos after exposure to heat temperatures in the physiological range. J. Reproduction 121: 107-115.
- Román, H., 2010. Efectos de stress térmico sobre la fertilidad del ganado bovino. Programa de investigación con ganado lechero en clima tropical instituto nacional de investigaciones pecuarias. SARH. Veracruz. México. Ciencia Vet. 2:265-288.
- Romero, J., J. Rojas, y S. Estrada. 2011. El programa VAMPP Bovino, una herramienta para la toma de decisiones. Ventana Lechera. 5(16):4-10.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS/STAT® 9.2 User's Guide, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute. Inc. <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugmcmc/63125/PDF/default/statugmcmc.pdf> (consultado 29 Feb. 2016).

- Solano, J. 1996. Aspectos fisiográficos básicos para las principales regiones de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Solano, J. y R. Villalobos. 2000. Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.
- Soto, C. 2001. Hemoparásitos en los procesos reproductivo. En: reproducción bovina. C. González-stagnaro. Fundación girarz, Maracaibo, Venezuela. Cap. Xiv: 205-245.
- Thom, E.1959. The discomfort index. *Weather wise*. 12: 57–60.
- Toro, C. 2011. El cambio climático: Impacto sobre la producción agrícola y las prácticas de adaptación. Servicio de extensión agrícola. Universidad de Mayaguez. Puerto Rico.
- Vargas, B., y G. Gamboa. 2008. Tendencias genéticas, interacción genotipo \times ambiente y consanguinidad en poblaciones Holstein y Jersey de Costa Rica. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 46:371-386.
- Vargas, B., y J. Ulloa. 2008. Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development* 20:7. [Http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm](http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm) (consultado 18 Oct. 2015).
- Vega, G., y W. Stolz. 1997. El fenómeno del niño su impacto en la economía de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional. Oficina De Pronósticos. Nota Técnica, Boletín Informativo, San José, Costa Rica. p.9.
- Vélez, M., J. Hincapié, I. Matamoros, y R. Santillán. 2009. Producción de ganado lechero en el trópico. 4. Ed. Academia press, Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
- Vermunt, J., y T. Parkinson. 2002. Claw lameness in dairy cattle: New Zealand based research. *N.Z. Vet. J.* 50: 88-89.
- West, J., B. Mullinix, y J. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232–242

- Wolfenson, D., Z. Roth, y Meidan, R. 2000. Impaired reproduction in heat stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 61:535-547.
- Yepes, L. 2012. Variabilidad climática intra-estacional y su efecto sobre la precipitación en Colombia: diagnóstico y pronóstico. Tesis. Magister en Ingeniería Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Zewdu, w., B. Thombre y D. Bainwad. 2014. Effect of macroclimatic factors on milk production and reproductive efficiency of Holstein Friesian × Deoni crossbred cows. *J. Cellanim. Biol.* 8(4):50-60.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Cuantificar la Variabilidad Climática en las zonas agro-productivas Costarricense (Región Norte, Valle Central, Región Atlántica) durante los últimos 31 años y su posible asociación con las tendencias en parámetros de eficiencia productiva de fincas lecheras usuarias de VAMPP.

Objetivo Específicos

- Establecer el patrón de la Precipitación y Radiación Solar mostrados en los últimos 31 años en las Zonas agro-productoras (Región Norte, Región Central y Región Atlántica) de Costa Rica.
- Determinar el comportamiento que se ha mostrado en las variables climáticas de temperatura (Promedio, Máxima y Mínima) y Humedad Relativa en las Zonas agro-productivas (Región Norte, Región Central y Región Atlántica) de Costa Rica en los últimos 31 años.
- Establecer el comportamiento de las series de tiempo de la variable ITH en las Zonas agro-productivas (Región Norte, Región Central y Región Atlántica) de Costa Rica en los últimos 31 años con respecto a la actualidad.
- Evaluar la posible asociación entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y las variables producción diaria de leche (KGL) e Intervalo Parto Concepción (IPC) en hatos lecheros de las Regiones Climáticas Norte y Central de Costa Rica usuarios del programa VAMPP.

Capítulo I

CUANTIFICACIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LAS REGIONES NORTE, CENTRAL Y ATLÁNTICA DE COSTA RICA DURANTE EL PERIODO 1985-2015

JUAN ISMAEL RUIZ JARAMILLO

Resumen

Cuantificación de la variabilidad climática en las Regiones Norte, Central y Atlántica de Costa Rica durante el periodo 1985-2015.

En el presente estudio se utilizó un Modelo Lineal Mixto Generalizado (GLMM) para el análisis de series mensuales de datos provenientes de 33 estaciones meteorológicas (periodo 1985 a 2015), ubicadas en las regiones climáticas Norte (n=8), Central (n=9) y Atlántica (n=16). Las variables analizadas fueron: precipitación (PRE), humedad relativa (HR), temperatura (TMAX, TMIN, TPROM), radiación solar (RS) e índice de temperatura y humedad (ITH/ generada). El modelo incluyó efectos fijos de Región, Mes, Año, ENOS, Región×Mes, Región×Año y Región×ENOS; así como los efectos aleatorios de variación *dentro y entre* estaciones. La disponibilidad de información con respecto al total de meses (n=372) del periodo analizado fluctuó ampliamente según variable, desde 18% (RS) hasta 73% (PRE). Los promedios \pm Desviación Estándar (DE) obtenidos para las variables analizadas fueron: TMAX: $29,5\pm 3,8^{\circ}\text{C}$, TPROM: $22,94\pm 3,24^{\circ}\text{C}$, TMIN: $18,4\pm 3,49^{\circ}\text{C}$, PRE: $244,6\pm 185,2$ mm, HR: $85,2\pm 6,7\%$, ITH: $72\pm 5,4$ y RS: $13,7\pm 3,8$ MJ/m². Las Regiones Atlántica y Norte presentaron comportamiento similar en las variables TMIN, TP, TMAX, ITH, RS y PRE, no así en la variable HR. La Región Central presentó menores temperaturas, HR, PRE e ITH, pero mayor RS que las Región Norte y Atlántica. Los factores que presentaron efecto significativo sobre todas las variables fueron Mes, Año, Región y ENOS. La interacción Región×Mes también fue significativa para todas las variables. La interacción Región×Año fue significativa para TMIN y PRE, mientras que Región×ENOS fue significativa para TMAX y PRE. Las tendencias intermensuales fueron bastante homogéneas, obedeciendo a patrones estacionales marcados, principalmente para las variables de Temperatura, ITH, Precipitación y RS. Las tendencias interanuales fueron muy heterogéneas y afectadas parcialmente por la ocurrencia del efecto ENOS.

Palabras Claves: Tendencias climáticas, ENOS, ITH

Abstract

Quantification of climate variability in the North, Central and Atlantic zones of Costa Rica during the period 1985-2015.

In this research, a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) was used to analyze monthly data series from 33 weather stations (period 1985-2015), located in North (RN/n=8), Central (RC/n=9) and Atlantic (RA/n=16) climatic regions. The variables analyzed were: precipitation (PRE), relative humidity (RH), temperature (TMAX, TMIN, TAVG), solar radiation (SR) and temperature and humidity index (THI / generated). The model included fixed effects of Region, Month, Year, ENSO, Region×Month, Region×Year and Region×ENSO; and the random effects of variation *within* and *between* stations. The availability of information, as a proportion from the total number of months (n=372) within the period fluctuated widely, from 18% (RS) to 73% (PRE). The mean±standard deviation (SD) obtained for the variables under analysis were: TMAX: 29.5±3.8 °C, TAVG: 22.94±3.24 °C, TMIN: 18.4±3.49 °C, PRE: 244.6±185.2 mm, RH: 85.2±6.7%, THI: 72±5.4 and SR: 13.7 ± 3.8 MJ/m². North and Atlantic Regions showed similar behavior in the variables TMIN, TAVG, TMAX, THI, SR and PRE, but differed for Relative Humidity. The Central Region showed lower Temperatures, RH, PRE and THI than the other two regions, but higher SR. Factors with significant effect on all variables were Month, Year, Region and ENSO. Month×Region interaction was also significant for all variables. The interaction of Region×Year was significant for TMIN and PRE, whereas Region×ENSO was significant for TMAX and PRE. Monthly variation was fairly homogeneous, obeying mostly to seasonal patterns, primarily for variables Temperatures, THI, PRE and SR. Interannual trends were very heterogeneous and partially affected by the occurrence of ENSO effect.

Keywords: Climatic trends, ENSO, THI.

INTRODUCCIÓN

Se denomina Variabilidad Climática (VC) a las variaciones que ocurren en el estado medio y otras características estadísticas del clima (desviación estándar, rangos, etc.), en escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales (Argueñal, 2010; Corrales, 2010; Altamirano, 2012). El análisis de la Variabilidad Climática se ha convertido en un tema de gran interés para la mayoría de los países del mundo, debido a la evidencia de Cambio Climático, tomando en cuenta el análisis de las principales variables climáticas, como lo son: la precipitación, la humedad y la temperatura, considerando diferentes escalas de tiempo y espacio (IDEAM, 2011; Castro y Carvajal, 2013).

Los conceptos de Variabilidad Climática y Cambio Climático están sujetos en la actualidad a un mismo agente modificador, como es el calentamiento global, provocando la alteración de la dinámica de la retención de calor y modificando las corrientes atmosféricas y marinas (Argueñal, 2010). La Variabilidad Climática está ocasionando grandes daños a las actividades agropecuarias debido a la pérdida de animales por efecto de sequías e inundaciones (Barrantes et al., 2006; Ríos e Ibrahim, 2008) y pérdidas en productos tales como la leche o la carne, entre otros (Román, 2010).

Otra forma en que Variabilidad Climática afecta la producción pecuaria es a través del incremento en los niveles de estrés calórico. Se ha demostrado que la producción de leche, los componentes de la leche y el bienestar del ganado son afectados cuando el animal sale de su zona de confort, lo que puede causar problemas productivos y de salud (Armstrong, 1994; Ríos e Ibrahim, 2008; Vargas y Ulloa, 2008). Una forma de cuantificar los niveles de estrés es mediante el uso de índices bioclimáticos tales como el Índice de Temperatura y Humedad (ITH). Este índice se utiliza para indicar la falta de confort causada por los efectos combinados de la temperatura y la humedad del aire (Thom, 1959; Armstrong, 1994).

La pérdidas en producción de leche y la reproducción durante los fuertes veranos, o la sequías causadas por la alteración en la regularidad del ENOS, influyen sustancialmente en el potencial económico del ganado lechero (Zewdu et al., 2014); por ende, la VC puede afectar los costos y la rentabilidad de la producción ganadera mediante la alteración del

precio y la disponibilidad de los cultivos forrajeros, y la distribución de los parásitos del ganado y patógenos, lo que a su vez repercute en la eficiencia con la que el ganado puede producir leche (West et al., 2003; Toro et al., 2011; Key et al., 2014). En Costa Rica, la actividad ganadera de lechería se desarrolla principalmente en la Regiones Central y Norte del país, y en menor grado en la región Caribe o Atlántica (MAG, 2007). Estas zonas presentan patrones climáticos bastante particulares.

La región Central abarca principalmente las provincias de San José, Heredia y Cartago, y parte de Alajuela (IMN, 2008). Posee una temperatura promedio de 22°C y una precipitación promedio anual de 2 300 mm en el occidente y 1 700 mm en el oriente (Solano y Villalobos, 2000). En las partes más bajas (Atenas, Guácima, etc.) se puede encontrar un clima seco con marcada influencia del Pacífico, mientras que en San José, Heredia y Cartago se experimenta un clima templado, afectado por los vientos alisios (IMN, 2008). La región Norte abarca principalmente parte de las provincias de Heredia y Alajuela, colindantes con la República de Nicaragua (Solano y Villalobos, 2000) y presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio de 22°C y un promedio de pluviométrico de 3 200 mm anual (Solano, 1996). La región Atlántica comprende toda la provincia de Limón, y la parte oriental de la provincia de Cartago. Presenta un promedio de temperatura de 29°C con rangos de altitud entre los 60 y los 1 600 msnm. El régimen de esta vertiente no presenta una estación seca definida pues las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos y 4 500 mm en los meses más lluviosos (IMN, 2008).

Las 3 regiones mencionadas, debido a su posición geográfica, están expuestas al paso de eventos hidrometeorológicos extremos. La escasez o exceso de la precipitación, el aumento de la temperatura, alteraciones en los patrones de humedad relativa y radiación solar entre otras, significan una amenaza para el desarrollo que podría aspirar una región (Ríos e Ibrahim, 2008).

El propósito de este estudio es determinar el comportamiento que han mostrado las principales variables climáticas (temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar) y el Índice de Temperatura-Humedad (ITH) en las regiones Norte, Valle Central y Atlántica de Costa Rica en el periodo comprendido desde 1985 hasta 2015. El estudio

proveerá información de base para un posterior análisis de asociación entre variables climáticas y variables productivas en sistemas de producción de leche.

MATERIALES Y METODOS

Fuente de información

Se utilizó información climática correspondiente al periodo desde 1985 al 2015 (31 años), provenientes de 33 estaciones meteorológicas administradas por el IMN y el ICE (Figura 1, Cuadro 1), ubicadas en las regiones climáticas Norte (n=8), Central (n=9) y Atlántica (n=16). Se utilizaron las series de datos mensuales de las variables: precipitación, temperatura (promedio, máxima y mínima), humedad relativa y radiación solar. Adicionalmente, a partir de estos datos se generó la variable de Índice de Temperatura y Humedad (ITH).

Una gran cantidad de registros mensuales de temperatura (2742 entre 5725) solo reportan información de máximas y mínimas, pero no la temperatura promedio. Debido a la necesidad de contar con temperaturas promedio para el cálculo de ITH, se utilizó una regresión lineal múltiple para predecir la temperatura promedio en función de las temperaturas máxima y mínima del mes correspondiente. Los coeficientes de esta regresión se obtuvieron a partir de 2975 registros mensuales que sí contaban con los 3 valores (Máxima, Mínima y Promedio). La ecuación de predicción obtenida fue $T_p = 1,31 + 0,56 \times T_{min} + 0,39 \times T_{max}$. El R^2 de esta predicción fue del 0,94 y la correlación entre valores predichos y valores reales observados fue de $r=0,97$, considerada adecuada para efectos del presente estudio.

A partir de los datos de Humedad y Temperatura promedio se calculó el Índice de Temperatura-Humedad (NRC, 1971), mediante la siguiente fórmula:

$$ITH = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times HR) \times (1,8 \times T - 26)] \quad [1]$$

Donde:

T = Temperatura promedio bulbo seco.

HR = Humedad Relativa.

La variable de ITH se incluyó en este estudio como un indicador del estrés climático potencial al que podrían estar expuestos los bovinos criados en diferentes Regiones, años y épocas.



Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el presente estudio.

Análisis Estadístico Descriptivo

Previo al análisis de la información, se realizó una revisión exhaustiva de los datos para detectar la existencia de posibles valores extremos o valores erróneos en la base de datos. Estos datos fueron eliminados de análisis subsecuentes. Posteriormente, se calcularon estadísticos descriptivos de tendencia central (promedio, mediana) y medidas de dispersión (Desviación Estándar, Intervalos de Confianza) para las variables en estudio. Adicionalmente, se utilizaron métodos gráficos para explorar las tendencias climáticas a lo largo del tiempo (por año y meses dentro de año).

Cuadro 1. Localización por región (RN: Norte, RC: Central, RA: Atlántica), tipo (AT: Automática, MC: Mecánica), altitud y periodo de seguimiento de las estaciones meteorológicas.

No.	Nombre	Zona ¹	Tipo	Altitud (msnm)	Periodo de seguimiento por Variable (Año Inicio/año final (número de datos mensuales))						
					Precipitación	T°C Máxima	T°C Promedio	T°C Mínimo	Humedad	Radiación S.	ITH
69512	Zarcelero	RN	MC	1736	1985/2015(366)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
69515	Quebrada Azul	RN	M	83	1985/2015(366)	1994/2013(198)	1994/2013(193)	1994/2013(193)	ND	ND	ND
69537	La Selva Sarapiquí	RN	MC	40	1985/2015(323)	1990/2015(299)	1990/2015(295)	1990/2015(295)	ND	ND	ND
69579	ITCR Santa Clara	RN	MC	170	1985/2015(358)	1985/2015(334)	1985/2015(331)	1985/2015(331)	1985/2015(321)	ND	1985/2015(321)
69633	Com. Los Chiles	RN	AT	40	1994/2015(234)	1994/2015(246)	1994/2015(246)	1994/2015(246)	1994/2015(246)	1994/2015(224)	1994/2015(246)
69661	Ciudad Quesada	RN	AT	700	1998/2015(184)	1998/2015(197)	1998/2015(195)	1998/2015(193)	1998/2015(202)	1998/2015(141)	1998/2015(195)
69673	Horquetas2	RA	MC	30	2004/2015(124)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
69679	Upala	RN	AT	60	1997/2015(211)	1997/2015(223)	1997/2015(222)	1997/2015(223)	1997/2015(221)	1997/2015(215)	1997/2015(221)
69681	La Rebusca	RN	AT	40	1999/2015(177)	1999/2015(185)	1999/2015(186)	1999/2015(186)	1999/2015(186)	1999/2010(120)	1999/2015(186)
71002	La Mola	RA	MC	70	1985/2011(317)	1985/2011(315)	1997/2015(221)	1985/2011(316)	1985/2011(317)	ND	1997/2015(221)
71015	Canta Gallo Limón	RA	AT	20	1995/2015(219)	1995/2015(228)	1995/2015(228)	1995/2015(225)	1999/2015(186)	1995/2015(202)	1999/2015(186)
73018	Lda. V. El Guarco	RC	MC	1400	1985/2015(368)	1985/2015(365)	1985/2015(345)	1985/2015(348)	1993/2015(246)	ND	1985/2015(345)
73091	Hca. El Carmen	RA	MC	15	1985/2014(344)	1985/2013(338)	1985/2013(338)	1985/2013(339)	1985/2013(344)	ND	1985/2013(338)
73103	S. Mata Turrialba	RA	MC	100	1991/2015(286)	ND	ND	ND	1989/2015(250)	ND	ND
73109	Guayabo	RA	MC	1003	1985/2014(333)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
73123	ITCR Cartago	RC	AT	1360	1997/2015(214)	1997/2015(221)	1997/2015(221)	1997/2015(221)	1997/2015(221)	1997/2015(199)	1997/2015(221)
73129	Recope Ochomogo	RC	AT	1546	1998/2015(205)	1998/2015(209)	1998/2015(209)	1998/2015(206)	1998/2015(209)	1998/2015(209)	1998/2015(209)
73147	Guápiles	RA	AT	253	2012/2015(45)	2012/2015(46)	2012/2015(46)	2012/2015(46)	2012/2015(46)	ND	2012/2015(46)
81005	Aerop Limón	RA	AT	5	1997/2015(207)	1997/2015(222)	1997/2015(222)	1997/2015(222)	1997/2015(222)	1997/2015(199)	1997/2015(222)
84019	Hda. La Laguna Curri.	RC	MC	1240	1985/2015(361)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
84030	Laguna Fraijanes	RC	MC	1850	1985/2015(365)	1985/2015(345)	1985/2015(342)	1985/2015(345)	1989/2015(294)	ND	1989/2015(294)
84091	UTN Atenas	RC	MC	450	1985/2015(358)	1985/1999(171)	1985/1998(159)	1985/1999(159)	1985/1999(159)	ND	1985/1998(159)
84111	Santa Lucía Heredia	RC	MC	1200	1985/2015(345)	1985/2015(365)	1985/2015(349)	1985/2015(349)	1985/2001(200)	ND	1985/2001(200)
84141	IMN Aranjuez	RC	AT	1181	1995/2015(231)	1995/2015(239)	1995/2015(239)	1995/2015(239)	1995/2015(239)	1995/2015(238)	1995/2015(239)
84169	Aerop. Juan Santam.	RC	AT	913	1998/2015(203)	1998/2015(206)	1998/2015(206)	1998/2015(206)	1998/2015(206)	1998/2015(203)	1998/2015(206)
85021	Hitoy Cerere	RA	AT	170	1995/2015(192)	1995/2015(197)	1995/2015(198)	1995/2015(197)	1995/2015(199)	1995/2003(98)	1995/2015(198)
87003	Daytonia Sixaola	RA	MC	10	1987/2011(259)	1987/2011(89)	1987/2011(85)	1987/2011(85)	ND	ND	ND
87006	Sixaola	RA	ND	26	1985/2014(357)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
87010	Amubri	RA	ND	104	1985/2014(360)	1985/2015(348)	1985/2015(354)	1985/2015(350)	1985/2015(282)	ND	1985/2015(282)
87012	Alto Uren	RA	ND	764	1993/2007(171)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
87013	Sixaola2	RA	AT	10	1996/2015(194)	1996/2015(210)	1996/2015(211)	1996/2015(210)	1996/2015(207)	1996/2015(208)	1996/2015(207)
87014	Alto Lari	RA	ND	610	1994/2007(160)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
87016	Bajo Coen	RA	ND	173	1994/2007(162)	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Análisis estadístico por Modelos Lineales Mixtos Generalizados

Para el análisis de la información climática se utilizó la metodología de Modelos Lineales Mixtos Generalizados (GLMM). Estos modelos tienen la ventaja de que permiten seleccionar, entre múltiples opciones, la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la variable de respuesta que se analiza. Además, mediante el uso de una función de enlace, los GLMM permiten especificar diferentes distribuciones tanto para la variable de respuesta como para los predictores lineales del modelo.

El modelo utilizado fue es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \beta_0 + \beta_1 R + \beta_2 A + \beta_3 M + \beta_4 ENOS + \beta_5 (R \times M) + \beta_6 (R \times A) + \beta_7 (R \times ENOS) + e_{-e} + d_{-e} + \varepsilon \quad [2]$$

Donde:

– Y_{ijklm} : Variables de respuesta: Temperatura (promedio TP, TMIN, TMAX), Precipitación (PRE, mm), Humedad Relativa (HR, %), Índice de Temperatura-Humedad (ITH, %) y Radiación Solar (RS, MJ/m²).

– β_0 : Intercepto.

Efectos fijos

– $\beta_1 R$: Efecto fijo ligado a la región climática (Clases: Norte, Central, Atlántica).

– $\beta_2 A$: Efecto fijo ligado a la variación interanual o año calendario (Clases: 1985...2015).

– $\beta_3 M$: Efecto fijo ligado a la variación intermensual o mes calendario (Clases: 1=Enero... 12=Diciembre).

