

**Clima, variabilidad y cambio climático
en la Vertiente Caribe de Costa Rica:
Un estudio básico para la actividad bananera**

Informe Final

presentado a

Corporación Bananera Nacional (CORBANA)

Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)

Vicerrectoría de Investigación

Universidad de Costa Rica

Febrero de 2011 - Setiembre de 2013





Universidad de Costa Rica
Escuela de Física, Facultad de Ciencias y
Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Tels. (506) 2511 5096 / 2511 2551
Fax. (506) 2234 2703
Email: cigefi@cigefi.ucr.ac.cr, jorge.amador@ucr.ac.cr

Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera

Informe Final

presentado a

Corporación Bananera Nacional (CORBANA)

**Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Universidad de Costa Rica**

Febrero 2011- Setiembre 2013

Como citar este Informe Final.

Amador, J. A., E. J. Alfaro, H. G. Hidalgo, F. J. Soley, F. Solano, J. L. Vargas, F. Sáenz, B. Calderón, P. M. Pérez, J. J. Vargas, R. Díaz, A. Goebel, A. Montero, J. L. 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), Vicerrectoría de Investigación y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica y Corporación Bananera Nacional (CORBANA), Setiembre 2013, 225 pp.

Contenidos	
Dedicatoria	4
Resumen Ejecutivo del Proyecto Original	5
Resumen Ejecutivo del Informe Final	6
I. Introducción General	8
II. Resumen Científico del Proyecto	9
III. Avances, Actividades y Productos	9
1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA	9
2. Giras a la Red de Estaciones de CORBANA y Visitas a la Rita	35
3. Rescate de Datos Históricos	41
4. Clasificación Climática de la Vertiente Caribe de Costa Rica	53
5. Climatología de las Observaciones de BANACLIMA	72
6. Climatología Generada por Modelos Dinámicos	82
7. Cambio climático observado y escenarios futuros	83
8. Aspectos Administrativos	88
IV. Conclusiones y Recomendaciones	88
V. Agradecimientos	88
VI. Referencias	89
VII. Cronograma de Actividades Actualizado	93
VIII. Personal Científico Responsable en la Universidad de Costa Rica	94
Anexos	96
1. Informe Primero	
2. Informe Segundo	
3. Acrónimos	

*“no scientist who has self esteem and moral integrity
will ever attempt to forecast the weather”
Anonymous, 1850*



Dedicatoria

Durante la ejecución de este proyecto fallecieron dos investigadores muy cercanos al CIGEFI, la Lic. Flora Solano Chaves, el 23 de marzo de 2012 (Grupo de Datos Históricos) y el Dr. Javier Soley Alfaro, el 25 de diciembre de 2012 (Grupo de Bases de Datos). A ellos nuestro eterno agradecimiento por su aporte. El recuerdo de ellos permanecerá en los corazones de cada uno de los miembros del grupo de investigación para siempre.

Resumen Ejecutivo del Proyecto Original

Se describen en este proyecto los elementos y las consideraciones técnicas, científicas y económicas para la elaboración de productos de clima, variabilidad climática y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica, en respuesta a requerimientos de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). El objetivo de este trabajo es que la Corporación pueda identificar, a un nivel de detalle adecuado, las características del clima, la variabilidad climática y aspectos relativos al cambio climático regional que hayan podido afectar la producción de banano en la región de interés. Los productos a entregar consisten en una serie de documentos impresos y digitales conteniendo información cartográfica, estadística, histórica y distribuciones espacio-temporales de las variables atmosféricas en la región de interés, de manera que CORBANA pueda tomar decisiones a alto nivel sobre los mecanismos atmosféricos que afectan la producción de banano y los posibles desarrollos futuros relacionados con la adaptación a esos mecanismos. Utilizando un procedimiento de muestreo estadístico de datos dinámicamente inicializados (u observados de estar disponibles) durante un periodo de aproximadamente 25 años y usando modelos numéricos de la atmósfera de dominio regional (de mesoescala como el MM5V3.7 o el WRF), se prepararán mapas de los diferentes parámetros del clima (mapa anual y mapas mensuales) de la Vertiente Caribe de Costa Rica y zonas costeras cercanas, con una resolución final de 2 km usando procedimientos de reducción de escala dinámica y estadística. La meta es elaborar productos del clima, de la variabilidad climática y de posibles descriptores de cambio climático en la región de interés para los periodos de datos disponibles. El cronograma propuesto para la realización de todo el trabajo y las diferentes etapas abarcan un total de dos años a partir del 1 de febrero de 2011, fecha de la firma del contrato por parte de las autoridades de CORBANA y la Universidad de Costa Rica (UCR), por medio de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDEVI). La ejecución técnica y científica del proyecto estuvo a cargo del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), en colaboración con personal de la Escuela de Física, ambos de la UCR.