– $\beta_4 ENOS$: Efecto fijo ligado al fenómeno ENOS (Clases: Niño, Niña, Normal). La ocurrencia de las diferentes fases del evento ENOS a lo largo del tiempo se tomaron de los registros del Centro para la Predicción del Clima (CPC, 2016). De acuerdo con estos registros el evento ENOS presenta una fase cálida (Niño) y una fría (Niña). Estas fases se definen con base en el Índice Oceánico Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Este índice compara la media móvil de temperatura en 3 meses consecutivos contra la media de un periodo base de 30 años, que a su vez se actualiza cada 5 años. El punto de medición del ONI se localiza en la Región Niño 3.4, localizada en el Océano Pacífico y delimitada por las coordenadas 5°N-5°S, 120°-170°O. Si la media móvil en un mes

dato sobrepasa el umbral de (+/-) 0,5°C; se contabiliza la presencia del evento (Niño/Niña). Si no lo sobrepasa se considera como un mes de características normales.

- $\beta_5(R \times M)$: Efecto fijo ligado a la interacción Región×MES calendario (Clases: reg_1/Mes_1, reg_n/Mes-n).
- $\beta_6(R \times A)$: Efecto fijo ligado a la interacción Región×AÑO calendario (Clases: reg_1/Año_1985, reg_n/Año-n).
- $\beta_7(R \times ENOS)$: efecto fijo ligado a la interacción Región×ENOS (Clase: reg_1/ENOS, reg_n/ENOS).

Efectos Aleatorios

- e_e : Efecto aleatorio debido a la variación ENTRE estaciones meteorológicas.
- d_e : Efecto aleatorio debido a la variación DENTRO de estaciones meteorológicas. Este efecto se incluye para tomar en consideración la interdependencia que existe entre mediciones repetidas dentro de una misma estación (unidad experimental). Esta dependencia se modeló asumiendo una estructura de Auto-Correlación de primer orden, que significa que mediciones realizadas en periodos consecutivos presentan algún grado de interrelación (Mahía, 2010).
- ξ : Error residual aleatorio.

El modelo descrito fue analizado mediante el procedimiento GLIMMIX del programa SAS® versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2010). A partir de las soluciones del modelo se obtuvieron estimados de significancia estadística de los factores evaluados y estimados de Medias Marginales para todas las categorías de los efectos evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad de información

La información disponible fue muy heterogénea, tanto entre estaciones meteorológicas como dentro de las mismas estaciones. Ocho de las estaciones solo contaron con registros de precipitación (Cuadro 1). Asimismo, varias estaciones entraron en funcionamiento o dejaron de funcionar en el transcurso del periodo de análisis, por lo que el periodo de seguimiento fue muy heterogéneo (Cuadro 1).

Para las variables de Temperatura se contó con 24 estaciones de las cuales solo 7 estaban en funcionamiento en 1985, incrementándose a un máximo de 23 estaciones en 1999, que se redujo a 19 en el 2015. Para la variable Precipitación se contó con 33 estaciones, de las cuales 13 estaban funcionando en 1985, incrementándose a un máximo de 32 en 2007 y reduciéndose a 25 en el 2015. Para la variable Humedad Relativa se contó con 22 estaciones, de las cuales 6 estaban funcionando en 1985, incrementándose a un máximo de 21 en 1999, y finalizando con 18 estaciones en el 2015. Para ITH se contó con 24 estaciones, de las cuales solo 6 funcionaban en 1985, alcanzando un máximo de 19 en 1998 y finalizando con 17 para el 2015. La variable Radiación Solar se empezó a registrar hasta 1994 en una sola estación, incrementándose a 11 en 1999 y finalizando con 10 estaciones en el 2015.

En la Figura 2 se muestra el número total de mediciones disponibles por variable analizada y estación, dentro de cada región, en relación al máximo posible de mediciones que fue 372 (31 años×12 meses). La variable con mayor cantidad de registros mensuales fue la Precipitación, con un promedio de registro del 70% en relación al máximo posible, seguida por las Temperaturas Máxima (47%) y Mínima (47%), Humedad Relativa (41%), Temperatura Promedio (24% sin imputación, 47% con imputación) y Radiación Solar (18%). El ITH solo se pudo calcular cuando existían mediciones de Humedad Relativa y Temperatura Promedio, por lo que se tuvo una disponibilidad promedio de 38% entre estaciones.

Algunas estaciones meteorológicas no contaron con ningún dato para una o más variables. La mayor deficiencia se da en las estaciones ubicadas en la Región Atlántica,

luego la Región Norte y por último, la Región Central. Esta última cuenta con un mayor número de mediciones para las variables y un seguimiento más riguroso en las estaciones.

Otro factor de heterogeneidad se relaciona con el tipo de estación, ya que existen diferentes formas de registrar las mediciones. Las estaciones automáticas poseen transmisión satelital (GOES) y sistema digital (SD); mientras que las estaciones mecánicas utilizan medición a través de pluviómetros.

Este desbalance y heterogeneidad en la disponibilidad de información sin duda alguna implica que la interpretación de las tendencias (regiones, meses, años) debe realizarse con cautela, ya que la estructura de los datos no es óptima. La obtención de datos climáticos está propensa a muchas vicisitudes: registros falsos, movimiento de estaciones, falta de registros, como principales problemas, que dan lugar a la aparición de inhomogeneidades ajenas a la realidad climática (Saladié et al., 2005; Guenni et al., 2008). Es por esta razón que en diferentes investigaciones se recomienda que solo se hagan imputaciones mediante el uso de los modelos de regresión lineal y correlaciones parciales, cuando el porcentaje de datos faltantes sea menor o igual al 20% (Urrutia et al., 2010).

En el presente estudio no se hizo uso de imputaciones de series datos climáticos, aparte del ya descrito para la temperatura promedio. Esto debido a la alta proporción de datos faltantes, ya que se consideró inapropiado e inexacto, pudiendo dar origen a sesgos adicionales.

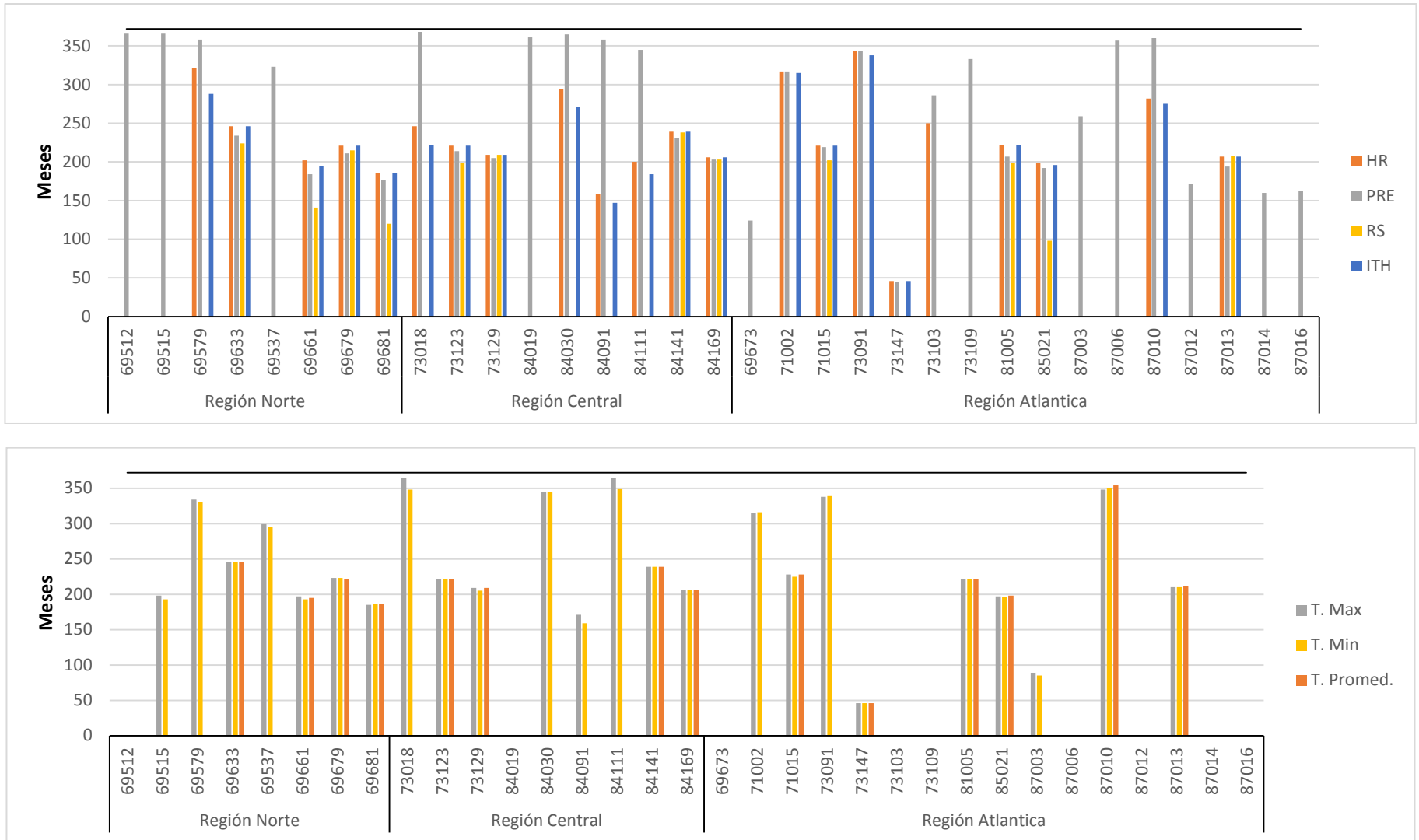


Figura 2. Cantidad de registros mensuales disponibles según estación y variable dentro de región vs. Máximo posible (línea continua = 372)
 Panel Superior: Humedad Relativa (HR), Precipitación (PRE), Radiación Solar (RS) e Índice de Temperatura y Humedad y (ITH).
 Panel Inferior: Temperatura Promedio, Máxima y Mínima.

Resultados generales del modelo GLIMMIX

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del ajuste del modelo GLIMMIX a las variables analizadas. En el caso de la variable Precipitación, se observó una distribución con sesgo positivo en los datos, por lo que se utilizó una distribución LogNormal en la modelación, más adecuada a la tendencia observada. Para todas las demás variables la distribución Normal se ajustó satisfactoriamente a los datos, una vez eliminados los sesgos introducidos por los efectos fijos del modelo. Para todas las variables, el modelo empleado alcanzó la convergencia satisfactoriamente y el análisis de los residuales sugirió un cumplimiento adecuado de supuestos. Asimismo, el estadístico de ajuste (Prueba Chi-cuadrado Generalizado, Cuadro 2) sugiere que el modelo es adecuado en la mayoría de las variables, con excepción de Humedad y Radiación, donde el estadístico sugiere una sobredispersión de los residuales. Esta sobredispersión se interpreta como la existencia de mayor variabilidad de la esperada en los residuales, y puede estar ligada al uso de una distribución inadecuada o a un modelo inadecuado. En este caso indica que los residuales, están sobre dispersos, posiblemente causado por factores adicionales no contemplados en el modelo.

Como se observa, el efecto de región es significativo en todas las variables, excepto radiación (Cuadro 2). Los factores Año y Mes tienen efectos altamente significativos con respecto a todas las variables. El efecto ENOS fue significativo para todas las variables, excepto Humedad y Radiación.

Según León et al. (2000), la posición geográfica juega un papel crucial en las variables climáticas, ya que determina la influencia atmosférica. El clima de Costa Rica se ve afectado por la zona de convergencia intertropical que circula toda la Zona Tropical. De igual forma, los diferentes sistemas de circulación atmosférica tropical, en el espacio y en el tiempo, se traducen en impactos de diferentes magnitudes en el estado del clima; siendo las variaciones intraestacionales las que repercuten a nivel de la escala sinóptica; es decir, sobre la escala ciclónica del trópico.

En cuanto a las interacciones, se observó un efecto significativo de la interacción Región×Mes sobre todas las variables analizadas (Cuadro 2), es decir que los patrones climáticos a lo largo de los meses del año presentan variaciones significativas entre

regiones. Esto se ha reportado en otros estudios, debido a que las características climáticas de una región varían en gran medida, siendo el trópico poseedor de una alta variabilidad climática (Bonilla, 2000). La interacción Región×Año mostró un efecto significativo para las variables Precipitación y Temperatura Mínima, es decir, en estas variables los patrones observados a lo largo de los años son heterogéneos para las distintas regiones. Estos patrones Región×Mes y Región×Año se analizarán en mayor detalle en las secciones siguientes.

Cuadro 2. Cantidad de datos (n), distribución asumida, Ajuste y Valores de significancia (P) para efectos fijos obtenidos a partir del Modelo Mixto de Regresión (GLMM) utilizado para el análisis de las variables climáticas.

	<u>Variables Climáticas</u>						
	<u>Temp. Media</u>	<u>Temp. Máxima</u>	<u>Temp. Mínima</u>	<u>Precipitación</u>	<u>Humedad Relativa</u>	<u>ITH</u>	<u>Radiación Solar</u>
(n) ¹	5725	5796	5728	8599	4978	4599	2254
Distribución	Normal	Normal	Normal	LogNormal	Normal	Normal	Normal
Ajuste ²	0,39	0,98	0,79	0,85	16,05	0,87	6,59
<u>Efectos (fijos)</u>							
Región	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,045	<0,001	0,13
Año	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mes	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ENOS	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	0,20	<0,001	0,48
Región×Mes	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Región×Año	0,25	0,99	<0,001	<0,001	0,16	0,89	0,09
Región×ENOS	0,23	<0,001	0,87	<0,001	0,26	0,96	0,29

¹n : Número total de registros mensuales x estación disponibles para el análisis de la variable respectiva

²El valor de ajuste reportado se obtiene a partir del estadístico Chi-Cuadrado Generalizado dividido entre el número de grados de libertad. Valores cercanos a 1 sugieren ajuste adecuado de la distribución asumida

La interacción de la Región×ENOS fue significativa para las variables Precipitación y Temperatura Máxima, es decir, que el impacto de este fenómeno no fue homogéneo en diferentes regiones para estas variables en particular. La Figura 3 muestra la distribución de las distintas fases del evento ENOS para cada año calendario. Los años con fases cálidas (Niño) acentuadas fueron: 1987, 1991, 1992, 1997, 2002, 2009 y 2015, mientras que las fases frías (Niña) acentuadas ocurrieron principalmente en los años: 1985, 1988, 1998, 1999, 2000, 2008, 2010 y 2011 (CPC, 2016). Distintas investigaciones reportan que la magnitud y duración del evento ENOS no es la misma cada vez que se presenta, y su impacto depende de la susceptibilidad de la región al evento, ya sea a su fase fría (Niña) o a su fase cálida (Niño), ya que este no se presenta aisladamente y puede ser modificado por factores orográficos (Retana y Villalobos, 2000; IMN, 2008; Retana et al., 2011; Bonilla, 2014).

En la Figura 4 se muestra la composición, en términos relativos, de la varianza contribuida por los efectos aleatorios evaluados (varianza *entre* vs. *dentro* estaciones vs. varianza residual). Como se observa la variación *entre* estaciones tiende a ser mayor que la variación *dentro* de estaciones. Esto es de esperar, a mayor homogeneidad en mediciones repetidas sobre una misma unidad experimental (estación) en una misma locación. La excepción es la precipitación, donde la variación dentro de estaciones tiende a ser mayor que entre estaciones.

La variación residual (no explicada) tiende a ser mayor para las variables Precipitación, Radiación y Humedad. La lluvia es el elemento del clima más aleatorio porque es el que está sometido a una mayor variabilidad (Groisman y Legates, 1994). La relativa facilidad para detectar el cambio en algunos elementos climáticos por la persistencia del propio elemento (caso de las temperaturas, campos de presión, entre otras), no ocurre en las precipitaciones por tratarse de sucesos discretos (lluvia o no lluvia).

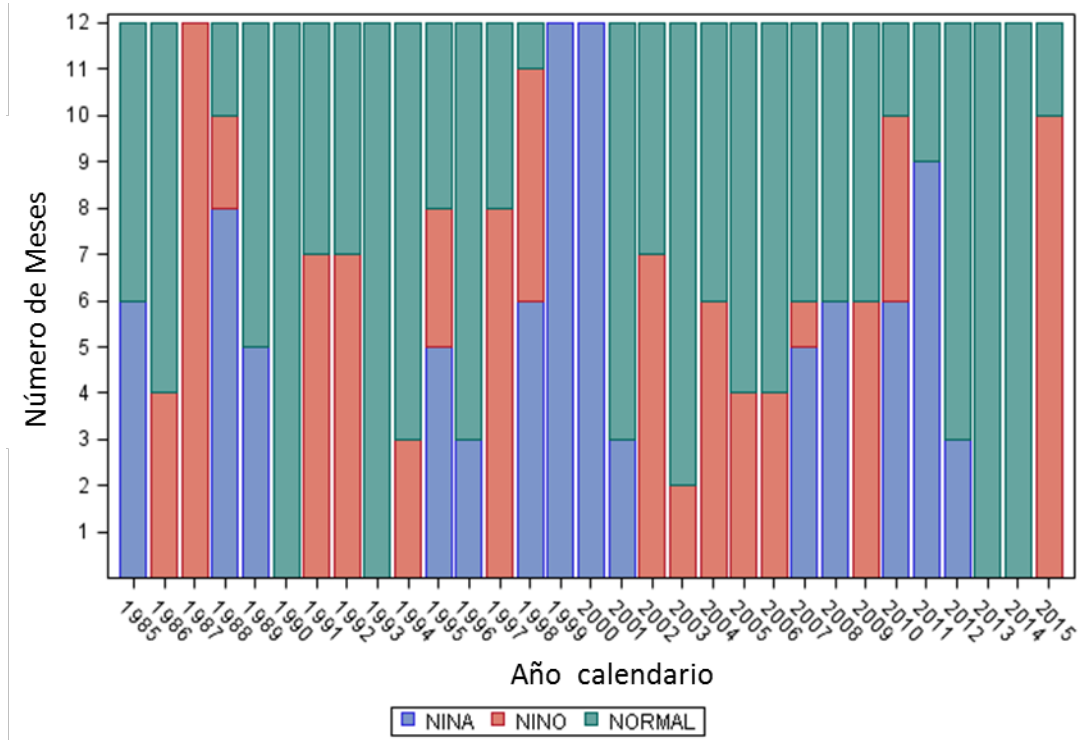


Figura 3. Número de meses clasificados según categoría de evento ENOS (Niño, Niña, Normal) dentro de cada año calendario, para el periodo 1985-2015.

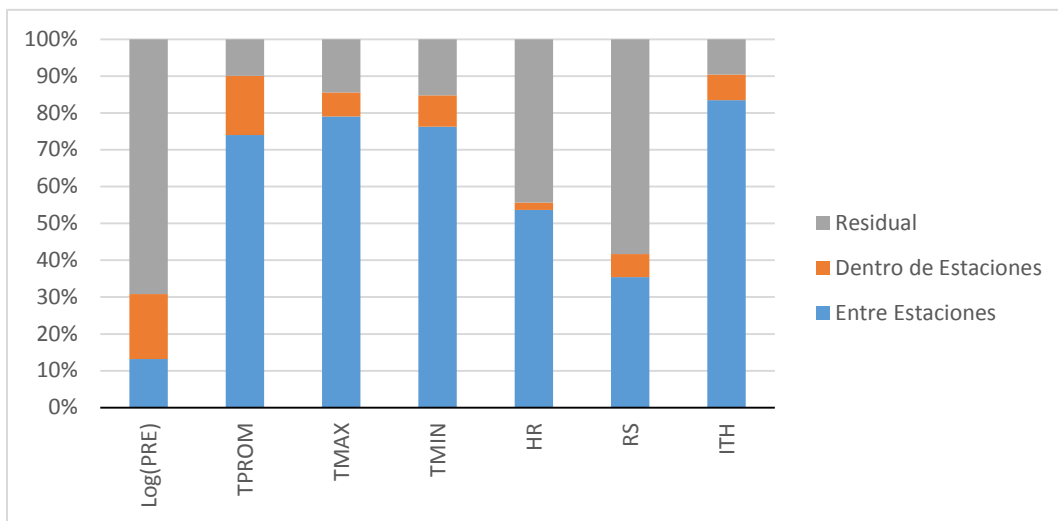


Figura 4. Valor relativo de los componentes de varianza para efectos aleatorios entre estaciones, dentro de estaciones y residual, según variable analizada.

Seguidamente se discutirán las tendencias observadas para todas las variables analizadas.

Temperaturas

La temperatura promedio (TP) observada a lo largo de todo el periodo de estudio fue de 22,94°C (DE: 3,24; MIN: 13,3°C; MAX: 29,7°C). La temperatura máxima (TMAX) promedio fue de 29,5°C (DE: 3,8; MIN: 18°C, MAX: 39°C). La temperatura mínima (TMIN) promedio fue de 18,4°C (DE: 3,49; MIN: 6,9°C; MAX: 25,9°C).

En la Figura 5 se muestran las medias marginales de las temperaturas para la interacción Región×Mes, es decir, la temperaturas ajustadas según el mes calendario y Región, obtenidas a partir de la solución del modelo GLMM. Los patrones observados son bastante regulares. En las tres variables (TMAX, TP, MIN) se observa que los valores en la Región Atlántica tienden a ser ligeramente mayores (alrededor de 0,5 °C) con respecto a la Región Norte, y significativamente mayores (alrededor de 5,5 °C) con respecto a la Región Central.

Los patrones de cambio de temperatura a lo largo del año son similares entre regiones, con algunas variaciones, principalmente en la Región Central, que posee temperaturas mucho más bajas que las otras regiones. En términos generales, las temperaturas tienden a ser menores en los meses de diciembre, enero y febrero; y mayores en los meses de mayo a octubre. Para TP y TMAX se aprecia un ligero declive hacia la mitad del año, más marcado en las regiones Atlántica y Norte. En la Región Norte se observa el mismo patrón de la Región Atlántica a lo largo del año, aunque posee una TP menos elevada, y presenta un descenso menos marcado en los meses de julio y agosto. En términos climáticos, la Región Norte tiene una gran influencia de la Región Atlántica (IMN, 2008), de ahí la similitud en sus patrones térmicos.