Resumen Ejecutivo del Informe Final

Este Informe Final (IF) describe en forma sintética, los alcances y productos del proyecto “Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera”, en relación con el cumplimiento, por parte del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica (UCR), de las Especificaciones y Requisitos Técnicos (ERT) de la investigación contratada con la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Los ERT de CORBANA (ERTC) están contenidos en la Parte 7 de la Propuesta Original entregada a la Corporación en octubre de 2010. Los detalles de los productos son discutidos en las diferentes secciones del IF. En este sentido, se examinaron la Estructura y Funcionalidad de la Base de Datos (BANACLIMA) y la Red de Estaciones de la Corporación. Se destaca, entre otras cosas, la implementación, en colaboración con CORBANA, de una torre de observación meteorológica en Siquirres (CIGEFI_et) con instrumental de precipitación, temperatura, viento y humedad, instalado a 10, 20 y 30 m de altura, con complemento de presión, temperatura y humedad (del suelo) en superficie. Se generaron y entregaron, tanto en formato JPEG o similar y en un Sistema de Información Geográfica (SIG) productos de climatología regional derivados de la información de BANACLIMA y de bases de datos regionales. Los productos entregados en el SIG facilitan el uso aplicado de la información. Este proceso contempló la familiarización de personal con los productos generados y no formaba parte de los ERTC. Se entregan clasificaciones climáticas basadas en los métodos de Thornthwaite y Hargreaves, con amplias discusiones sobre su aplicación y limitaciones. Las climatologías generadas con base al modelo MM5 incluyen aspectos de variabilidad que toma en cuenta los modos globales de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Multidecadal del Atlántico (OMDA), ambos basados en índices de la temperatura superficial del océano como predictor de la variabilidad atmosférica regional. Se analizaron datos atmosféricos regionales para obtener indicativos del cambio climático observado para varias variables troposféricas, entre ellas temperatura superficial y precipitación. Un tema investigado en este proyecto y no contemplado tampoco en las ERTC, es la inclusión de algunas proyecciones futuras sobre el cambio climático en la región de interés, basado en resultados de modelos de circulación general (conocidos como 20c3m runs) para el Informe de 2010 del Panel Inter-Gubernamental para el Cambio Climático. Otro aspecto, no contemplado en las ERTC, es la recolección de importantes datos históricos sobre meteorología y el desarrollo

institucional de la Corporación. Sobre este tema, el CIGEFI espera continuar investigando por su parte y de darse las condiciones de acceso requeridas, dotar en un futuro a CORBANA de un documento más completo sobre su historia y el desarrollo en la actividad bananera nacional. Personal de CORBANA participó en Mini-congresos, talleres y presentaciones del CIGEFI en relación con los temas e investigaciones realizadas para el proyecto. Personal del Centro participó en Congresos Bananeros, talleres y seminarios dando a conocer los resultados del proyecto con CORBANA. Un importante grupo de artículos han sido publicados, otros están en proceso, todos ellos mostrando los productos y resultados de la investigación. Con respecto a los diferentes aspectos que tiene que ver con las ERTC, se incorporaron recomendaciones específicas, en el Informe Primero (IP), de setiembre de 2011, en el Informe Segundo (IS), de mayo de 2012 y en el presente IF. En este IF se incorporan figuras o tablas que aparecen en el IP o en el IS, sin embargo, éstas fueron, en general, mejoradas tanto por el uso de información complementaria, cambio o mejoramiento del método de trabajo o para incorporar un periodo más extenso de datos.

I. Introducción General

El documento, en adelante denominado “el proyecto”, presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) en setiembre de 2010, para realizar una investigación contratada a esta Corporación, se organizó en tres partes; la Parte I con la Propuesta Científica, la Parte II con la Propuesta Económica y la Parte III con los detalles del Cronograma de Actividades, Entrega de Productos y Pagos. El presente informe se entrega en cumplimiento de la Parte III anterior, la cual ha sido actualizada para que el periodo de ejecución del proyecto corresponda con la firma y fechas legales del contrato por parte de las instituciones participantes (1 de febrero de 2011). El Informe Final (IF) ha sido organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección se presenta un resumen de los aspectos principales que dieron origen científico al proyecto y que se describieron en detalle en la Propuesta Original. En la sección III se discuten en orden lógico las actividades, los avances realizados y los productos finales derivados en cada una de las diferentes componentes que han sido llevadas a cabo durante febrero de 2011 - setiembre de 2013, periodo al que corresponde este informe y que complementa lo entregado a CORBANA en los dos informes anteriores de setiembre de 2011 (Informe Primero, IP, ver Anexo 1) y mayo de 2012 (Informe Segundo, IS, ver Anexo 2). Primero que todo, se presentan detalles de la investigación para cada componente o actividad del proyecto, incluyendo acciones y recomendaciones; luego al final de esa sección, aparecen las condiciones académicas y administrativas en que se realiza esta investigación en la Universidad de Costa Rica. La integración e interpretación de los avances del proyecto se detallan en la sección IV de Conclusiones y Recomendaciones que incluye aspectos no resueltos, la mención y entrega de productos y servicios no contemplados en los ETRC. Se incluyen luego los Agradecimientos (Sección V), las Referencias (Sección VI; artículos disponibles en cigefi@cigefi.ucr.ac.cr) y el Cronograma de Actividades Actualizado en la Sección VII. El Personal Responsable de la investigación asociado al CIGEFI aparece en la Sección VIII. En el Anexo 3 se incluye la lista de acrónimos usada en los informes. En DVD adjunto se hace entrega de todos los productos finales, los cuales fueron además instalados en una computadora, propiedad de CORBANA, en un Sistema de Información Geográfica.