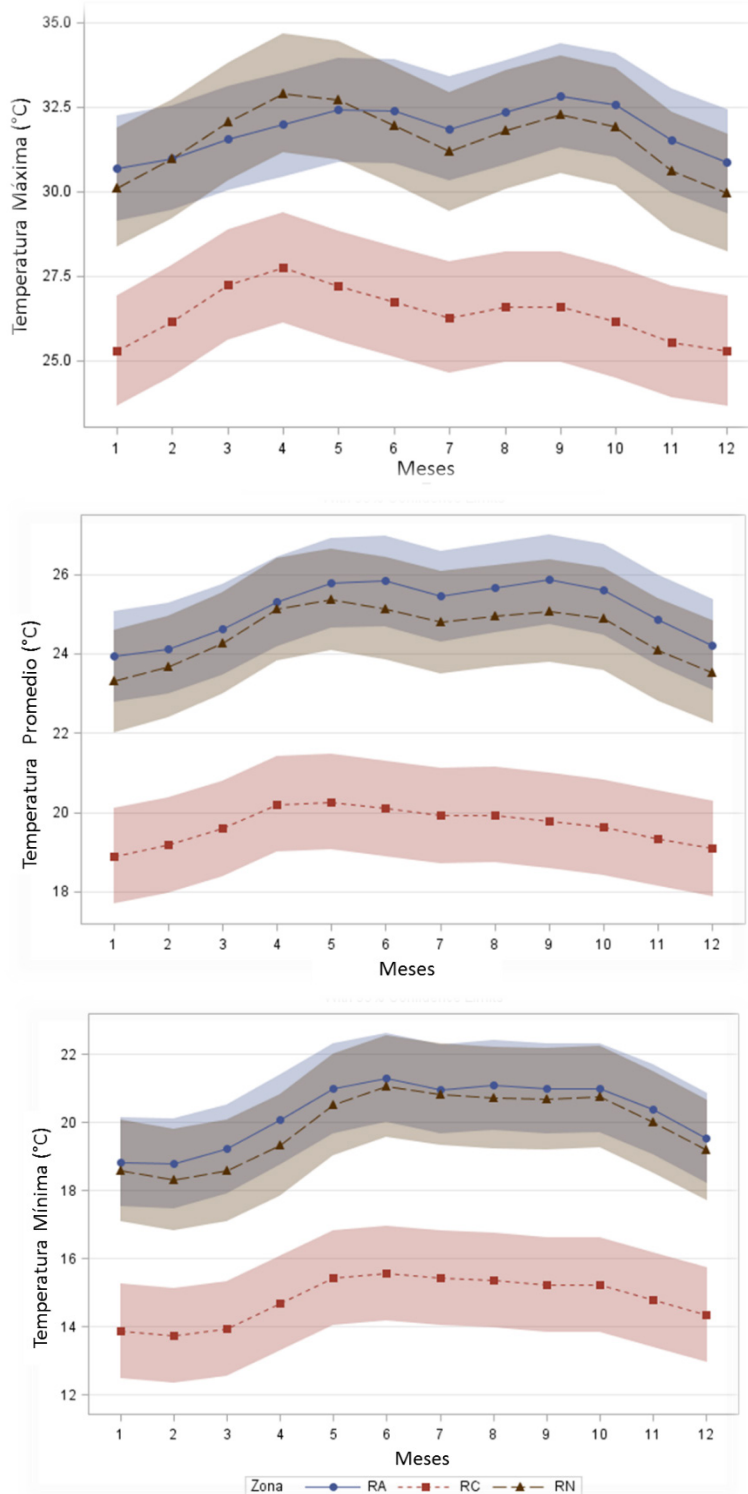


Figura 5. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para las variables de Temperatura Máxima (TMAX, panel superior), Promedio (TP, centro) y Mínima (TMIN, panel inferior) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) la Región climática (RA: Atlántica, RC: Central, RN: Norte).

Los menores valores de temperatura observados en la Región Central pueden asociarse a diferentes influencias. La temperatura es un elemento meteorológico que varía principalmente en función de la altitud (IMN, 2008). La Región Central posee una altura promedio de 1 400 msnm (Solano, 1996); y se ha reportado en diferentes estudios que la temperatura disminuye un grado por cada aumento de 180 m sobre el nivel del mar en la Región tropical (Goldbrunner, 1977; León, 2002). Por otra parte, hay una alta influencia del Atlántico durante el periodo seco, lo que permite que la humedad ambiental no sea tan baja y las temperaturas no tan altas como en el Pacífico. Existe además una fuerte influencia de los vientos alisios y los frentes fríos al final y al principio de año (IMN, 2008). En la Región Central se observó un descenso marcado en TMAX en los meses de julio y agosto; que coinciden con el veranillo de San Juan y la presencia de un fuerte viento alisios, lo que conlleva a presencia de menores temperaturas y disminución en la humedad en todas las regiones del país (Ramírez, 1983, IMN, 2008).

En la Figura 6 se observa la tendencia en temperaturas (TMAX, TP, TMIN) a lo largo de los años para diferentes regiones. Nuevamente se observan patrones muy similares en las regiones Atlántica y Norte, y temperaturas significativamente menores para la Región Central. Esta menor semejanza de la Región Central a las otras Regiones se debe a su posición, ya que posee influencia del Atlántico, pero también del Pacífico (Solano, 1996; IMN, 2008).

En la Región Atlántica, las Temperaturas (TP, TMAX, TMIN) más elevadas se dieron en el año de 1998, mientras que las temperaturas más bajas fueron en los años 1985, 2000, 1985, respectivamente. Entre 2001 y el 2015, TP y TMAX muestran pequeñas fluctuaciones con amplios intervalos de confianza, mientras que para TMIN se observa una ligera tendencia de aumento. Algunas investigaciones han mencionado una tendencia al aumento de la Temperatura Promedio en las serie de tiempo de casi todas las estaciones meteorológicas de la Región Atlántica (Gómez y Fernández, 1996; Smith et al., 2008; Amador et al., 2013). Dados los amplios intervalos de confianza, esta tendencia no se pudo evidenciar en el presente estudio.

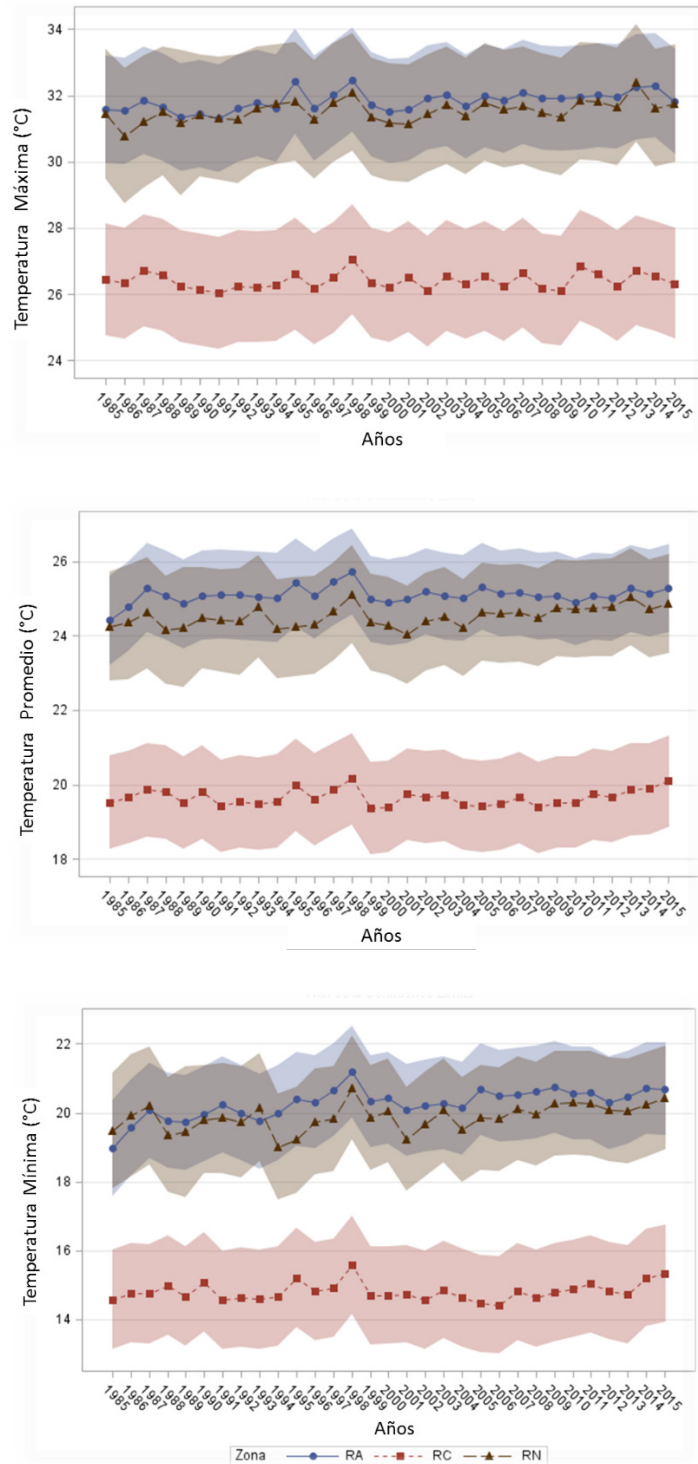


Figura 6. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para las variables de Temperatura Máxima (TMAX, panel superior), Promedio (TP, centro) y Mínima (TMIN, panel inferior) en función de los años (1985-2015) Región climática (RA: Atlántica, RC: Central, RN: Norte).

En la Región Norte, el año de 1998 presentó valores altos para TP, TMAX y TMIN. Esta Región presentó un patrón irregular en TP desde 1985 hasta el 2001. A partir del 2002, se muestra un aumento progresivo en la TP y TMIN, lo cual ha sido reportado también por otros estudios (Bouroncle et al., 2015). TMAX presenta un patrón interanual muy regular.

En la Región Central, el año con mayor TP fue 1998, de igual forma para TMAX y TMIN. El patrón térmico para esta Región fue más regular, notándose una ligera tendencia al aumento a partir del 2008 para la TP, si bien los intervalos de confianza son muy amplios. Esta tendencia también se observa en TMIN, no así en TMAX. Corrales (2010), expuso algo similar, al decir que en Centroamérica las noches y días fríos han disminuido -2,2% a -2,4% del promedio anual, algo que repercute en el Temperatura Mínima y Máxima Anual.

Los picos de altas y bajas temperaturas presentes en las regiones, en especial la alta TP anual reflejada en 1998, coinciden con la presencia del evento ENOS, según se observa en la Figura 3 (CEPAL, 1998; Retana et al., 2001). Como se mencionó anteriormente el evento ENOS tuvo un efecto significativo sobre todas las variables de Temperatura. En el Cuadro 3 se observa como la fase cálida del evento ENOS produjo incrementos promedio de 0,1; 0,2 y 0,1 °C con respecto a meses normales, en las regiones Atlántica, Norte y Central, respectivamente; mientras que la fase fría produce reducciones de -0,1; -0,1 y -0,2 °C, respectivamente. Solo las diferencias observadas en la Región Central fueron estadísticamente significativas.

Cuadro 3. Medias Marginales¹ (±E.E) de Temperatura promedio (°C) según Región para distintas fases del evento ENOS

<u>Región</u>	<u>Fases ENOS</u>		
	<u>Niña</u>	<u>Normal</u>	<u>Niño</u>
Región Atlántica (±E.E)	25,0a (±0,58)	25,1a (±0,58)	25,2a (±0,58)
Región Norte (±E.E)	24,4a (±0,66)	24,5a (±0,66)	24,6a (±0,66)
Región Central (±E.E)	19,5c (±0,61)	19,7b (±0,61)	19,8a (±0,61)

¹ Medias con literales distintas dentro de una misma Región difieren significativamente (P≤0.05)

Precipitación

El promedio de precipitación mensual para el periodo en estudio fue de 244,6 mm (DE: 185,2; MIN: 0 mm, MAX: 1467 mm). En la Figura 7 se muestran las medias marginales de precipitación (en escala logarítmica) según mes calendario y Región. En términos generales se observa que la región Atlántica es la más lluviosa a lo largo del año, sin presentar una estación seca definida.

En la Región Atlántica los meses de febrero a abril son los de menor pluviosidad, mientras que los meses más lluviosos son mayo, junio, julio, noviembre y diciembre. Esta tendencia ha sido reportada previamente (IMN, 2008). El litoral Atlántico posee dos periodos lluviosos interrumpidos por dos mínimos, el primero abarca los meses de noviembre a febrero y es provocado por los frentes fríos; el segundo abarca desde abril a agosto y es debido a la presencia de vaguadas de altura que inciden en la Región.

La Región Norte es similar a la Atlántica, aunque posee unos meses con menor intensidad de lluvia (enero a abril). Esta similitud se debe a que tiene una gran influencia de la Región Atlántica (Ramírez, 1983; Solano, 1996; IMN, 2008).

La Región Central presenta diferencia marcada con las anteriores, ya que muestra una época con acentuada disminución de las lluvias (enero a abril), mientras que los meses más lluviosos son septiembre y octubre (Figura 7). Se presenta un declive en las lluvias en los meses de julio y agosto, que concuerda con la aparición del veranillo de San Juan y la presencia de fuertes vientos alisios, lo que conlleva a la disminución de las lluvias en la mayoría de las regiones del país (Ramírez, 1983; IMN, 2008). Tanto en la Región Norte como la Central no se presentan épocas estrictamente secas debido a la alta influencia del Atlántico (IMN, 2008). Las lluvias existentes en los meses de diciembre y enero, son debidas a la aparición de los frentes fríos que afectan a la Región Atlántica y repercuten sobre las regiones Norte y Central.

En la Figura 8 se observan las medias marginales de precipitación a lo largo de los años según Región. Nuevamente se observa una mayor precipitación en la Región Atlántica, seguida por la Norte y la Central. Los patrones observados son irregulares con presencia de altibajos, algunos de los cuales son coincidentes entre regiones.

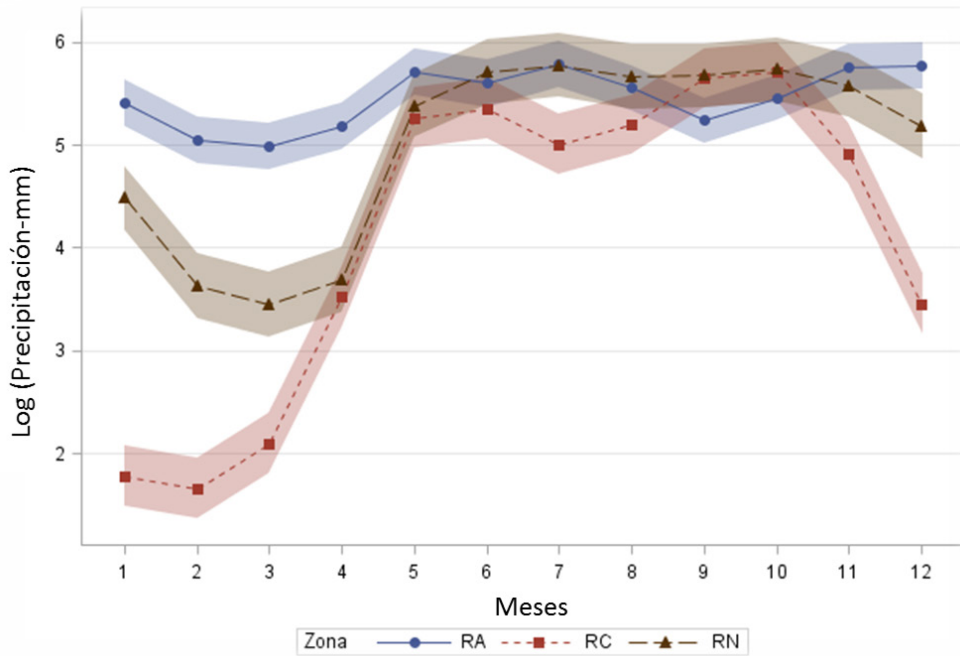


Figura 7. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable precipitación (PRE, logaritmo) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

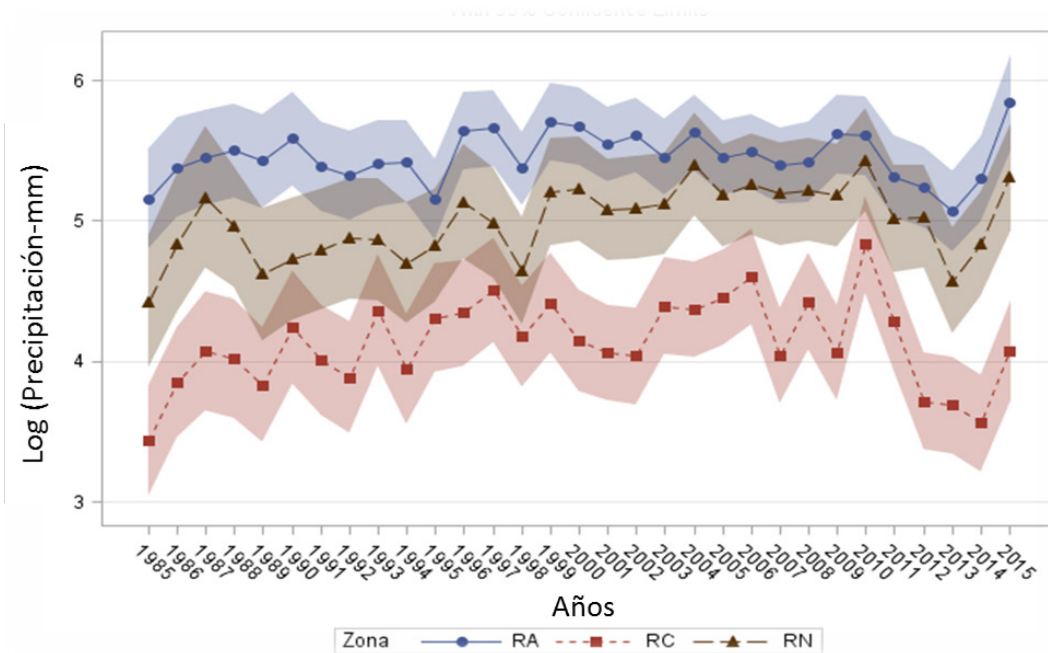


Figura 8. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable precipitación (PRE, logaritmo) en función de los años (1985-2015) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

En la Región Atlántica los años con menor pluviosidad fueron los años 1995, 1998, 2013 y los de mayor pluviosidad fueron 1990, 1996, 1997 y 201. En la Región Norte, los años con mayor pluviosidad fueron 1987, 1996, 2011; y los de menor cantidad de lluvias: 1989, 1995, 1998 y 2013. En la Región Central, los años con menor pluviosidad fueron 1985, 1998, 2002, 2007, 2009, 2014, mientras que los años de mayor pluviosidad fueron 1990, 1993 y 2011.

Los años de alta o baja pluviosidad tienden a concordar con la presencia del evento extremo ENOS (Figura 3, Cuadro 4). En este estudio, se observó una disminución significativa de la precipitación en las regiones Norte y Central en meses con presencia de evento Niño, no así en la Región Atlántica (Cuadro 4). El evento Niña no produjo diferencias estadísticamente significativas con respecto a los meses normales.

Cuadro 4. Medias Marginales¹ (\pm E.E) de pluviosidad (mm/mes) según Región para distintas fases del evento ENOS

Región	Pluviosidad (mms/mes) según fase ENOS		
	<u>Niña</u>	<u>Normal</u>	<u>Niño</u>
Región Atlántica	225 ^a	242 ^a	238 ^a
(\pm E.E)	(1,12)	(1,11)	(1,12)
Región Norte	159 ^a	163 ^a	125 ^b
(\pm E.E)	(1,17)	(1,16)	(1,17)
Región Central	70 ^a	72 ^a	48 ^b
(\pm E.E)	(1,16)	(1,15)	(1,16)

¹ Medias con literales distintas dentro de una misma región difieren significativamente ($P \leq 0,05$)

Cabe destacar que la presencia de este evento hidrometeorológico no afecta a todas las regiones con la misma intensidad o forma. El evento Niña es conocido por propiciar lluvias en el Pacífico, mientras que produce sequía en las regiones Central y Norte. El Niño es conocido por producir sequías en el Pacífico, mientras que produce exceso de lluvias en el Atlántico (IMN, 2008; Vallejo, 2012).

En el Cuadro 2 se mostró una afectación significativa del evento ENOS con respecto a la variable precipitación, lo que se corrobora en la Figura 9, donde se observan picos pluviométricos que coinciden con los años de presencia del ENOS.

Varios estudios han mencionado una tendencia clara a la disminución de las lluvias en Centroamérica, demostrando la disminución de las lluvias debido a la menor incursión de los empujes fríos hacia lo profundo del Atlántico, concatenado con una presencia débil de los vientos alisios por la influencia del ENOS (Gonzales, 1999; Zárate, 2005). Esa tendencia no se pudo corroborar en el presente estudio dado la irregularidad de los patrones observados y los amplios intervalos de confianza. Para un análisis más integral de los patrones lluviosos se deben incluir otras variables como la cantidad de días en que ocurre el evento y el volumen que se deposita (Gonzales, 1999, IMN, 2008).

Humedad Relativa

El promedio de Humedad Relativa en el periodo analizado fue de 85,2% (DE 6,7; MIN 50%; MAX: 100%). En la Figura 9 se muestran las tendencias en HR a lo largo de los meses para las tres regiones. La HR tiende a ser mayor en la Región Atlántica, seguida por la Norte y la Central, con algunas diferencias a lo largo del año.

En la Región Atlántica la HR fluctuó desde 84,6% hasta 92,2%, siendo los meses de febrero a abril los de menor HR, y los meses de julio, noviembre y diciembre los de mayor HR. Según Gomez y Fernández (1996), esta es la Región más húmeda del país alcanzando valores entre 87% y 90%, datos muy cercanos a los reportados en este estudio.

La Región Norte posee una alta variabilidad en HR a lo largo del año, con 5 meses más bajos (enero a mayo) y 7 meses más altos (junio a diciembre). Según el IMN (2008) hay un descenso del porcentaje de humedad relativa que coincide con los meses de menos precipitación en los primeros meses del año.

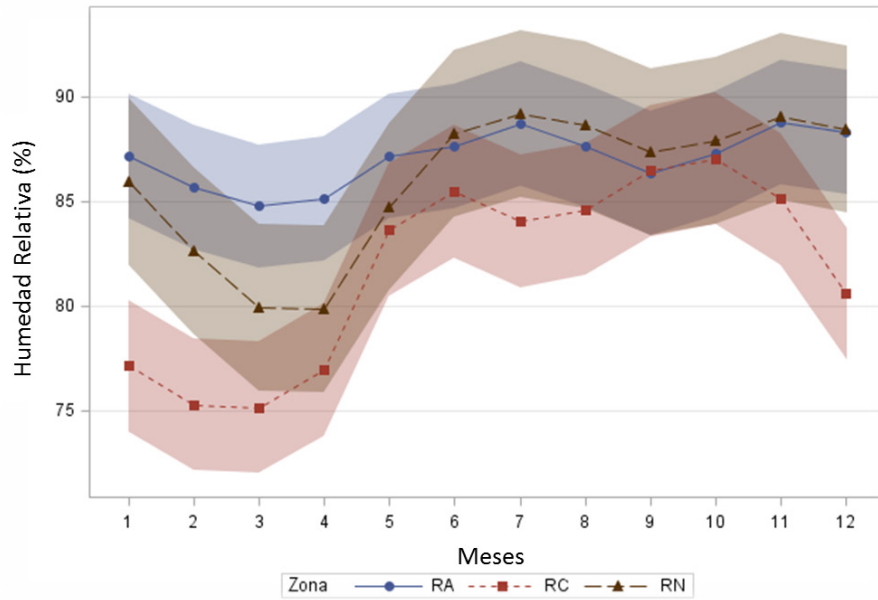


Figura 9. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Humedad Relativa (HR) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

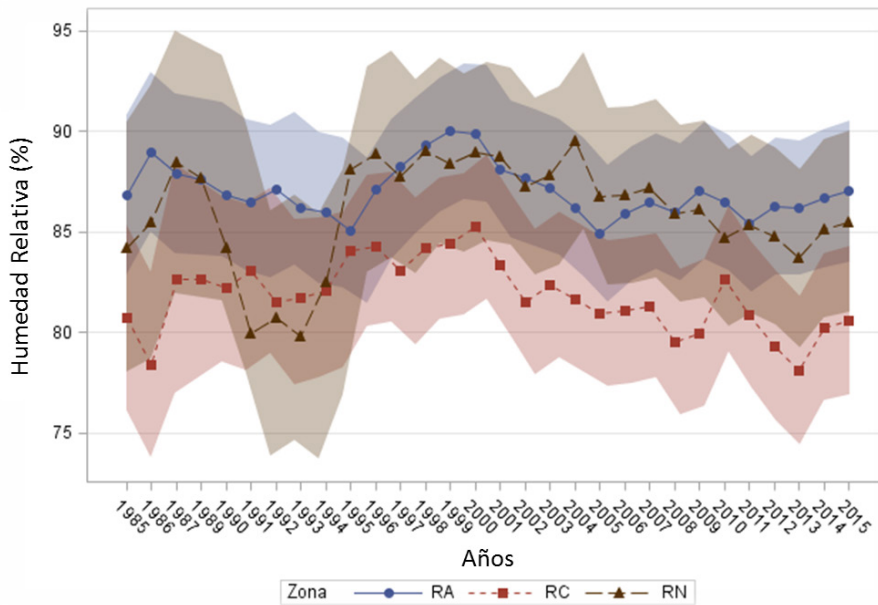


Figura 10. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Humedad Relativa (HR) en función de los años (1985-2015) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

En la Figura 10 se observan las tendencias en HR según año para cada región. En general, los valores extremos en la humedad relativa, tanto altos como bajos, concuerdan con la incidencia de eventos ENOS lo que concuerda con diferentes investigaciones, que pone al Fenómeno de El Niño como un evento que modifica todas las variables climáticas del trópico (CEPAL, 1998; Retana et al., 2001). A partir del 2000 se observa una tendencia a la reducción en HR en las 3 regiones, más marcada en la Región Central. Amador et al. (2013) encontraron tendencias en algunas partes de la Región Atlántica sector norte, donde se forma un núcleo de humedad debido a la alta pluviosidad y las altas temperaturas, es decir hay potencial para evaporar y a la vez hay disponibilidad de agua. En las regiones altas y de alta influencia del Atlántico, las altas precipitaciones combinadas con temperaturas no tan altas, ocasionan que se mantenga la humedad en el sistema.

Índice de Temperatura-Humedad (ITH)

El valor medio de ITH para el periodo analizado fue de 72 (DE 5,4; MIN 56; MAX: 84,7). En la Figura 11 se muestran las medias marginales de ITH a lo largo de los meses, según región. El patrón observado es muy regular, formándose 3 líneas casi paralelas a lo largo del año, con valores mayores para la Región Atlántica, seguida por la Norte y la Central. Hay una estrecha asociación entre humedad y temperatura, ya que el aire caliente retiene más vapor de agua que el aire frío (Hansen, 2009; Góngora y Fernández, 2010; Román, 2010).

En la Región Atlántica el ITH fluctúa entre 73-77. Los meses de diciembre a marzo son los de menor ITH; mientras que mayo, junio y setiembre presentan los valores más altos. En el mes de julio hay un leve descenso que coincide con el veranillo de San Juan y la presencia fuertes vientos alisios (Ramírez, 1983; IMN, 2008). La Región Norte posee una gran influencia de la Región Atlántica (IMN, 2008), y esto se observa claramente en la Figura 11, ya que el patrón de la curva de ITH es casi perfectamente paralelo, pero alrededor de 1 punto más bajo en comparación con la Región Atlántica. La Región Central también presenta un patrón muy similar, con un rango de ITH entre 65- 67. Otros estudios han reportado que el ITH varía de igual forma que la temperatura y la humedad (García et al., 2002).

En la Figura 12 se observa la variación interanual en ITH según la región. Se observan tendencias homogéneas entre regiones, más elevadas para la Región Atlántica, seguida por la Norte y la Central. La zona litoral posee mayor humedad relativa y posee temperaturas altas, lo cual favorece a índices de temperatura humedad mucho más elevados (García et al., 2002).

En la Región Atlántica, los años con menor ITH fueron el 2000, 2001 y 2008; mientras que los años con mayor ITH fueron 1987 y 1998. La Región Norte presentó un comportamiento muy semejante, debido a la gran influencia del Atlántico (Solano, 1996). Similar tendencia se observó en la Región Central pero con 7-8 puntos menos en ITH. Esto confirma que esta Región también tiene una gran influencia del Atlántico, sin olvidar que presenta años diferentes también, lo que puede deberse a que esta Región también es influenciada por el Pacífico (Solano, 1996; IMN, 2008).

Los años con altos y bajos valores de ITH también concuerdan con la presencia del evento extremo ENOS (El Niño o La Niña). La presencia de este evento hidrometeorológico presentó efecto significativo sobre esta variable (Cuadro 2), ya que el ENOS es el mayor moldeador del clima en el trópico (Fernández y Ramírez, 2001).

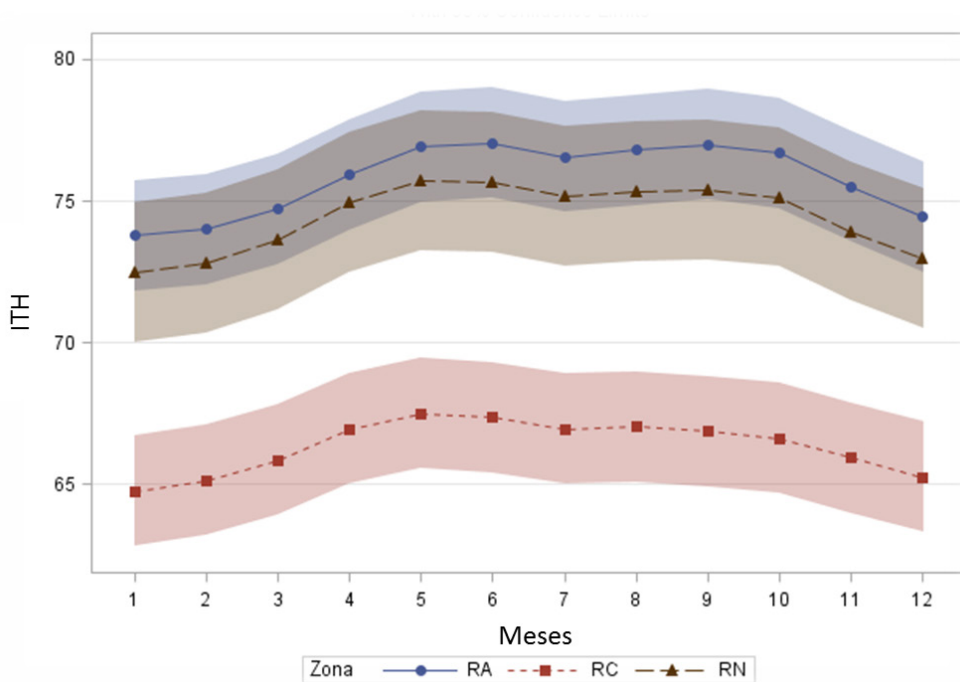


Figura 11. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

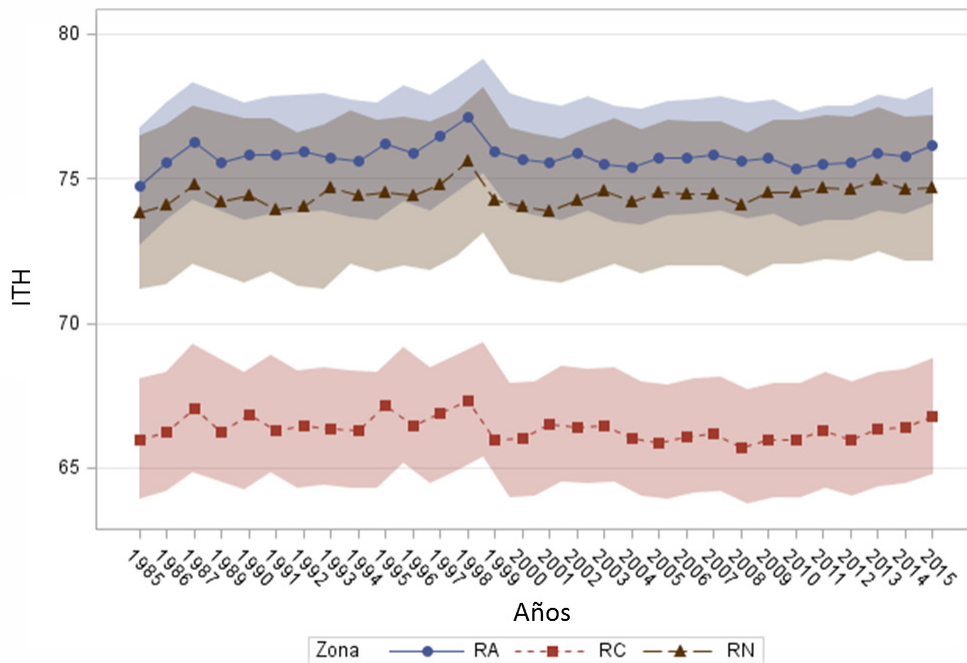


Figura 12. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en función de los años y la región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

Radiación Solar

El promedio general de radiación solar fue de 13,7 MJ/m² (DE: 3,8; MIN: 2,5; MAX: 25,2). En la Figura 13 se muestran las medias marginales de RS a lo largo de los meses, según región. El patrón observado es bastante homogéneo, con valores mayores de RS en la Región Central, seguida por la Norte y la Atlántica.

En la Región Central los meses con mayor RS son febrero a abril y los de menor RS Octubre a Diciembre. En las regiones Norte y Atlántica los patrones y valores de RS son muy similares, con valores ligeramente mayores para la Región Norte en los meses de Enero a Abril. Según Castro (1987) las zonas bajas del país reciben menos radiación debido a que el aire de esas regiones por lo general contiene más humedad y partículas en suspensión que las zonas altas. Además, el espesor de atmósfera que deben atravesar los rayos solares es mayor. Los valores más altos de RS ocurren cuando el sol pasa sobre el cénit local en abril y en agosto. Las nubes pueden reflejar o absorber hasta un 90% de RS, razón por la cual en los meses de mayor precipitación la intensidad de RS disminuye, como se observa en la Figura 13 (Castro, 1987; Gómez, 1996).

En la Figura 14 se muestra que la región que recibió mayor intensidad de radiación a lo largo de los últimos 20 años es la Región Central, mientras que la que posee menor radiación es la Región Atlántica. Cabe destacar que la Región Norte ha mantenido la incidencia de radiación solar relativamente constante. No obstante, a partir del 2010 se observa un cierto incremento en RS en las tres Zonas, si bien los intervalos de confianza son amplios.

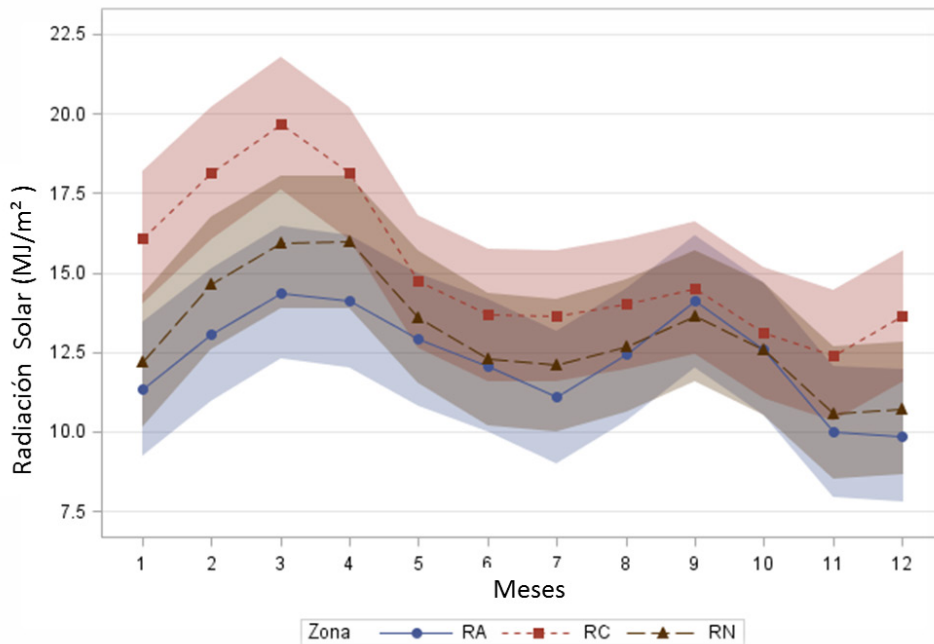


Figura 13. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Radiación Solar (RS) en función de los meses del año (1: Enero, 12: Diciembre) y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

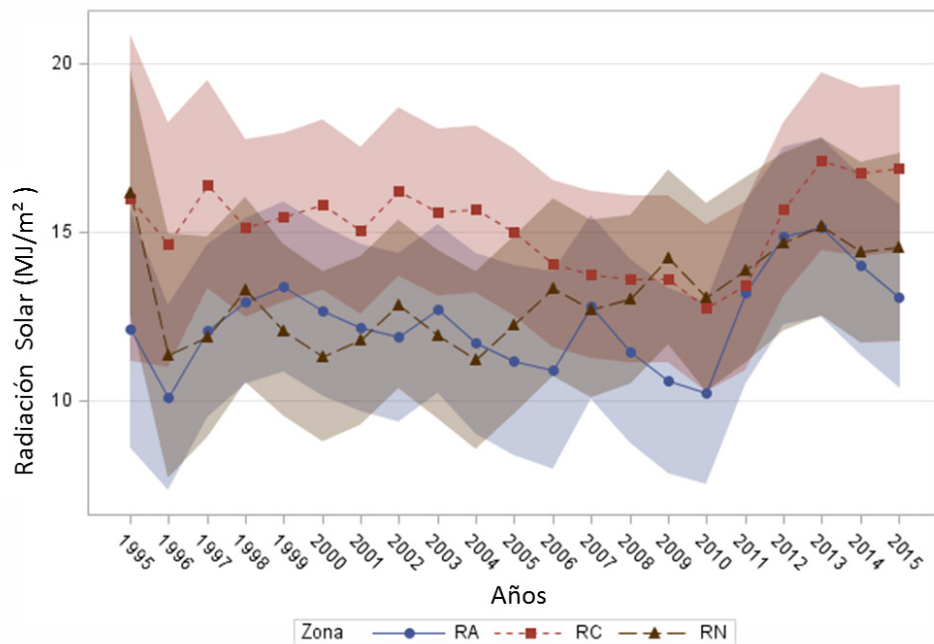


Figura 14. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Radiación Solar (RS) en función de los años y la Región climática (RA: Atlántica; RC: Central, RN: Norte).

CONCLUSIONES

- Este estudio denotó la falta de un seguimiento adecuado y constante para la gran mayoría de las estaciones meteorológicas disponibles, sobre todo en los años previos al 2000. Esto sin duda limita los alcances del presente estudio y similares. No obstante, los datos disponibles permiten cuantificar algunas tendencias marcadas en las variables climáticas.
- Los factores Mes y Año presentaron significancia para todas las variables analizadas. Mientras que el factor de Región no fue significativo para RS, y ENOS no fue significativo para HR y RS.
- Las regiones Atlántica y Norte presentan un comportamiento similar (interanual e intermensual) para las variables TMIN, TP, TMAX, ITH, RS y PRE, no así en la variable Humedad Relativa. Por el contrario, la Región Central presenta diferencias marcadas, principalmente en las variables RS, la Temperatura y PRE. En general, la Región Central presenta menores Temperaturas, Humedad Relativa, precipitación e ITH, pero una mayor incidencia de RS.
- Se demostró el impacto significativo del efecto ENOS, principalmente para las variables de Temperatura, Precipitación e ITH. Se demuestra, además, que este efecto tiene diferentes impactos en las regiones estudiadas.
- La interacción de Región×Mes mostró impacto significativo en todas las variables. Las tendencias intermensuales difieren entre regiones, principalmente en las variables Temperatura, Precipitación e ITH. La aparición del Veranillo (San Juan, Canículas I y II), es un evento que afecta a la mayoría de las variables, con excepción de la variable de ITH, que solo presenta un leve descenso.
- La interacción de Región×Año mostró impacto significativo para las variables TMIN y Precipitación. Las tendencias interanuales fueron más heterogéneas para las variables HR y RS, y más homogéneas para las variables de Temperatura, ITH y PRE. Se demostró que estas variaciones interanuales están ligadas en parte a la influencia de ENOS. No puede obviarse, además, el posible efecto del desbalance en la información disponible para diferentes periodos de tiempo.
- Se observan altos valores de ITH, por encima de 75, principalmente en las Regiones Norte y Atlántica. Se hace necesario realizar estudios que cuantifiquen el impacto que

pueda tener esta variable sobre el rendimiento observado en la producción pecuaria bovina.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, J. 2012. Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. Tesis. Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Amador, J., E. Alfaro, H. Hidalgo, F. Soley, F. Solano, J. Vargas, F. Sáenz, B. Calderón, P. Pérez, J. Vargas, R. Díaz, A. Goebel, A. Montero, J. Rodríguez, A. Salazar, P. Ureña, N. Mora, I. Rivera, C. Vega y C. Bojorge, 2013. Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera. Informe Final del Proyecto VI-805-B0-402. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica y Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Costa Rica. 225 pp.
- Argeñal, F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. Programa de las naciones unidas para el desarrollo. Honduras. http://www.bvsde.org.ni/web_textos/golfonseca/0173/14%20variabilidad%20climatica%20honduras.pdf (consultado 11 Jul. 2015).
- Barrantes, G., L. Jiménez y T. Maldonado. 2006. Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo de Costa Rica. Undécimo Informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica.
- Bonilla, A. 2014. Patrones de sequías en Centroamérica. GWP Centroamérica. Tegucigalpa, Honduras. http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Patrones%20de%20sequ%C3%ADa_FIN.pdf (consultado 11 Jul. 2016)
- Bouroncle, C., P. Imbach, P. Läderach, B. Rodríguez, C. Medellín, E. Fung, M. Martínez y C. Donatti. 2015. La agricultura de Costa Rica y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? CCAFS (CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security). Copenhagen, Dinamarca. <http://www.conservation.org/publications/Documents/La-Agriculture-de-Costa-Rica-y-el-Cambio-Climatico.pdf> (Consultado 3 Jul. 2016).

- Castro, V. 1987. Radiation Solar Global en Costa Rica. Nota de Investigación N° 6. Instituto Meteorológico Nacional, MAG, San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Estudio+sobre+Radiaci%C3%B3n+Global+en+Costa+Rica> (Consultado 18 Jul. 2016)
- Castro, D., y Y. Carvajal. 2013. Análisis de tendencia en la precipitación pluvial anual y mensual en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Memorias, 11:9-18.
- CEPAL (Comisión Económica de Las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe) 1999. El fenómeno de El Niño en Costa Rica durante 1997-1998: Evaluación de su impacto y necesidades de rehabilitación, mitigación y prevención ante las alteraciones climáticas. México, México. 51p.
- Chevarri, P. 2014. Cambio climático y ordenamiento territorial en Costa Rica. Perspectivas Fes Costa Rica - O 1/2014. Fundación Friedrich Ebert. San José, Costa Rica.
- Corrales, L. 2010. Efectos del cambio climático para Centroamérica. Cuarto informe estado de la región. CONARE, San José, Costa Rica. p. 14 -16 y 55.
- CPC (Centro para la Predicción del Clima). 2016. Episodios fríos y calientes por temporada. National Weather Service. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml (3 Agost. 2016).
- De Luis, M., J. González, J. Raventós, J. Cortina, y J. Sánchez. 1998. Estudio espacial y temporal de las tendencias de la lluvia en la Comunidad Valenciana (1961-1990). Cuaderno de investigación Geográfica. Vol. 24: 7-24.
- García, M., P. Leva, M. Zbrun, M. Veles, J. Gandolfo, y S. Valtorta. 2002. Tendencias de índices meteorológicos y biometeorológicos. Revista FAVE, Ciencias Agrarias 1 (1): 27 - 36.
- Goldbrunner, A. 1977. El clima de Venezuela y su clasificación. Ministerio de la Defensa, Servicio de Meteorología y Comunicaciones de la Fuerza Aérea. Curso de extensión en Meteorología. Caracas, Venezuela.

- Gómez, I. y W. Fernández. 1996. Variación Interanual de la temperatura en costa Rica. Instituto tecnológico de Costa rica (ITCR). *Top. Meteor. Oceanogr.* 3(1): 27-44.
- González, J. 1999. Aproximación metodológica al análisis de la estructura de la tendencia de la lluvia. *Geographicalia.* 37: 53-72.
- Góngora, A. y A. Fernández. 2010. La reproducción de la vaca se afecta por las Altas Temperaturas. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13 (2): 141-151.
- Groisman, P. y D. Legates. 1994. The accuracy of United States Precipitation data. *B Am Meteor Soc.* (75):215-227.
- Guenni, L., E. Degryze y K. Alvarado. 2008. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística.* 31(1):41-65.
- Hansen, J. y S. Lebedeff .1987. Global trends of measured surface air temperature, *J. Geophys. Res.*, 92: 13345-13372.
- Hansen, P. 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* (92):109-116.
- Hawkins, E. y R. Sutton. 2011. The Potential to Narrow Uncertainty in Projections of Regional Precipitation Change. *Clim Dynam.* 37(1): 407–418.
- Hawkins, E. y R. Sutton. 2009. The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. *B Am Meteorol Soc.* 90(8): 1095–1107.
- Huggel, C., M. Scheel, M. Rohrer, L. Vicuña, C. Jurt, N. Andres, F. Albrecht, N. Khabarov, M. Zappa, T. Konzelmann, P. Calanca, A. Raissig, N. Salzmann, W. Silverio, M. Vander. 2012. Metodologías para la formulación de Líneas de Base y Medidas de Adaptación al Cambio Climático en Ecosistemas de Alta Montaña. Universidad de Zurich. Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson y J. Lawrimore, 2008. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *J. Climate.* 21: 2283-2296. http://www.geo.uzh.ch/~chuggel/files_download/andesplus/AndesPlus_Producto5_Final.pdf (Consultado 3 Jul. 2016).

- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité de recursos hidráulicos, San José, Costa Rica. p. 3,5.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). 2011. Proyectos de adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Bogotá. http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/AdCC/File/09_gutierrez.pdf (consultado 4 Ago. 2015).
- Key N., S. Sneeringer, y D. Marquardt. 2014. Climate change, heat stress and U.S. dairy production. USDA. Reporte No. 175. Http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2506668 (consultado 29 de feb. 2016).
- León G, J. Zea y J. Eslava. 2000. Circulación general del trópico y la Zona de Confluencia Intertropical en Colombia. Meteorol Colomb. Santa Fe de Bogotá, Colombia 1:31-38.
- León, A.2002. Clasificación de pisos térmicos. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 43(2): 311-328.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2007. Agrocadena de la leche. Dirección Regional Central-occidental. Gracias, Costa Rica. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00071.pdf> (consultado: 26 de oct. 2016).
- Mahía, R. 2010. Conceptos básicos sobre la autocorrelación en el modelo básico de regresión lineal. Universidad Autónoma de Madrid. https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/rarce/pdf/autocorrel.pdf (consultado 22 de ago. 2016)
- National Research Council (NRC). 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. Natl. Washington, DC. Acad. Sci.
- OMM (Organization Mundial de Meteorología). 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO, Geneva No.8:17-19.
- Ramírez P. 1983. Estudio Meteorológico de los veranillos en Costa Rica. Nota de Investigación N° 5. Instituto Meteorológico Nacional, MAG, San José, Costa Rica.

- <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Estudio+sobre+veranillos+en+Costa+Rica> (consultado 14 Jul. 2016).
- Retana, J. y R Villalobos. 2000. Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica basado en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. *Tóp. Meteor. Oceanogr.* 7(2):124-130.
- Retana, J., R Villalobos y A. Acuña. 2001. El niño y los incendios forestales en Costa Rica. IMN (Instituto Meteorológico Nacional). <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/El+Ni%C3%B1o+y+los+incendios+forestales> (Consultado 3 Jul. 2016).
- Retana, J. 2011. Relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) y anomalías de temperatura del aire en el pacífico norte de costa rica durante anos ENOS como posible predictor de potencialidad de plaga de langosta. IMN (Instituto Meteorológico Nacional). <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/El+Ni%C3%B1o+como+predictor+de+langosta> (Consultado 3 Jul. 2016).
- Ríos, N. y M. Ibrahim. 2008. Impactos del Cambio Climático Sobre los Recursos Hídricos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 30: 3.
- Rodríguez, C., A. Encinas, S. Nieto y J. Garmendia. 1998. Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* 18: 299-316.
- Román, H., 2010. Efectos de stress térmico sobre la fertilidad del ganado bovino. Programa de investigación con ganado lechero en clima tropical instituto nacional de investigaciones pecuarias. SARH. Veracruz. México. *Ciencia Vet.* 2:265-288.
- Saladié, O., M. Brunet, E. Aguilar, J. Sigró y D. López. 2005. Datos de precipitación mensual ajustada del sector nororiental de la península Ibérica (1850-2000). Technical report Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España.
- SAS Institute Inc. 2010. SAS/STAT® 9.2 User's Guide, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute. Inc.

<https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugmcmc/63125/PDF/default/statugmcmc.pdf> (consultado 29 Feb. 2016).

Solano, J. 1996. Aspectos fisiográficos básicos para las principales regiones de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.

Solano, J. y R. Villalobos. 2000. Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.

Thom, E. 1959. The discomfort index. *Weather wise*. 12: 57–60.

Toro, C. 2011. El cambio climático: Impacto sobre la producción agrícola y las prácticas de adaptación. Servicio de extensión agrícola. Universidad de Mayaguez. Puerto Rico.

Urrutia, J., R. Palomino y H. Salazar. 2010. Metodología para la imputación de datos faltantes en meteorología. *Sci et Tech*. No 46. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. <http://www.redalyc.org/pdf/849/84920977010.pdf> (consultado: 22 de ago. 2016).

Vallejo S., L. Valverde y M. Hidalgo. 2012. Histórico de desastres en Costa Rica (Febrero 1723 - Setiembre 2012). CNE (comisión nacional de prevención de riesgos y atención de emergencias). San José, Costa Rica. <http://www.bvs.sa.cr/ambiente/4923.pdf> (Consultado 15 Jul. 2016).

Vargas, B., y J. Ulloa. 2008. Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de costa rica. *Livestock research for rural development* 20:7. <Http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm> (consultado 18 Oct. 2015).

West, J., B. Mullinix, y J. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232–242

Zewdu, W., B. Thombre, y D. Bainwad. 2014. Effect of macroclimatic factors on milk production and reproductive efficiency of Holstein Friesian×Deoni crossbred cows. *J. Cell Anim. Biol.* 8(4):50-60.

Capítulo II

EFFECTO DEL ÍNDICE DE TEMPERATURA - HUMEDAD (ITH) SOBRE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA DE HATOS LECHEROS EN LAS REGIONES NORTE Y CENTRAL DE COSTA RICA

JUAN ISMAEL RUIZ JARAMILLO

Resumen

Efecto del índice de temperatura - humedad (ITH) sobre la eficiencia productiva de hatos lecheros en las Regiones Norte y Central de Costa Rica.

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar la asociación entre el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) y las variables producción diaria de leche (KGL) e Intervalo Parto Concepción (IPC) en hatos lecheros de las regiones climáticas Norte y Central de Costa Rica. Se analizaron 6 796 385 registros de KGL y 346 500 registros de IPC provenientes de 430 hatos lecheros colectados en el periodo entre 1990 y 2015. Los valores de ITH para las locaciones de los hatos bajo estudio durante el periodo analizado se obtuvieron mediante interpolación *Kriging* a partir de series de datos climáticos provenientes de 33 estaciones meteorológicas. Las variables KGL e IPC fueron analizadas mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLMM) que consideró los efectos fijos de Raza, Año, Número de Parto, ENOS, ITH y Raza×ITH. Para KGL se incluyeron además los efectos de Etapa de Lactancia y Raza×Etapa de Lactancia. Todos los factores presentaron efecto altamente significativo ($P < 0,0001$) sobre KGL e IPC. Se observó un descenso escalonado en KGL desde 17 hasta 11 kg asociado a incrementos de ITH desde 63 hasta 77. El patrón escalonado se relacionó con las regiones climáticas. Los grupos raciales Holstein, Holstein×Jersey y Holstein×Pardo Suizo mostraron un descenso más marcado, mientras que Pardo Suizo, Jersey, y Pardo Suizo×Jersey mostraron un descenso menos marcado, pero con menores volúmenes de producción. Se observó un aumento escalonado en IPC desde 105 hasta 125 d asociado a incrementos de ITH desde 64 hasta 77. Las razas Pardo Suizo y Jersey, así como los cruces Holstein×Pardo Suizo, Jersey×Pardo Suizo y Holstein×Jersey, mostraron una elevación progresiva en el IPC conforme aumenta el ITH, mientras que la raza Holstein presentó un aumento escalonado en IPC a partir de ITH=70. Estos resultados confirman el efecto adverso de ITH sobre la producción y el intervalo parto concepción.

Palabras Claves: producción de leche, intervalo parto concepción, ITH.

Abstract

Effect of the temperature - humidity index (THI) on the productive efficiency of dairy herds in the North and Central Regions of Costa Rica.

The objective of this study was to evaluate the association between Temperature and Humidity Index (THI) and variables daily milk production (KGL) and Calving to Conception Interval (CCI) in dairy herds of the northern and central climatic regions of Costa Rica. We analyzed 6 796 385 KGL and 346 500 CCI records from 430 dairy herds collected in the period between 1990 and 2015. THI values for the locations of herds under study during the analyzed period were obtained by Kriging interpolation performed on climatic data series from 33 meteorological stations. The variables KGL and CCI were analyzed using a Generalized Linear Model (GLMM) that considered the fixed effects of Race, Year, Calving Number, ENOS, THI and Race \times ITH. For KGL, the effects of Stage of Lactation and Race \times Lactation Stage were also included. All factors had a highly significant effect ($P < 0.0001$) on KGL and CCI. A stepwise decrease was observed in KGL, from 17 to 11 kg, associated with increases in THI from 63 to 77. The stepwise pattern was related to the climatic regions. The Holstein, Holstein \times Jersey and Holstein \times Brown Swiss racial groups showed a more marked decline, while Brown Swiss, Jersey, and Brown Swiss \times Jersey showed a less marked decrease, but with lower production volumes. There was a stepwise increase in CCI from 105 to 125 d associated with increases in THI from 64 to 77. The Brown Swiss and Jersey races, as well as the Holstein \times Brown Swiss, Jersey \times Brown Swiss and Holstein \times Jersey races showed a progressive increase in the CCI as the THI increases, whereas the Holstein breed showed a stepwise increase in CCI from THI = 70. These results confirm the adverse effect of high THI on dairy milk yield and calving to conception interval.

Key words: milk yield, calving to conception interval, THI.

INTRODUCCIÓN

Existe cada vez más evidencia de que el calentamiento global, provocado por la influencia del hombre, está induciendo marcadas modificaciones de las corrientes atmosféricas y marinas; lo que a su vez tiene un impacto sobre el clima y su variabilidad (Argueñal, 2010; Corrales, 2010; Altamirano, 2012).

La producción láctea depende en gran medida del desempeño reproductivo de cada hembra (Vargas y Ulloa, 2008). Adicionalmente, las variables climáticas, como la temperatura y humedad, entre otras, pueden afectar la fisiología de los animales y por ende la producción de leche, sus componentes y el bienestar del ganado en general (IMN, 2008; Ríos e Ibrahim, 2008). El efecto de eventos climáticos extremos sobre la producción de leche se puede evidenciar por caídas en el rendimiento que pueden ser identificadas y tienen un efecto inmediato sobre los ingresos generados (Dunn et al., 2014).

La producción de leche es sumamente sensible a variables climáticas; especialmente en el trópico, ya que la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar se combinan produciendo alteraciones fisiológicas, denominadas en conjunto *estrés calórico*. El *estrés calórico* se define como la sensación de malestar que experimentan los organismos cuando la permanencia en un ambiente determinado exige esfuerzos desmesurados a los mecanismos encargados de mantener la temperatura interna, mientras se efectúa el intercambio de agua y demás sustancias (West et al., 2003).

El estrés calórico es uno de los causantes de mayores pérdidas en el rubro lechero ya que afecta parámetros reproductivos tal como el intervalo parto concepción, y parámetros productivos como la producción de leche total (Ríos e Ibrahim, 2008). Una forma indirecta de cuantificar el estrés calórico al que pueden estar expuestos los bovinos es mediante el índice de temperatura – humedad (ITH) (Román, 2010). En términos generales, la zona de confort para los bovinos se encuentra en valores de ITH <70. Valores de ITH mayores a 72 producen incrementos en la frecuencia respiratoria. En el rango de ITH entre 75 y 78 el animal experimenta estrés calórico, y valores de ITH >78 ocasionan malestar y riesgos de salud (Armstrong, 1994). Según Dunn et al. (2014), la combinación de la temperatura del aire y la humedad relativa tiene similar efecto, ya sea que la temperatura es baja y la

humedad alta; o que la temperatura es alta y la humedad baja, produciéndose en ambos casos valores de ITH elevados.

Más del 50% de la población bovina mundial se ubica en los trópicos, por lo que el estrés calórico causa severas pérdidas económicas en más del 60% de la ganadería de leche (Wolfenson et al., 2000). La reducción en producción promedio diaria de leche, tan solo por el incremento de la humedad relativa (HR) alcanza hasta 1,75 kg /animal (Wingching et al., 2008). Esto empeora en presencia de eventos extremos como el ENOS (Zewdu et al., 2014). En algunos países de la franja tropical, se estima que las elevaciones en el Índice de Temperatura-Humedad causan pérdidas de 1,8 millones de toneladas de leche de la producción anual, lo cual representa más de 650 millones de dólares (Zewdu et al., 2014).

Las vacas lecheras lactantes expuestas a altas temperaturas ambientales, a menudo ligadas a alta humedad relativa, pueden presentar problemas reproductivos como falta de celo o celos silenciosos, abortos, reabsorción embrionaria y problemas en la implantación embrionaria (Román, 2010). Estas condiciones climáticas además aumentan las probabilidades de distocia, enfermedades metabólicas o anestros. La raza Holstein generalmente presenta mayor sensibilidad al estrés calórico, en comparación con la Jersey o la Pardo Suizo (Rivera y Hansen, 2001; Soto, 2001; Mee, 2004). Se ha encontrado evidencia de que los cambios de temperatura y humedad ambiental afectan la fertilidad, con mayor afectación en los meses de verano, de temporadas calurosas o de sequía, provocando reducciones en el porcentaje de concepción desde 75% a 10% (Román, 2010; Hammami, 2013).

En vaquillas, las altas temperaturas aumentan la incidencia de las ovulaciones silenciosas y provocan una reducción en la duración del estro, desde las 18 horas que se consideran normales a una duración de 10 horas o menos (Román, 2010). Los cambios en la temperatura y humedad ambiental están correlacionados estrechamente con el momento de la inseminación, por lo que éste es probablemente el periodo crítico en el cual la fertilidad se ve afectada (Rivera y Hansen, 2001). El estrés climático desemboca también en problemas sanitarios, ya que el animal se encuentra sometido a tensión, su sistema inmunológico es más débil, y esto conlleva a diarreas o mortalidad en terneros durante los

periodos secos y a retrasos en la entrada de las hembras de remplazo a la vida productiva (Román, 2010; Toro et al., 2011).

El propósito de este estudio es determinar la posible asociación entre las tendencias observadas en el Índice de Temperatura y Humedad para el periodo 1990-2015 en las regiones Norte y Central de Costa Rica con las tendencias en parámetros de eficiencia productiva de hatos lecheros.

MATERIALES Y METODOS

Fuentes de información

Se utilizaron las series mensuales de las variables temperatura y humedad relativa correspondientes al periodo (1990 – 2015, 26 años), provenientes de 33 estaciones meteorológicas administradas por el IMN y el ICE, ubicadas en las regiones climáticas Norte (n=8), Central (n=9) y Caribe (n=16). La disponibilidad de información para estas variables fue descrita previamente en el Capítulo 1 (esta tesis). En algunos casos (2742 entre 5725) se utilizó una regresión lineal múltiple para predecir la Temperatura Promedio, cuando no estuvo disponible, en función de las temperaturas máxima y mínima del mes correspondiente. La ecuación de predicción obtenida fue $T_p = 1,31 + 0,56 \times T_{min} + 0,39 \times T_{max}$ (capítulo 1, esta tesis).

A partir de las variables de temperatura y humedad se calculó el Índice de Temperatura y Humedad- ITH. Esta variable se consideró como un indicador del estrés calórico al que podrían estar expuestos los bovinos en diferentes regiones, años y épocas. Dado que existen diversos tipos de ITH, para el presente estudio se utilizó el propuesto por Thom (1959) y NRC (1971), diseñado para ganado en condiciones bajo pastoreo, y obtenido mediante la fórmula:

$$ITH = (1,8 \times T + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times HR) \times (1,8 \times T - 26)]$$

Dónde: T corresponde a la temperatura promedio bulbo seco y HR a la Humedad Relativa.

En relación a las variables de eficiencia productiva, se contó con la información disponible en la base de datos VAMPP (Noordhuizen y Buurman, 1984) administrada por el proyecto CRIPAS (Romero et al., 2011) de la Universidad Nacional. Esta base de datos

contiene información de 1574 hatos lecheros o de doble propósito localizados en las regiones Central y Norte, en las provincias de Alajuela, Cartago, Heredia y San José, con un tiempo de seguimiento promedio de $8,5 \pm 7,2$ años, abarcando el periodo comprendido entre 01/01/1990 a 31/12/2015. Para este análisis no se consideraron los hatos ubicados en la región Atlántica debido a su reducido número.

Análisis estadístico descriptivo

Las tendencias observadas para las variables temperatura, humedad relativa e ITH a lo largo del periodo analizado fueron descritas previamente en el Capítulo 1 (esta tesis).

En cuanto a las variables productivas, se extrajo información de la base de datos VAMPP para 2 variables: producción diaria de leche (KGL) e Intervalo Parto Concepción (IPC). Se realizó una revisión exhaustiva para detectar la existencia de posibles valores extremos o valores erróneos en la base de datos. Estos datos fueron eliminados de análisis subsecuentes.

Posteriormente, se seleccionaron los hatos que contaron con un mínimo de ($n=1000$) observaciones para KGL y ($n=100$) observaciones para IPC, y que además contaban con posicionamiento geográfico preciso, obtenido a partir un estudio previo realizado por Guillén (2015). Una vez realizada esta selección, se procedió al cálculo de estadísticos descriptivos de tendencia central (promedio, mediana) y medidas de dispersión (Desviación Estándar, Intervalos de Confianza) para KGL e IPC.

Interpolación de datos climáticos

Se realizó una estimación de la variable (ITH) a lo largo del periodo 1985-2015 para las locaciones de los hatos bajo estudio, utilizando un método que combinó estimaciones lineales obtenidas a partir de un modelo mixto de regresión (capítulo 1, esta tesis) con procedimientos de interpolación basados en la posición geográfica de los hatos analizados y las series climáticas de las 33 estaciones meteorológicas disponibles. El procedimiento se basa en la metodología descrita por Kolovos (2010) y se resume en los siguientes 4 pasos:

- a) Obtención de residuales sin tendencia para ITH. Aparte de la ubicación geográfica, el ITH es afectado por múltiples factores, tales como Año, Mes, Región, ENOS. Se utilizó el modelo estadístico descrito en el capítulo 1 (esta tesis) para estimar y remover el efecto de estos factores sobre ITH, y obtener valores residuales (sin tendencia) de la variable ITH en cada estación meteorológica y periodo (mes dentro de año). A este modelo se agregaron también los efectos: latitud, latitud×latitud, longitud y longitud×longitud, con los cuales se pretende remover los denominados *efectos de superficie* (Kolovos, 2010). De esta manera se produjeron valores residuales que representan la variación espacial en ITH ajustada por los demás efectos ya mencionados.
- b) Modelado de la autocorrelación espacial mediante Variografía. En este paso se utilizaron semivariogramas (Barrientos, 2007) para analizar la correlación espacial existente entre los residuales de ITH en diferentes pares de locaciones (estaciones). Inicialmente, se generaron semivariogramas empíricos utilizando el procedimiento VARIOGRAM (SAS, 2010); agrupando los pares de locaciones en 5 intervalos, cada uno con 0,20 grados decimales de amplitud. Posteriormente, mediante el mismo procedimiento se exploró el ajuste de distintos modelos teóricos a la tendencia observada, seleccionando el de mejor ajuste. Se evaluó además el cumplimiento del supuesto de *anisotropía*, explorando la tendencia de la semivarianza en 4 distintas direcciones (0°, 45°, 90° y 135°). Los modelos teóricos evaluados fueron: circular, esférico, exponencial, pentaesférico, potencial, gaussiano, Sinusoidal (Sine-hole) y lineal, así como posibles combinaciones entre estos.
- c) Predicción de residuales en las locaciones de los hatos. El modelo predictivo seleccionado se utilizó para predecir los valores más probables de los residuales en las locaciones correspondientes a los distintos hatos. Esta predicción se realizó utilizando el método de interpolación Kriging (Eberly et al., 2004; Barrientos, 2007), mediante el procedimiento KRIGE2D (SAS, 2010). Este procedimiento realiza interpolación *kriging* de tipo *ordinario* mediante el cual se generan ponderaciones desde los valores medidos aledaños (estaciones) para predecir las locaciones no medidas (hatos), de manera que las estaciones más cercanas a los hatos ejercen una mayor influencia en el cálculo. Las ponderaciones están basadas en el semivariograma seleccionado en el paso

anterior, el cual refleja de manera más realista la organización y naturaleza de los datos analizados (Barrientos, 2007). La predicción se realizó para cada año y mes en los cuales se contó con datos productivos (KGL e IPC) dentro de cada hato. En la predicción se utilizaron todas las estaciones ubicadas en un radio máximo de búsqueda de 0,50° con respecto a la locación del hato, siempre y cuando se contara con un mínimo de 5 estaciones. En caso de no contar con las 5 estaciones el radio se amplió hasta lograr ubicar las 5 estaciones. En los casos donde no se contó con el número mínimo de 5 estaciones con datos de ITH en el año y mes respectivo, no se realizó predicción.

- d) Estimación de ITH en las locaciones de los hatos. En este paso el modelo descrito en el paso a) fue utilizado nuevamente para obtener estimados lineales de ITH en las locaciones de los hatos, utilizando el procedimiento PLM (SAS, 2010). Estos estimados representan los valores esperados de ITH incorporando las tendencias causadas por los factores incluidos en el modelo. Finalmente, estos estimados son sumados a los residuales predichos (paso c) para obtener un valor final predicho de ITH.

Análisis de asociación

Para explorar la posible asociación entre variables climáticas y productivas se utilizó la metodología de Modelos Lineales Mixtos Generalizados utilizando el procedimiento GLIMMIX (SAS, 2010).

El modelo propuesto para el análisis de la variable KGL es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \beta_0 + \beta_1 RA + \beta_2 AN + \beta_3 NP + \beta_4 EL + \beta_5 (Ra \times EL) + \beta_6 ENOS + \beta_7 ITH + \beta_8 (Ra \times ITH) + \varepsilon$$

donde:

- Y_{ijklm} : Producción de Leche (KGL diaria, “n” observaciones diarias disponibles dentro del mes calendario).
- β_0 : Intercepto.
- $\beta_1 RA$: Efecto fijo ligado al grupo racial (Clases: J8= Jersey, H×J= Holstein y

Jersey, H8= Holstein, H×PS= Holstein y Pardo Suizo, PS8= Pardo Suizo, J×PS= Jersey y Pardo Suizo).

- $\beta_2 AN$: Efecto fijo ligado al año Calendario (Clases: 1990...2015).
- $\beta_3 NP$: Efecto fijo ligado al número de parto (Clases: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 o más).
- $\beta_4 EL$: Efecto fijo ligado a la etapa de la lactancia (Clases en periodos de 20 d.: 0, 20, 40...360).
- $\beta_5 Ra \times EL$: Efecto fijo ligado a la interacción Raza×etapa de lactancia (Ra_1/L_0...Ra_n/L_360)
- $\beta_6 ENOS$: Efecto fijo ligado a ENOS (Clases: Niño, Niña, Normal). La ocurrencia de las diferentes fases del evento ENOS a lo largo del tiempo se tomaron de los registros del Centro para la Predicción del Clima (CPC, 2016).
- $\beta_7 ITH$: Efecto fijo ligado al Índice de Temperatura y Humedad (ITH), obtenido por interpolación *Kriging*, y categorizado por redondeo al entero más próximo (Clases: 63, 64...77).
- $B_8 RA \times ITH$: Efecto fijo ligado a Raza×ITH (Ra_1/ITH_63...Ra_n/ITH_77)
- ξ : Error residual aleatorio.

Cabe señalar que en el modelo anterior no se incluyeron las variables de región y mes, dado que ambas están estrechamente relacionadas con el ITH, por lo que su inclusión podría resultar en confusión de efectos, impidiendo una correcta interpretación de los datos.

Para el análisis de la variable Intervalo Parto Concepción (IPC) se utilizó un modelo similar, con excepción de los efectos de etapa de lactancia (EL) y su interacción con la raza (Ra×EL). El valor de ITH utilizado en este caso, corresponde a un promedio de los valores de los meses comprendidos entre la fecha del parto y la fecha de la concepción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de hatos

Como resultado de los criterios de selección, se contó finalmente con un total de 430 hatos con suficiente información para las variables de producción de leche e intervalo parto-concepción. Estos hatos se ubicaron en las provincias de Heredia (n=39), Alajuela (n=283), San José (n=34) y Cartago (n=74) (Figura 1). La gran mayoría de estos hatos se ubican en las faldas de los volcanes Poás, Barva e Irazú.

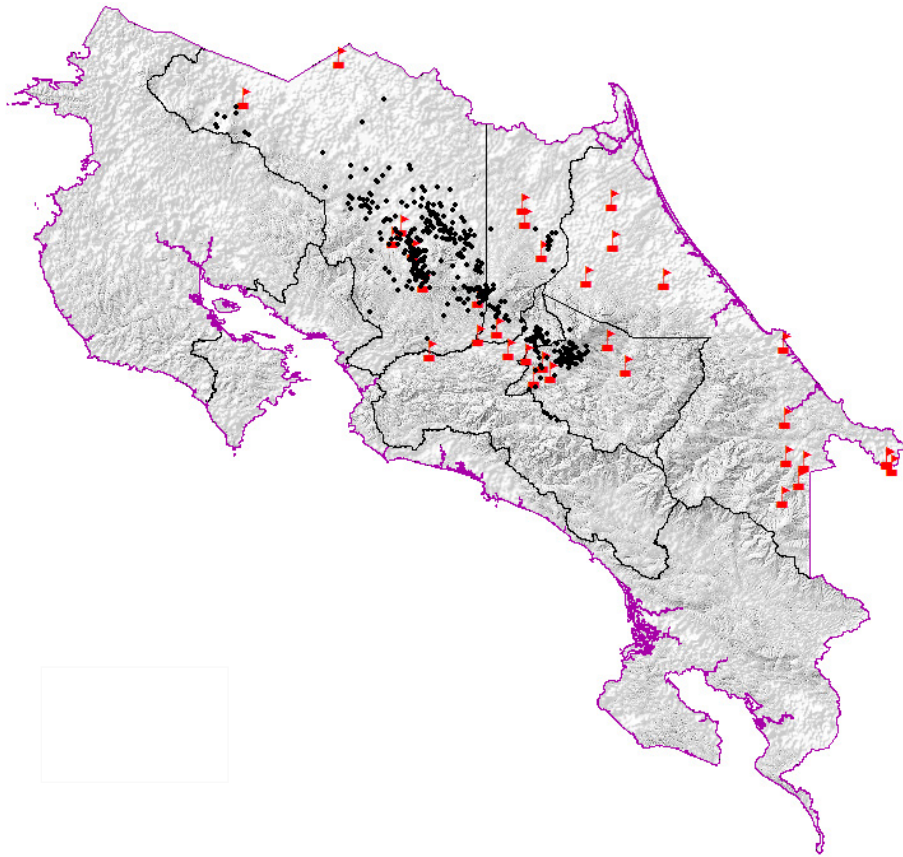


Figura 1. Ubicación de los hatos seleccionados (puntos) y las estaciones meteorológicas (Banderas) utilizadas en el presente estudio.

Predicción dinámica de ITH en las locaciones de los hatos

La semivarianza observada de los residuales de ITH presentó valores muy homogéneos con una ligera tendencia sinusoidal creciente (Figura 2). El modelo que mejor se ajustó a esta tendencia fue el denominado Pow-SHE (Power- Sine Hole Effect, Figura 2) que combina las funciones de Potencia y Sinusoidal. Se exploró el comportamiento de la semivarianza en 4 diferentes direcciones (0, 45, 90 y 135 grados) con el fin de evaluar el cumplimiento del supuesto de *anisotropía*, encontrando patrones sinusoidales similares, aunque no idénticos.

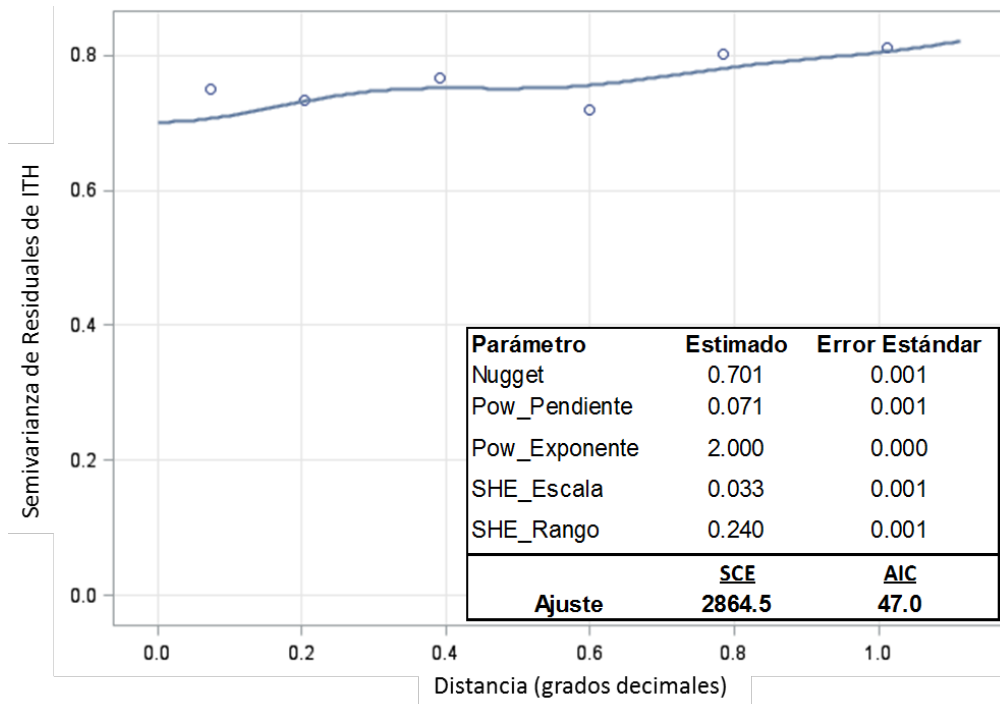


Figura 2. Parámetros, criterios de ajuste (SCE, AIC) y curva estimada del modelo (Power-Sine Hole Effect) a los valores observados (círculos) de semivarianza de residuales para la variable ITH.

Una vez seleccionado el modelo de mejor ajuste, se procedió a obtener los valores residuales predichos mediante *kriging* para cada uno de los hatos seleccionados, durante los meses y años en que éstos contaron con seguimiento en VAMPP. Esto dio origen a un total

de 48 892 valores residuales predichos (Cuadro 1). Finalmente, estos residuales fueron sumados con los estimados lineales de ITH obtenidos a partir del modelo de regresión para obtener los valores predichos de ITH en las locaciones de los hatos. Cabe destacar que la desviación estándar de los residuales predichos fue muy baja (0,51) en comparación con el valor lineal de ITH obtenido del modelo predictivo (68,7). Esto sugiere que la variación residual es muy reducida, siendo el estimado lineal el que mayor impacto tiene sobre las predicciones finales de ITH.

Cuadro 1. Promedios, desviaciones estándares, mínimos y máximos de valores residuales predichos , estimados lineales y valores predichos de ITH (n= 48 892)

<u>Variable</u>	<u>Promedio</u>	<u>Desviación Estándar</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>
Residuales Predichos de ITH	-0,007	0,51	-2,35	1,78
Estimados Lineales de ITH	68,78	3,61	63,19	79,37
Valores Predichos de ITH	68,78	3,63	62,23	79,62

A manera de ilustración, en la Figura 3, se muestran los valores predichos de ITH para el mes de Enero del año 2015. Se observan 3 diferentes niveles de ITH. El nivel más bajo presenta un rango aproximado de ITH entre 62 y 66, que corresponde a los hatos pertenecientes mayormente a la Región Central. Un segundo nivel, con rango aproximado de ITH entre 68 y 74, que corresponde principalmente a hatos ubicados en la Región Norte, mayormente el cantón de San Carlos. Se observa además un pequeño grupo de valores de ITH por encima de 76, que corresponden a hatos ubicados en el cantón de Sarapiquí, donde existe una alta influencia de la Vertiente del Atlántico, tanto en humedad como en temperatura. Estos valores predichos de ITH son altamente concordantes con las tendencias descritas para esta variable en el capítulo 1 (esta Tesis).

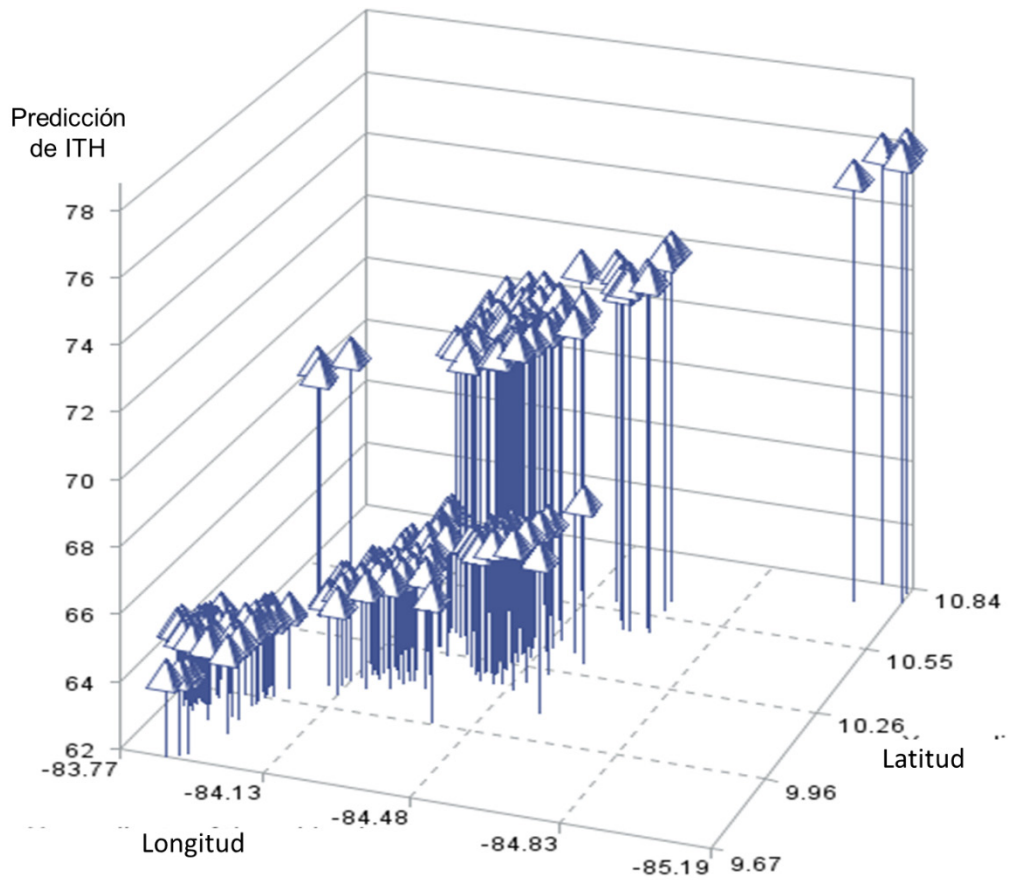


Figura 3. Valores predichos de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) en las coordenadas geográficas (X=Longitud, Y=Latitud) de 226 hatos contemporáneos al mes de Enero, año 2015.

De manera similar, en la Figura 4 se ilustran las tendencias intermensuales predichas de ITH para un mismo hato en 5 años distintos. El patrón observado nuevamente concuerda con las tendencias descritas en el capítulo 1 (esta tesis), con mayores valores de ITH en los meses de mayor humedad.

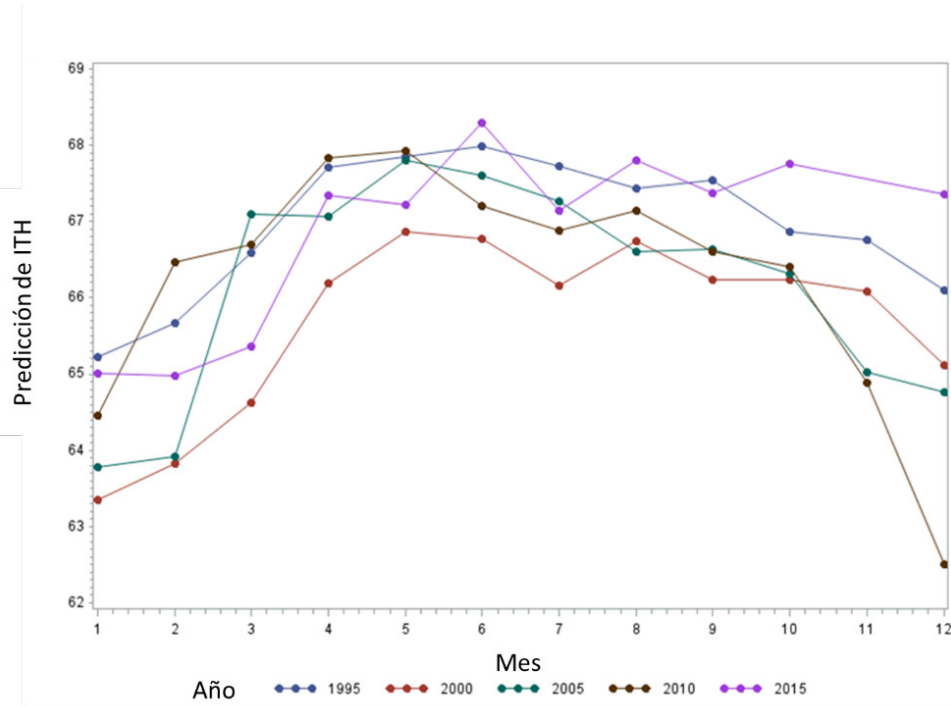


Figura 4. Valores predichos de Índice de Temperatura y Humedad (ITH) según mes (Enero a Diciembre) y año calendario (1995, 2000, 2005, 2010 y 2015) para el hato con locación (Latitud=10,115 y Longitud= -84,086).

Producción de Leche Diaria (KGL)

Se analizó un total de 6 796 385 registros de producción diaria de leche procedentes de 430 hatos. La variable KGL mostró una distribución Normal, con un promedio general de 19,4 kg y una desviación estándar de 7,9 kg.

De acuerdo con los resultados del modelo de regresión todos los factores analizados presentaron un efecto altamente significativo ($P < 0,0001$) sobre la variable KGL. Seguidamente se describen las tendencias observadas para cada uno de los factores incluidos en el modelo.

En cuanto al factor racial, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los grupos comparados. La raza de mayor producción fue la Holstein (17,9 kg) seguida por Holstein×Pardo Suizo (16,2 kg), Holstein×Jersey (14,6 kg), Pardo Suizo (14,0 kg), Jersey (13,3 kg) y Jersey×Pardo Suizo (13,0 kg). Estas diferencias en producción son características de las razas analizadas y han sido ampliamente descritas en diferentes estudios, siendo generalmente superior la raza Holstein, seguida por la Pardo Suizo y la Jersey (Vargas y Ulloa, 2008; Bolívar et al., 2009; Echevarri et al., 2011; Vargas et al., 2012).

Se observaron también diferencias significativas ($P < 0,05$) en la producción de diferentes lactancias, con un patrón de incremento desde la primera lactancia (11,8 kg) hasta la cuarta lactancia (16,1 kg), para luego decaer hasta 14,4 kg en lactancia 7 y posteriores. Cañas et al. (2011) reportaron que las mayores producciones de leche fueron alcanzadas en los partos 3, 4 y 5, obteniendo las mayores producciones iniciales y más alto pico de producción.

En cuanto a la tendencia interanual, se observó un patrón de incremento escalonado en producción diaria desde 11,5 kg en 1990, hasta alrededor de 17,5 kg en los últimos años. En los últimos 30 años, el ganado bovino especializado en Costa Rica ha tenido un avance significativo en producción de leche basado principalmente en el mejoramiento genético y las mejoras en las condiciones ambientales en que se desarrollan los animales (Vargas, 2016).

En cuanto al efecto de la etapa de lactancia y su interacción con el grupo racial, se observaron los patrones típicos de la curva de lactancia, con picos de producción alrededor del día 40, alcanzando niveles de producción de aproximadamente 24, 22, 20, 18, 18 y 17 kg para las razas Holstein, Holstein×Pardo Suizo, Holstein×Jersey, Jersey, Pardo Suizo y Jersey×Pardo Suizo, respectivamente.

En relación al efecto ENOS, se obtuvieron medias marginales de 14,93, 14,86 y 14,79 kg) para las fases cálida (Niño), normal y fría (Niña), respectivamente. Estas diferencias, aunque significativas ($P < 0,05$), fueron de baja magnitud, posiblemente debido a la inclusión del ITH como un efecto independiente adicional en el modelo estadístico.

En lo que se refiere al efecto de ITH, objetivo principal de este estudio, se pudo observar una tendencia a la disminución en producción conforme aumentó el ITH (Figura 5). La reducción en el promedio general va desde 17 kg para un ITH de 63 hasta alrededor de 11 kg para un ITH de 77. Este patrón tiende a repetirse en la mayoría de los grupos raciales, si bien en algunos es más marcado que en otros (Figura 6). Todas las razas y sus cruces, sin excepción, muestran un declive más pronunciado en la producción a partir de valores de ITH de 74. Los dos escalones observados en ambas figuras concuerdan con los rangos de ITH presentes en las regiones Central y Norte, respectivamente, mientras que el declive más pronunciado, correspondiente al ITH 76-77, concuerda con el sector de Sarapiquí, sector que presenta cierta influencia del Atlántico (Capítulo 1, esta Tesis), y donde se ubica un pequeño grupo de hatos.

El estrés calórico que se produce cuando el ITH es elevado puede afectar la producción de leche (Bohmanova et al., 2007; Win-Ching et al., 2008; Zewdu et al., 2014). En el sur de USA, Bohmanova et al. (2007) encontraron que la producción diaria de leche de vacas Holstein declinó a partir de $ITH=72$, con una tasa de reducción de 0,39 kg por cada unidad de incremento en ITH. West et al. (2003) reportaron reducciones de 0,88 y 0,60 kg en la producción diaria de vacas Holstein y Jersey, respectivamente, por cada unidad de incremento en ITH. En Etiopía, Zewdu et al. (2014) observaron una reducción de hasta 190 kg en producción de leche por lactancia de vacas cruzadas Holstein×Deoni por cada incremento de una unidad en el ITH máximo.

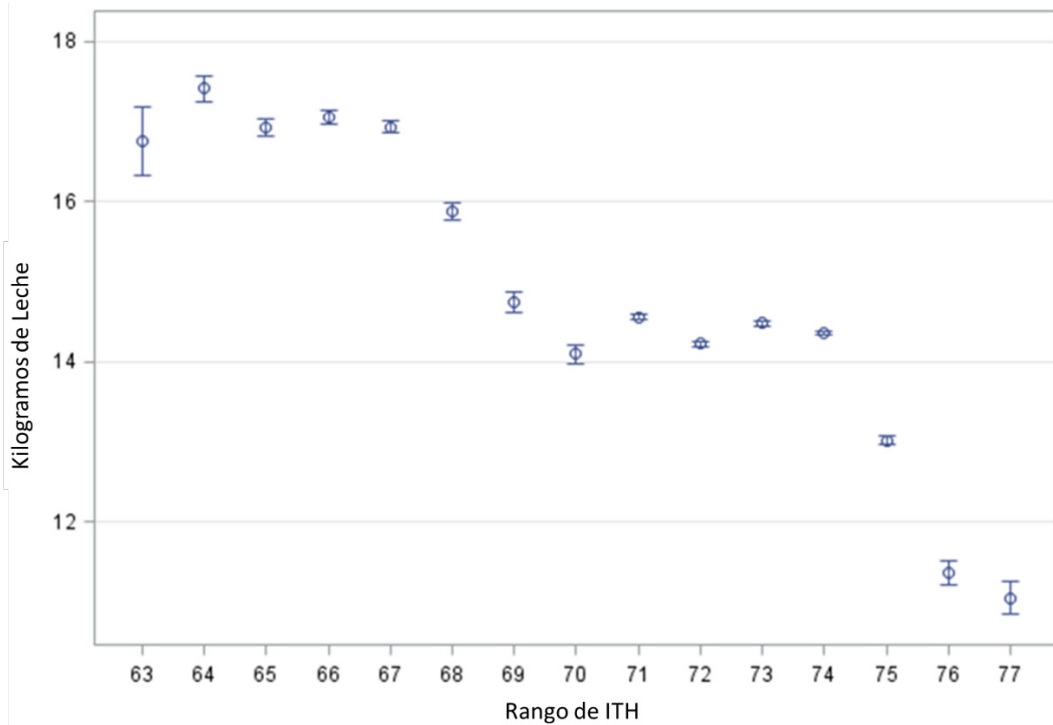


Figura 5. Medias Marginales (con IC95%) para las variable Producción diaria de leche (KGL) en función del ITH.

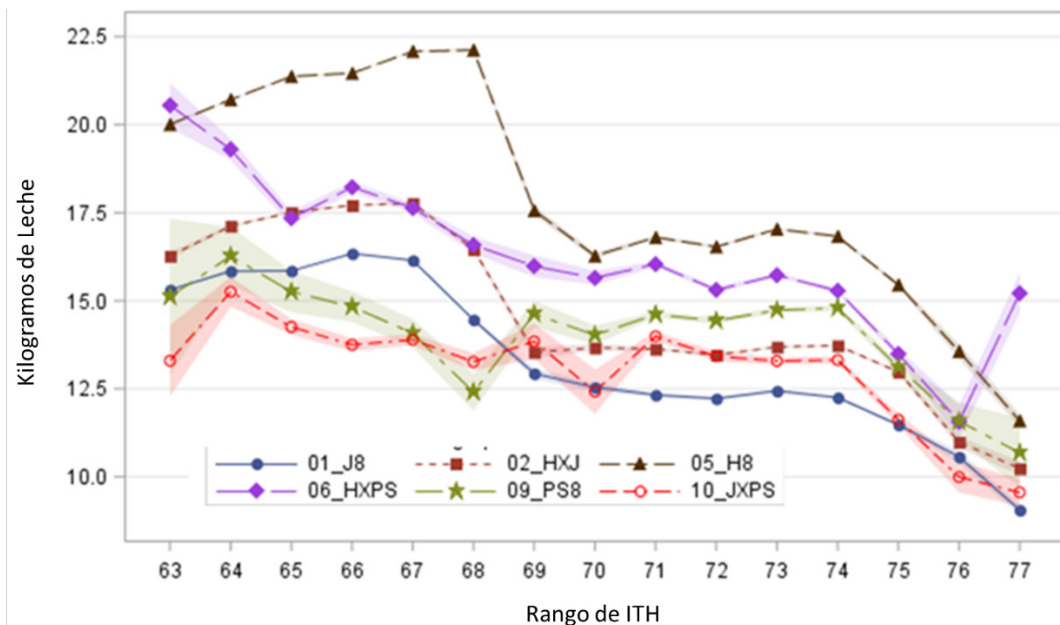


Figura 6. Medias Marginales (con IC95%, zona sombreada) para la variable Producción diaria de leche (KGL) en función del ITH según grupo racial.

Los datos analizados en el presente estudio provienen de 2 regiones con marcadas diferencias climáticas. En la región Central el promedio de temperatura, humedad relativa e ITH oscilan a lo largo del año entre 18-20°C, 75-86% y 65-68, respectivamente. Estos valores de ITH se mantienen dentro de la denominada zona de confort (Armstrong, 1994). En la región Norte los rangos aproximados son 23-25°C, 80-88% y 72-76, respectivamente (Capítulo 1, esta tesis) por lo que se ubicaría en la zona de estrés moderado (Armstrong, 1994). No obstante lo anterior, cabe aclarar que durante las horas más cálidas del día, el ITH puede alcanzar valores de hasta 79 en la región Central y 88 en la región Norte.

Se ha mencionado que a partir de valores de ITH de 72, se muestra un aumento en la frecuencia cardíaca, y a partir de los 75 los animales empiezan a intensificar su consumo de agua mientras que disminuyen el consumo de alimento (Vélez, 2013). Otros autores, mencionan que a partir de un ITH de 71 ya está comprometida la producción y hay que preparar estrategias de contingencia o precaución (WMO, 1989; Armstrong, 1994; Olivares et al., 2013). Según Ríos e Ibrahim (2008), cuando los animales salen de su zona de confort, disminuyen el consumo de alimento y decae su condición corporal, lo que desemboca en problemas productivos (leche o carne) y de salud.

La susceptibilidad de un individuo al estrés calórico depende de la raza, observándose mayores problemas en las vacas lecheras de alto valor genético, seleccionadas por su alta producción de leche (Dunn et al., 2014; González, 2014). En la figura 6 estas diferencias son apreciables, siendo más afectada la raza Holstein y sus cruces (Holstein×Jersey) y (Holstein×Pardo Suizo). Por el contrario los grupos Pardo Suizo, Jersey, y sus cruces tienden a mostrar declives menos marcados, aunque su nivel de producción es menor. Se ha mencionado que dentro del ganado bovino lechero, una de las razas más susceptibles al estrés calórico es la Holstein, en comparación con la Jersey o la Pardo Suizo (Rivera y Hansen, 2001; Soto, 2001; Mee, 2004; Espinoza, 2009). Algunos autores han sugerido que la aparición de estrés térmico para las vacas Holstein se encuentra a un menor umbral, quizás tan bajo como 65-69 de ITH (Bryant et al., 2007; Zimbelman et al., 2009).

Intervalo de Parto- Concepción (IPC)

Se analizó un total de 346 500 registros de IPC procedentes de 416 hatos. La variable IPC presentó una distribución sesgada a la derecha con una media de 140 días (d), una mediana de 110 d y una desviación estándar de 93,6 d. El sesgo a la derecha de la variable IPC ha sido reportado por diferentes investigaciones (Azzam et al., 1991). Por esta razón, el modelo de regresión se ajustó asumiendo una distribución LogNormal, más congruente con el comportamiento de esta variable.

De acuerdo con los resultados del modelo de regresión todos los factores analizados presentaron un efecto altamente significativo ($P < 0,0001$) sobre la variable IPC. Seguidamente se discuten las tendencias observadas para las medias marginales de IPC. Para una mejor comprensión, estas medias fueron retransformadas de la escala logarítmica a su escala original en días.

En cuanto al factor racial, la raza Holstein presentó el IPC más alto (123 d), con diferencias no significativas ($P > 0,05$) con respecto a los grupos Holstein×Pardo Suizo (120 d) y Pardo Suizo (119 d). Valores significativamente ($P < 0,05$) menores de IPC se observaron para los grupos Holstein×Jersey (106 d), Jersey×Pardo Suizo (105 d) y Jersey (105 d). Estas tendencias son similares a las reportadas por Vargas y Ulloa (2008), quienes reportaron menores IPC para ganado Jersey y sus cruces en comparación con ganado Holstein o Pardo Suizo y sus cruces.

En cuanto al número de parto, la media marginal de IPC fue significativamente mayor en las vacas de primer parto (116 d), manteniéndose relativamente estable en el segundo parto y posteriores (110-113 d). Otros estudios han reportado patrones similares de IPC en función del número de parto (Casares y Retamoza, 2003; Montes y Moreno, 2003). El efecto de esta variación parece estar relacionado con el estado fisiológico y la edad del animal, ya que se ha reportado que en vacas primerizas y vacas de seis a nueve años los IPC son mucho más altos (Obando, 1994).

Con respecto a la tendencia interanual, se observó un aumento de IPC desde principios de los 90 (alrededor de 100 d) hasta el año 2010 (alrededor de 120 d), para disminuir posteriormente a 113 d en el año 2015. Las variaciones interanuales pueden estar

ligadas a la implementación de herramientas como el cruzamiento animal y mejoras en las tecnologías de manejo del hato (Laben et al., 1982; Nebel y McGilliard 1993).

En relación al efecto ENOS, las medias marginales de IPC fueron de igual magnitud (114 d) para la fase cálida (Niño) y Normal, y significativamente menor ($P<0,05$) para la fase fría (Niña, 110 d). El ENOS es el principal modelador del clima en Centroamérica, en su fase cálida (sequías y alta temperaturas) causa reducción en cantidad y calidad de forraje y agua (Fernández y Ramírez, 2001; Corrales, 2010; Zewdu et al., 2014). Esto a su vez altera el consumo de alimento, las concentraciones hormonales y por ende, el estro (Jordan, 2003; West et al., 2003; Román, 2010). Diferentes autores han reportado que la temperatura, la alta humedad y la escasez de forraje son unas de las causas por las que aumenta el IPC (West et al., 2003; Wing-Ching et al., 2008; Zewdu, 2014).

En cuanto al efecto del ITH se observó una tendencia general irregular (Figura 7), con valores decrecientes de IPC para el rango de ITH entre 64 y 68, seguidos por valores crecientes a partir de $ITH>70$ (Figura 7). Cabe mencionar que los dos escalones observados en la figura 7, concuerdan nuevamente con los rangos de ITH pertenecientes a la región Central y Norte, respectivamente, mientras que el aumento más pronunciado, debido al ITH (76-77), corresponde al sector de Sarapiquí.

Algunos estudios han reportado efectos adversos del estrés calórico sobre la fertilidad. En Etiopía, Zewdu et al. (2014) reportaron aumentos de hasta 9,4 d en intervalo entre partos de vacas cruzadas Holstein×Deoni por cada incremento de una unidad en ITH máximo. Claros y Majano (2010), encontraron que por cada unidad de incremento en el ITH, se disminuye la tasa de concepción en 1,78%, lo que aumenta el IPC. Echevarría et al. (2002), encontraron un aumento en IPC desde $95\pm 6,7$ hasta $117\pm 4,6$ días en época adversa (época Seca). El aumento del estrés calórico ligado a ITH alto, produce problemas de intensidad del celo y su duración (Hansen y Arechiga, 1999), alteración de la ciclicidad y ovulación posparto (Kornmatitsuk et al. 2008), así como retardo en balance energético, la condición corporal y los niveles de hormonas en líquido folicular (Shehab-el-deen et al., 2010), circunstancias que de una u otra manera pueden incrementar el intervalo de parto concepción.

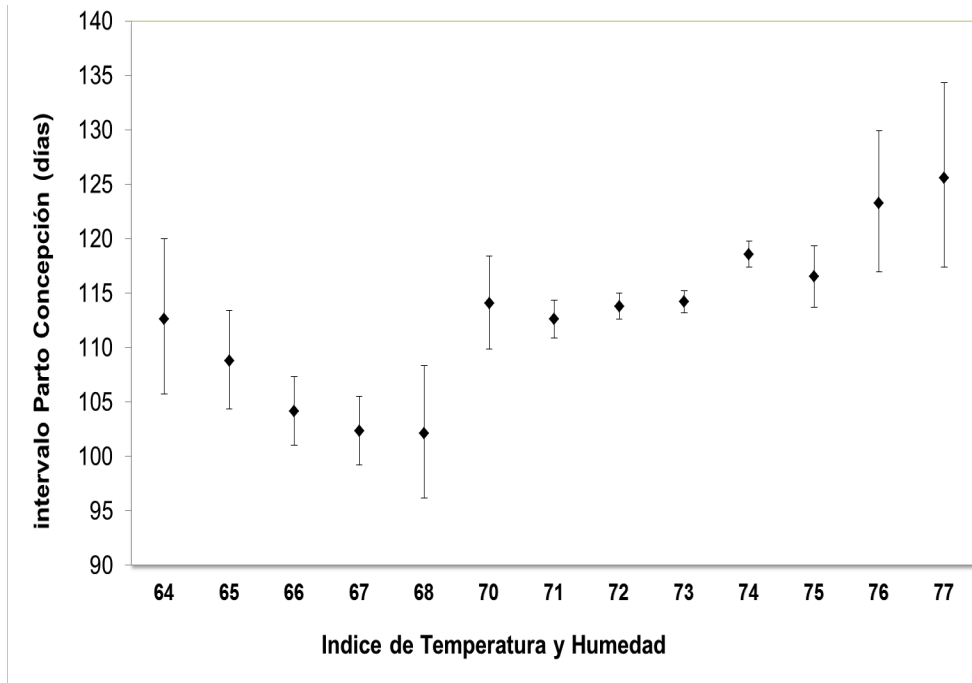


Figura 7. Medias Marginales (con IC95%) para la variable IPC en función de ITH.

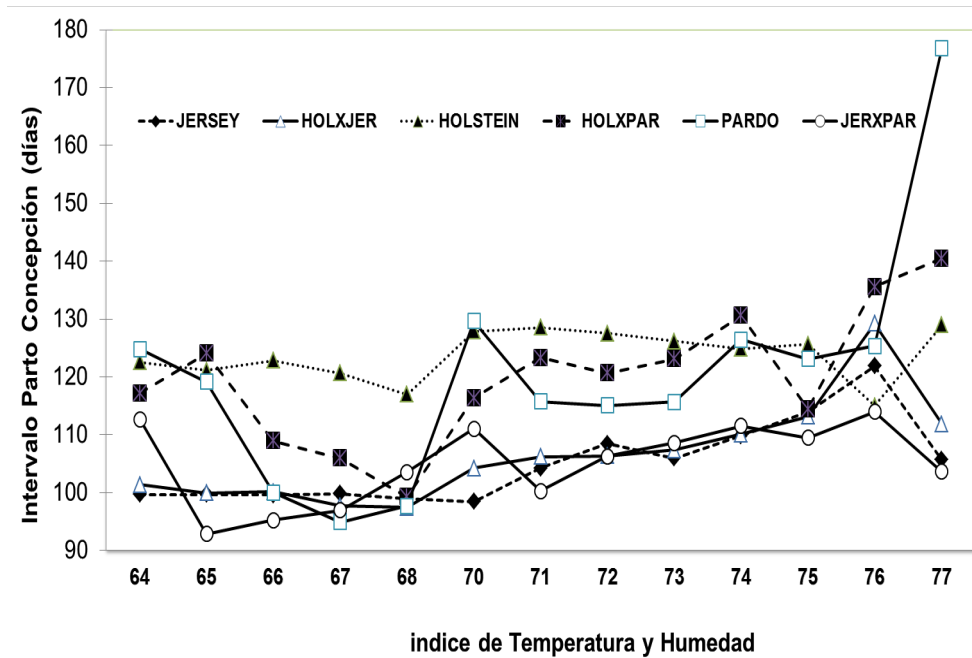


Figura 8. Medias Marginales para la variable IPC en función de ITH y grupo racial.

Al analizar la relación IPC vs. ITH dentro de cada raza las tendencias son más irregulares (Figura 8). Los grupos Holstein×Pardo Suizo, Pardo Suizo y Jersey×Pardo Suizo tienden a mostrar el mismo patrón general descrito anteriormente (reducción de IPC hasta ITH =70 con posterior aumento).

Los grupos Jersey y Holstein×Jersey mostraron valores estables de IPC hasta ITH=70, para luego mostrar una tendencia creciente. La raza Holstein no muestra incrementos continuos de IPC en relación al ITH, aunque sí se observa un aumento de aproximadamente 10 d en IPC alrededor de ITH=70. Cabe notar que los valores de IPC observados para ITH extremos (64 y 76/77) son menos confiables ya que corresponden a las categorías con menos información disponible e intervalos de confianza más amplios, según se observa en la Figura 7.

Algunos estudios reportan que la raza Holstein es mucho más sensible al estrés calórico en comparación con otras (Román, 2010). En vacas Holstein estresadas por calor, el balance energético negativo y el aumento en los días abiertos fue asociado con una disminución del apetito e ingestión de materia seca, lo que contribuyó a un incremento del intervalo parto-concepción (Góngora y Hernández, 2010).

González (2014) mencionó que el aumento en IPC, se puede deber a que el ciclo estral es un evento fisiológico sensible al estrés, principalmente al ocasionado por las altas temperaturas ambientales; que disminuyen la intensidad y duración del celo, y tiene efectos dramáticos sobre la fertilidad, principalmente en razas lecheras especializadas con problemas de adaptación a las condiciones tropicales. Otras investigaciones mencionan que al aumento de ITH provoca problemas reproductivos tales como celos silenciosos o reacción embrionaria, entre otros (Rivera y Hansen, 2001; Soto, 2001; Mee, 2004; Hernández et al., 2013). Estos problemas se ligaron a la reducción en las reservas de energía y baja condición corporal (CC) que presentaban las vacas.

CONCLUSIÓN

- Los factores de grupo racial, año de parto, número de parto, ENOS e ITH afectan significativamente la producción diaria de leche y el intervalo parto concepción.
- Existe una relación inversa (desfavorable) entre la producción diaria de leche y el ITH. A partir de valores de ITH de 74 hay una marcada caída en la producción por debajo de los 11 kg.
- La relación entre producción e ITH difiere según el grupo racial. La raza Holstein y sus cruces Holstein×Jersey y Holstein×Pardo Suizo muestran un descenso más marcado en producción asociado a incrementos en el ITH. Las razas Pardo Suizo, Jersey, y sus cruces muestran un descenso menos marcado, pero a la vez presentan menores volúmenes de producción.
- La relación entre Intervalo Parto Concepción e ITH tiende a ser positiva (desfavorable). Las razas Pardo Suizo y Jersey y los cruces Holstein×Pardo Suizo, Jersey×Pardo suizo y Holstein×Jersey, mostraron una elevación progresiva en el IPC conforme aumenta el ITH. La raza H presenta aumentos en IPC a partir de ITH=70.
- Es importante señalar que al tratarse de datos poblacionales la estructura de los datos es subóptima, por lo que las tendencias deben interpretarse con cautela. Existen efectos confundidos entre las variables ITH y la región, siendo que el ITH en la región Norte es considerablemente mayor al de la región Central. Por lo tanto, parte de las tendencias en producción e IPC atribuidas a ITH, pueden ser también debidas a otros factores que también están ligados a la región, algunos de los cuales no son determinados por el clima.
- Otro factor por considerar, sobretodo en el análisis de KGL, se relaciona al uso de promedios mensuales de ITH, en vez de valores diarios. Estos últimos sin duda permitirían una estimación más precisa del efecto de ITH sobre la producción diaria de leche.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, J. 2012. Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (Coffea arabica L.) en Honduras. Tesis. Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Argeñal, F. 2010. Variabilidad climática y cambio climático en Honduras. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Honduras. http://www.bvsde.org.ni/web_textos/golfonseca/0173/14%20variabilidad%20climatica%20honduras.pdf (consultado 11 Jul. 2015).
- Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2050.
- Azzam, S., L. Weth, J. Kinder y M. Nielsen. Distribution of Time to First Postpartu Estrus in Beef Cattle. University of Nebraska. <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1494&context=animalscifacpub> (Consultado: 14 Nov. 2016)
- Barrientos, M. 2007. 3D Analyst: ArcToolbox. Guía rápida de herramientas. Valparaíso, Chile. http://mapas.gorecoquimbo.gob.cl/descargas/3D_Analyst_9_2.pdf (Consultado: 27 Sep. 2016).
- Bolívar, D., J. Echevarry, L. Restrepo, y M. Muñoz. 2009. Productividad de vacas Jersey, Holstein y Jersey*Holstein en una zona de bosque húmedo montano bajo (Bh-MB). *Livestock Research for Rural Development* 21:6. <http://www.lrrd.org/lrrd21/6/boli21080.htm> (Consultado 12 Nov. 2016).
- Bohmanova, J., I. Misztal, y J. Cole. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 90:1947–1956.
- Bryant J., N. Lopez, J. Pryce, C. Holmes, y D. Johnson. 2007. Quantifying the effect of thermal environment on production traits in three breeds of dairy cattle in New Zealand. *N. Z. J. Agric. Res.* 50 327–38

- Casares, D., y E. Retamoza. 2003. Evaluación de la eficiencia reproductiva en ganado bovino del sistema doble propósito, en condiciones de semiestabulación en la granja Santiago del municipio de Santiago de tolú-sucre. Tesis, Ing. Zootecnista.
- Claros, M., y D. Majano. 2010. Efecto del índice temperatura-humedad (ITH) sobre el Rendimiento reproductivo en vacas lecheras manejadas en el oriente de el salvador. El Salvador. Tesis, Ing. Agrónomo.
- Corrales, L. 2010. Efectos del cambio climático para Centroamérica. Cuarto informe estado de la región. CONARE, San José, Costa Rica. p. 14 -16 y 55.
- Delgado, F., y C. Franco. 2006. Análisis de productividad de ganado lechero Holstein y Jersey en dos fincas de la Sabana de Bogotá. Bogota, Colombia. Tesis, Adm. Agropecuario.
- Dunn, R., N. Mead, K. Willet, y D. parker. 2014. Analysis of heat stress in UK dairy cattle and impact on milk yields. Environ. Res. Lett. 9: 064006.
- Eberly, S., J. Swall, D. Holland, B. Cox y E. Baldrige. 2004. Developing spatially interpolated surfaces and estimating uncertainty. EPA Environmental Protection Agency. Triangle, USA.
- Echeverri, J., V. Salazar, y J. Parra. 2011. Análisis comparativo de los grupos genéticos Holstein, Jersey y algunos de sus cruces en un hato lechero del Norte de Antioquia en Colombia. Zootecnia Trop., 29(1): 49-59.
- Echevarría, L., Huanca, L., y D. Delgado. Identificación de las limitantes del comportamiento reproductivo y la eficiencia de la inseminación artificial en ganado lechero de la Zona de Lima. Rev Inv Vet Perú; 13 (2): 18-27.
- Espinoza J., J. Sánchez, A. Gracia, J. Sánchez, R. Ortega, y A. Palacios. 2009. Thermoregulation differs in Chinampo (Bos Taurus) and locally born dairy cattle. J Vet Anim Sci. 33:175-180.
- Fernández, W. y P. Ramírez. 2001. El niño, la oscilación del sur y sus efectos en Costa Rica: Una Revisión. Tecnología en Marcha No. 11:1.

- Góngora, A., y A. Hernández. 2010. La reproducción de la vaca se afecta por las altas temperaturas ambientales. *Rev. U.D.C.A Act. y Div. Cient.* 13 (2): 141-151.
- González, J. 2014. El estrés calórico en Bovinos. Universidad especializada en Producción Animal. Argentina. http://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/bienestar_en_bovinos/14-stres.pdf (Consultado: 13 Nov. 2016)
- Guillén, A. 2015. Asociación entre variables espaciales y eficiencia productiva en hatos lecheros usuarias del programa VAMPP Bovino-Costa Rica. Tesis Msc., UNA, Heredia, Costa Rica.
- Hammami, H., J. Bormann, N. M'hamdi, H. Montaldo, y N. Gengler. 2013. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic Cell score of Holsteins in a temperate environment. *J. Dairy Sci.* 96:1844–1855.
- Hansen, P., y C. Aréchiga. 1999. Strategies for managing reproduction the heat stressed dairy cow. *J. Anim. Sci.* 77 (suppl. 2):36-50.
- Hernández, A., P. Cervantes, B. Domínguez, A. García, y A. Canales. 2013. Cambio climático y la adaptación de los bovinos al trópico. Universidad Veracruzana, Veracruz, México. <http://www.uv.mx/veracruz/cienciaanimal/files/2013/11/Cambio-climatico-y-la-adaptacion-de-los-bovinos-al-tropico.pdf> (Consultado: 13 Nov. 2016).
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Comité de recursos hidráulicos, San José, Costa Rica. p. 3,5.
- Jordan, E. 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:(E. Suppl.):E104–E114.
- Kolovos, A. 2010. Everything in its place: efficient geostatistical analysis with sas/stat® spatial procedures. SAS Institute Inc. <http://support.sas.com/resources/papers/proceedings10/337-2010.pdf> (consultado: 27 Sep. 2016).
- Kornmatitsuk, B., P. Chantaraprateep, S. Kornmatitsuk, y H. Kindahl. 2008. Different types of postpartum luteal activity affected by the exposure of heat stress and subsequent

- reproductive performance in Holstein lactating cows. Repr in Domestic Ani. 43(5):515-519.
- Laben, R.; R. Shanks, P. Berger, y A. Freeman. 1982. Factors affecting milk yield and reproductive performance. J Dairy Sci 65: 1004 – 1015.
- Mee, J. 2004. Managing the dairy cow at calving time. Vet. Clin. North am. Food anim. Pract. 20:521-546.
- Montes. R., y A. Moreno. 2003. Estimación de la heredabilidad del intervalo de partos en ganadería doble propósito en la Hacienda El Rosario en el municipio de Tolú Viejo Sucre. Tesis (Zootecnista). Colombia. . Pág 37 –44.
- National Research Council. 1971. A guide to environmental research on animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Nebel, R., y M. Mcgilliard. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. J Dairy Sci 76: 3257 – 3268.
- Noordhuizen, J., y J. Buurman. 1984. Veterinary automated management and production control program for dairy farms (VAMPP). The application of MUMPS for data processing. Vet. Q. 6(2): 66-72.
- Obando, C. 1994. Manejo de la Reproducción Bovina en Condiciones Tropicales Programa Nacional de Fisiología y Reproducción Animal. ICA: En memoria del seminario internacional, Cartagena Colombia. Pág: 69 –77.
- Olivares, B., E. Guevara, Y. Oliveros, y L. López. 2013. Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, Anzoátegui, Venezuela. Zootecnia Trop., 31 (3): 209-223.
- Ríos, N. y M. Ibrahim. 2008. Impactos del Cambio Climático Sobre los Recursos Hídricos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 30: 3.
- Rivera R., y P. Hansen. 2001. Development of cultured bovine embryos after exposure to heat temperatures in the physiological range. J. Reproduction 121: 107-115.

- Román, H., 2010. Efectos de stress térmico sobre la fertilidad del ganado bovino. Programa de investigación con ganado lechero en clima tropical instituto nacional de investigaciones pecuarias. SARH. Veracruz. México. *Ciencia Vet.* 2:265-288.
- Romero, J., J. Rojas, y S. Estrada. 2011. El programa VAMPP Bovino, una herramienta para la toma de decisiones. *Ventana Lechera.* 5(16):4-10.
- SAS Institute Inc. 2010. SAS/STAT® 9.2 User's Guide, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute. Inc.
<https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugmcmc/63125/PDF/default/statugmcmc.pdf> (consultado 29 Feb. 2016).
- Shehab-el-deen, M.; J. Leroy, M. Fadel, Y. Salehs, D. Maes, Y A. Van Soom. 2010. Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Anim. Reprod. Sci.* 117:189-200.
- Soto, C. 2001. Hemoparásitos en los procesos reproductivo. En: reproducción bovina. C. González-stagnaro. Fundación girarz, Maracaibo, Venezuela. Cap. Xiv: 205-245.
- Thom, E.1959. The discomfort index. *Weather wise.* 12: 57–60.
- Toro, C. 2011. El cambio climático: Impacto sobre la producción agrícola y las prácticas de adaptación. Servicio de extensión agrícola. Universidad de Mayaguez. Puerto Rico.
- Vargas, B., y J. Ulloa. 2008. Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de costa rica. *Livest. Res. Rural Dev.* 20:7. [Http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm](http://www.lrrd.org/lrrd20/7/varg20103.htm) (consultado 18 Oct. 2015).
- Vargas, B., Y. Marín., y J. Romero. 2012. Comparación bioeconómica de grupos raciales holstein, jersey y holstein×jersey en costa rica. *Agron. Mesoam.* 23(2):329-342.
- Vargas, B. 2016. Tendencias Poblacionales de ganado lechero en Costa Rica. <http://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/tend/tendxraza1609.xlsx> (Consultado: 15 Dic. 2016).
- Vélez, E. 2013. Factores de origen ambiental que afectan la producción de leche en vacunos bajo pastoreo semi-intensivo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- Lima, Perú. http://veterinaria.unmsm.edu.pe/files/Articulo_velez.pdf (Consultado: 12 Nov. 2016)
- West, J., B. Mullinix, y J. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:232–242.
- Wing-Ching, R., R. Pérez, y E. Salazar. Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado Jersey en el trópico húmedo: el caso del módulo lechero-sda/ucr1. *Agronomía Costarricense* 32(1): 87-94.
- WMO (World Meteorological Organization). 1989. Animal Health and production at extremes of weather. Technical Note N° 191. Geneva. 181 p. <http://trove.nla.gov.au/work/17797202?selectedversion=NBD6958973> (Consultado: 12 Nov. 2016).
- Wolfenson, D., Z. Roth, y R. Meidan. 2000. Impaired reproduction in heat stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 61:535-547.
- Zewdu, W., B. Thombre, y D. Bainwad. 2014. Effect of macroclimatic factors on milk production and reproductive efficiency of Holstein Friesian×Deoni crossbred cows. *J. Cell Anim. Biol.* 8(4):50-60.
- Zimbelman R., R. Rhoads, M. Rhoads, L. Baumgard y R. Collier. 2009. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows Proc. 24th Annual Southwest Nutrition and Management. <http://www.dairyweb.ca/Resources/SWNMC2009/Zimbelman.pdf> (Consultado 13 No. 2016).

CONCLUSIONES GENERALES

- Este estudio permitió caracterizar el comportamiento de las principales variables climáticas durante el periodo 1985-2015 en 3 regiones climáticas de Costa Rica. Para las regiones Atlántica y Norte se encontró un comportamiento similar (interanual e intermensual) para las variables TMIN, TP, TMAX, ITH, RS y PRE, no así en la variable HR. Por el contrario, la región Central difiere marcadamente, presentando menores Temperaturas, Humedad Relativa, precipitación e ITH, pero una mayor incidencia de RS.
- Las tendencias climáticas intermensuales difieren entre regiones, principalmente en las variables Temperatura, Precipitación e ITH. La aparición del Veranillo (San Juan, Canículas I y II), es un evento que afecta a la mayoría de las variables, con excepción de la variable de ITH, que solo presenta un leve descenso.
- Las tendencias interanuales fueron más heterogéneas para las variables HR y RS, y más homogéneas para las variables de Temperatura, ITH y PRE. Se demostró que estas variaciones interanuales están ligadas en parte a la influencia de ENOS, principalmente para las variables de Temperatura, Precipitación e ITH. Se demuestra, además, que este efecto tiene diferentes impactos en las regiones estudiadas.
- Para la región Central el rango de variación en ITH, obtenido en base a temperaturas promedio, oscila entre 65-68, manteniéndose dentro de la denominada zona de confort para los bovinos. En la región Norte el rango oscila entre 72 y 76, por lo que se ubicaría en la zona de estrés moderado para el bovino. No obstante, durante las horas más cálidas, el ITH puede alcanzar valores de hasta 79 en la región Central y 89 en la región Norte.
- Se observó una relación desfavorable entre el ITH y las variables de producción diaria de leche e Intervalo Parto-Concepción. Los patrones observados varían según el tipo racial. La raza Holstein y sus cruces (H×J) y (H×PS) muestran un descenso más marcado en producción asociado a incrementos en el ITH. Las razas Pardo Suizo, Jersey, y sus cruces muestran un descenso menos marcado, pero a la vez presentan menores volúmenes de producción. Asimismo, las razas (H, PS y J) y sus cruces (H×PS, J×PS y H×J), mostraron una elevación progresiva en el IPC conforme aumenta el ITH, mientras que la raza Holstein presenta aumentos en IPC a partir de ITH=70.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Es necesario mantener (y mejorar) el monitoreo de las variables climáticas, en especial, de aquellas localizadas en las zonas con gran valor productivo. Este estudio denotó la falta de un seguimiento adecuado y constante para la gran mayoría de las estaciones meteorológicas disponibles, sobre todo en los años previos al 2000. Es necesario, además, facilitar más el acceso a los datos climáticos por parte de los investigadores, dado que actualmente esta información está dispersa entre diferentes instituciones (IMN, ICE, AyA), siendo en algunos casos de difícil acceso.
- Desde el enfoque de Producción Animal Sostenible es necesario profundizar más en este tipo de investigaciones. Es importante por ejemplo, determinar cuáles son los grupos raciales que presentan mejores características de adaptabilidad a su entorno. También es necesario identificar las zonas en las cuales el rendimiento del animal puede verse más afectado por el estrés calórico, de manera que puedan tomarse medidas preventivas. Futuras investigaciones pueden orientarse al análisis de otras variables de importancia, tal como la incidencia de enfermedades parasitarias.
- A nivel de productores es importante que se promueva una mayor concientización sobre el efecto adverso que puede tener el estrés calórico sobre el bienestar y la eficiencia productiva de los bovinos. Existen distintas medidas que permiten prevenir o controlar el estrés calórico en los bovinos, tales como: garantizar la existencia de sombra adecuada en los potreros, proveer agua abundante en todas horas, evitar movilizar los animales en las horas más cálidas. En explotaciones semi (estabuladas) proveer adecuada ventilación y/o sistemas de enfriamiento por aspersores.
- Desde el punto de vista metodológico, es necesario profundizar más en diferentes alternativas de modelaje estadístico para el análisis integral de variables dinámicas climáticas y/o productivas. Las variables climáticas están fuertemente ligadas a la región, mes calendario y año calendario. La inclusión conjunta de estas variables como predictoras dentro de un mismo modelo de regresión puede llevar a problemas de multicolinealidad, dificultando la interpretación de los resultados.

- Entrelazar con proyectos agro-meteorológicos, a las Instituciones Meteorológica y Facultad de Veterinaria, para una fácil obtención de los datos climáticos, y que sirva para desarrollar innumerables investigaciones de importancia para el país.
- Por otra parte, es importante la actualización de las tecnologías de las estaciones para la toma de mediciones meteorológicas y un continuo control de calidad de las observaciones.

ANEXO

Anexo 1

Instructivo para los autores. Revista Agronomía Mesoamericana.

La Revista Agronomía Mesoamericana dio inicio durante la XXXV Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA) efectuada en Honduras en 1989.

Su objetivo principal es difundir los resultados de investigación que se exponen durante cada reunión anual.

El primer volumen se entregó en 1990, durante la XXXVI Reunión del PCCMCA en El Salvador.

Para lograr el objetivo propuesto se requiere que los autores presenten trabajos con base en las siguientes normas técnicas:

1. Los trabajos deben tener como máximo 20 páginas a doble espacio. Para las notas técnicas (denominado como el trabajo que si bien aporta una o varias informaciones científicas nuevas, su redacción o metodología aplicada no permite reproducir los experimentos y obtener resultados similares a los mostrados, y no se puede además repetir los resultados y juzgar las conclusiones del autor), un máximo de 10 páginas.
2. Los trabajos deben ser preparados en Microsoft Word para Windows. Las figuras en archivos aparte con formato JPG o TIF. Debe entregarse copia en extenso y disquete de 3 1/2, o en disco compacto o enviarlo por correo electrónico a la dirección pccmca@cariari.ucr.ac.cr
3. El autor debe indicar que el trabajo es original y que no se ha publicado ni sometido a publicación en otras revistas. Además una vez sometidos a

publicación en la Revista Agronomía Mesoamericana, tampoco se debe someter a publicación en otras revistas.

4. Los trabajos sometidos a publicación deben contar con la autorización para ser publicados, de parte de la institución o empresa donde se efectuó la investigación. Además se asumirá que todos los autores del trabajo participaron en la elaboración, y autorizaron someterlo a publicación. La responsabilidad del contenido es de los autores.
5. El autor debe indicar si su trabajo lo considera un artículo, nota técnica, análisis y comentarios o revisión bibliográfica, sin embargo, la decisión sobre su ubicación se tomará con base en el arbitraje efectuado y el acuerdo del Consejo Editorial. Se rechazará de oficio todo trabajo de campo con un sólo periodo de evaluación (época o año), sobre cultivos ampliamente estudiados y sobre una temática ya conocida (épocas de siembra, distancias de siembra, etc.)
6. Todo trabajo enviado para publicación será revisado al menos por dos especialistas antes de ser sometido a aprobación por el Consejo Editorial. Si el artículo es aceptado, el autor con el que se tiene establecida la comunicación debe hacer las correcciones solicitadas por el Editor, y enviar de nuevo el trabajo, indicando las correcciones realizadas en otro color de letra (versión en CD o envío por correo electrónico), o en subrayado para envíos de impresos. Se aceptarán, para análisis del Comité Editorial, las respuestas del autor con el que se mantiene la comunicación sobre las correcciones o adiciones al trabajo, sin embargo, la decisión del Comité Editorial será definitiva y su no cumplimiento implica el rechazo del trabajo para su publicación. Se dará un período de 10 días hábiles para el envío de las correcciones. Si luego del periodo dado no hubiera respuesta, se procederá en primera instancia a dejar fuera del proceso de edición el trabajo, y posteriormente pasados los 30 días hábiles, se procederá a rechazar el trabajo bajo la premisa de no acatamiento a las directrices de la revista en la aprobación de los trabajos. Cuando se finalice el trabajo de diagramado con las correcciones del autor, se le devolverá de nuevo para que el autor efectúe la revisión final e indique vía carta o vía correo electrónico al Editor que está de

acuerdo con la versión final o indicar las observaciones de forma. Si hay correcciones de forma, de nuevo se enviará al autor el trabajo para que de la aprobación para su publicación. Esto asegura al autor la fidelidad de su trabajo. El tiempo de respuesta del autor deberá ser de un máximo de cinco días hábiles, después del cual se suspenderá del proceso de edición, lo cual podrá atrasarse un semestre en su publicación.

7. Solo se distribuirán impresos a los centros de documentación y bibliotecas. El autor principal recibirá la versión en disco compacto y se le podrá enviar la versión impresa de la revista o una separata de su trabajo, si cancela los costos de producción y envío. En cada Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), se distribuirá a cada participante, una copia en disco compacto de los dos últimos volúmenes de la revista.
8. Los nombres de los plaguicidas, se deben escribir con el nombre común seguido del nombre químico entre paréntesis. No se acepta el uso de nombres comerciales de plaguicidas, con excepción a formulaciones particulares que si afectan los resultados.
9. Los números arábigos se emplearán para todos los números con dos o más dígitos, y para las unidades de medida. El número se escribirá en palabras si es la primera palabra de una oración, o si es menos de 10 y no indica una medida.
10. Se aceptan para publicación Números Especiales, que son monotemáticos, por ejemplo nutrición en cafeto. Su formato puede variar ligeramente del propuesto a continuación (ver Volumen 15 número 3, Edición Especial sobre nutrición en frijol). Los costos de estas publicaciones serán pagadas por los interesados u organización.
11. Todo trabajo debe incluir las siguientes secciones

(Al enviar el trabajo, adjunte copia de este instructivo para autores, y marque con una X las instrucciones cumplidas):

TÍTULO: El título debe ser conciso y no debe exceder de 14 palabras. Indicar con un asterisco, si el trabajo fue parte de una tesis, proyecto, etc. Se sugiere evitar el uso de nombres científicos en el título cuando el nombre común es muy conocido (frijol, maíz, papa, tomate, etc.). Se deberá usar el nombre científico cuando el nombre común no es conocido o puede variar entre países (nombres de malezas, hongos, insectos, etc.).

TÍTULO RESUMIDO: para encabezado de página, no debe ser mayor de ocho palabras.

AUTORES: Debe indicarse el nombre completo y apellidos. Al pie de página debe incluirse la dirección postal y de correo electrónico de todos los autores, e indicar la institución donde laboran. El primer autor se considerará el de mayor aporte a la investigación que dio origen al trabajo sometido a publicación y preferiblemente quien lo escribe. El número total de autores no deberá ser mayor de seis.

INTRODUCCIÓN: Debe incluir el propósito de la investigación, los antecedentes más relevantes y el objetivo concreto. Importancia del problema dentro del marco de estudio, limitaciones de la investigación. Toda información debe estar respaldada con citas bibliográficas, que sean de fácil acceso mediante centros de documentación, bibliotecas o Internet. Si son más de dos autores se pone *et al.* después del primer apellido. Ej. a) "...la metodología propuesta por Gómez *et al.*". b)...Este método fue similar al de otros autores (Hartman 1974, Jackson *et al.* 1977). Toda mención de especies vegetales o animales debe incluir su nombre científico, y cuando es parte de lo que se estudia en el trabajo, se debe indicar además su clasificación biológica. Toda indicación posterior de un nombre científico se hará con solo la inicial del género más la especie. Todo nombre científico deberá ir en letra cursiva. (revisar terminología en: International Association for Plant Taxonomy iapt, Código Internacional de Nomenclatura Botánica). Los nombres genéricos que se usan como nombres vernaculares no llevan mayúscula: ejemplo frijol, maíz, etc.

MATERIALES Y MÉTODOS: Son los elementos básicos de la investigación y los que generan los resultados. Los materiales (suelos, plantas, semillas, vacas, cabras, etc.) deben estar claramente descritos (análisis físico químico y tipo de suelo).

Descripción de la variedad de planta empleada y su origen. Características del animal empleado, que incluya su origen, tipo, edad, etc. Los métodos deben indicar claramente las variables que se pretende medir y su precisión, por lo que se debe incluir el diseño experimental, unidad experimental, método de muestreo y tipo de análisis estadístico. Descripción de los tratamientos y variables evaluadas. Prácticas culturales y del manejo del experimento. Además la ubicación de la investigación en espacio, tiempo y condiciones climáticas, si procede.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: Se presenta y analiza la información obtenida. Los datos derivados de la aplicación de la metodología, de una manera clara, ordenada y completa, pero a la vez concisa, basados en comprobaciones y no suposiciones, deben ser expresados por separado en figuras o cuadros (incluir en un archivo adicional los datos que los originaron para efecto del diagramado). No se debe repetir en el texto la información contenida en los cuadros o figuras. Se describirá en el texto la información obtenida del análisis de varianza.

CUADROS, FIGURAS, FOTOS, DIBUJOS Y MAPAS: Deben tener un título, que los explique por sí solos, independiente del texto. Se debe identificar claramente la información brindada, áreas geográficas donde se realizó (provincia (s)), además del periodo o año de ejecución. Los cuadros se deben presentar preferentemente en formato pequeño condensado en vez de uno complicado, de difícil interpretación. No se debe repetir la información en cuadros y figuras, se deberá escoger la forma que mejor comunique la información deseada. Las fotos se deben enviar en archivo separado, con una resolución mínima de 250 dpi y en formato JPG. Los cuadros, figuras, fotos o mapas deben aparecer inmediatamente después de que se les mencione. Bajo ninguna circunstancia se aceptarán como anexos o apéndices. Todo tipo de abreviaturas, con excepción de las de uso universal, deberán aclararlas al pie del cuadro o figura.

Las figuras y fotos se pueden incluir a color en la versión en CD y página WEB, y en blanco y negro en la versión impresa; si el autor desea impresión en color deberá cubrir los gastos de separación de colores de fotos y figuras. De no ser cubierto el costo de impresión, el autor debe brindar las figuras y fotos de manera que sean

legibles en blanco y negro. Lo anterior porque las tonalidades dan problemas de definición en la impresión en blanco y negro. La numeración de los cuadros, figuras y fotos se elaboran en forma independiente para cada uno de ellos. Las figuras cuadros y fotos con pocas excepciones se ubicarán en un espacio del ancho de una columna por lo cual debe usar figuras y cuadros que se puedan reducir al ancho de la columna sin perder nitidez. No se deben enviar cuadros en formato de figura.

CONCLUSIONES: Se pueden presentar opcionalmente, afirmaciones derivadas de los resultados y no deben exceder los alcances de éstos, ni ser resumen o sin ser repetitivos con los resultados o discusión. Se justifican cuando se presentan como una recapitulación de los resultados obtenidos que apoyan o difieren de las hipótesis propuestas en la introducción.

RESUMEN: Incluir el objetivo del trabajo, el procedimiento seguido, los principales resultados y una discusión básica. No hacer referencias o incluir citas bibliográficas, figuras o cuadros. El tamaño máximo será de 250 palabras a espacio seguido y en un sólo párrafo.

PALABRAS CLAVE: Se debe incluir cinco palabras claves en español e inglés. El objetivo es su uso en indización y selección de la información bibliográfica. No deben incluir palabras que aparecen en el título.

ABSTRACT: Traducción al inglés del RESUMEN, incluyendo título del trabajo.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS: La Revista Agronomía Mesoamericana, sólo acepta la normativa oficial del sistema internacional de pesos y medidas (CARAZO, M. 1987. Sistema internacional de pesos y medidas. 2 Ed. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 151 p.) y lo indicado para tal efecto por la Real Academia Española (ejemplo: para la separación de los decimales se empleará la coma siempre y cuando el trabajo sea en español).

LITERATURA CITADA: Deben contribuir al conocimiento sobre el tema y ser lo más recientes posible, de fácil acceso vía centros de documentación, bibliotecas o Internet y estar redactadas con base en las normas del IICA*. Toda referencia bibliográfica que se incluyó en el texto (introducción, materiales y métodos o

resultados y conclusiones) deberá aparecer en esta sección. Todas las citas deben tener el total de autores, año de publicación, título completo y original del trabajo, e información sobre el documento en que se publicó, edición, casa editora, lugar de publicación, volumen y número, número de páginas. Los autores se colocan con mayúscula, primero el apellido y luego la inicial del nombre, en todos los autores. Las comunicaciones personales no son parte de la literatura citada, por lo que se colocan al pie de página. Las citas obtenidas de Internet, deben ser preferentemente de publicaciones periódicas o libros.

Libros: CARVAJAL, F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. 2da Ed. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza. 253 p.

Tesis: YAH CORREA, E.V. 1998. Crioconservación de suspensiones celulares embriogénicas de *Musa* spp. iniciadas a partir de flores inmaduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 77 p.

Congresos, Conferencias, Reuniones: REGIONAL WORKSHOP NEEDS AND PRIORITIES FOR FORESTRY AND AGROFORESTRY POLICY RESEARCH IN LATIN AMERICA (1993 SAN JOSÉ, CR). 1994. (Report). Eds. M. Alfaro; R de Camino, M. I. Mora; P. Oram. San José, C.R., CR, IICA. 298 p.

Revistas: SHINGH, C.K.; GREWAL, G.S. 1998. Detection of rabies in central nervous system of experimentally infected buffalo calves. Indian Journal of Animal Sciences 68 (12): 1242-1254.

Comunicaciones personales: Se mencionan en nota al pie de página en el texto de la publicación. Ejemplo:

AGUILAR, JF. 1997. Forestería social (entrevista). San José, CR., Universidad de Costa Rica.

En línea: Guzmán, M. de. 1993. Tendencias innovadoras en educación matemática (en línea).

Bogotá, Unesco. Consultado 5 ene. 1998. Disponible en:
<http://www.oel.org.co/oeivirt/edumat.htm>.

Documento redacción de referencias bibliográficas: Normas técnicas del IICA.
Dirección: <http://www.iica.int>, luego dar clic en Biblioteca Conmemorativa Orton y en Servicios dar clic en Documentos de Trabajo.