II. Resumen Científico del Proyecto

Los aspectos que determinan la base científica de este IF, como el clima, la variabilidad y el cambio climático regional, la fundamentación teórica del proyecto, los datos y métodos de análisis, el dominio regional de trabajo, los modelos atmosféricos e hidrológicos utilizados y el proceso de reducción de escala, la infraestructura computacional existente en el CIGEFI y otros aspectos relacionados con las fuentes de referencia e información histórica fueron descritos con gran detalle en el proyecto presentado a la Corporación en octubre de 2010 y no serán repetidos en este IF. En los temas mencionados arriba solamente se discuten e incluyen los avances científicos encontrados en cada uno de ellos, desde el momento en que fue presentada la propuesta a CORBANA a la fecha de presentación de este IF.

III. Avances, Actividades y Productos

1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

i) Introducción

En relación con el control de calidad básico de la base de datos BANACLIMA, los resultados correspondientes a las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos fueron entregados en el IS. Continuando con el programa de control de calidad se completó la aplicación de los ensayos de cotas, saltos y picos. Al momento de escribir este informe las macro-instrucciones necesarias están probadas, depuradas y el método de análisis establecido. Para correr los ensayos se utilizó la variable temperatura de las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos.

Se inició la búsqueda de índices para caracterizar la variabilidad climática de interés agro-meteorológico. En este informe se incluyen los resultados obtenidos con la distribución generalizada de valores extremos (DGVE) y la distribución generalizada de Pareto (Coles 2001). Se comenzó trabajando con el número de días en un año que exceden percentiles dados de temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y de precipitación acumulada diaria.

Este informe incluye una descripción del método desarrollado para proporcionar fechas aleatorias, al Grupo de Modelos Dinámicos, con que inicializar las simulaciones de clima y los contenidos del taller de introducción a MySQL.

ii) Escogencia al azar de miembros y enjambres para la climatología

Como parte del trabajo del Grupo de Modelos Dinámicos (sección 6) se

escogieron al azar tres “enjambres” de 365 fechas (miembros) cada uno para formar un año meteorológico que se utilizó en la inicialización de los modelos dinámicos para los cálculos conducentes a la obtención de una estadística anual (climatología). Para los efectos de este IF estos grupos se denominan simplemente enjambre 1, enjambre 2 y enjambre 3. Para evitar sesgos en la estadística anual las fechas o miembros deben ser escogidos aleatoriamente, pero a la vez, deben reflejar la distribución temporal de los principales agentes forzadores de la región de interés. Para ilustrar este requisito se toma como ejemplo el mes de abril y tres agentes forzadores. Para cumplir con el requisito solicitado, las 30 fechas o miembros correspondientes al mes de abril fueron repartidos proporcionalmente de acuerdo a la prevalencia durante este mes de cada agente forzador (por ejemplo, El Niño-Oscilación del Sur, ENOS; la Oscilación del Atlántico Norte, OAN y la Oscilación Multi-Decadal del Atlántico, OMDA). De esta forma si los agentes forzadores están presentes en alguna de las condiciones (bajo lo normal, normal, arriba de lo normal) en 50, 30 y 20% de los meses de abril, se deben escoger 15, 9 y 6 días, respectivamente durante este mes, en años en que esos agentes forzadores estuvieron presentes.

De los estudios de Alfaro *et al.* (1998), Enfield y Alfaro (1999) y Alfaro y Cid (1999) se observa que el clima en la región de Centroamérica está influenciado por las variaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) existentes en las dos cuencas oceánicas que la rodean, es decir Mar Caribe - océano Atlántico y el océano Pacífico. Los estudios citados anteriormente, mostraron que la mayor respuesta del clima en el istmo se da especialmente cuando el Atlántico Tropical Norte adquiere una configuración de tipo dipolo meridional, que es anti-simétrico a través de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT), con respecto al Pacífico Tropical del Este, es decir que las anomalías de la TSM sean de signo opuesto en ambos océanos. Se encontró, por ejemplo, que cuando en Centroamérica el Atlántico está más cálido al compararlo con el Pacífico, el viento alisio se debilita y es más probable tener condiciones anómalas más lluviosas sobre la vertiente del Pacífico de Centroamérica y menos lluviosas sobre la del Mar Caribe. Mientras que cuando el Atlántico está relativamente más frío que el Pacífico, el escenario opuesto es el más probable, debido a que los alisios tienden a ser más fuertes.

En la práctica se utilizan índices numéricos que cuantifican la presencia e influencia de los agentes forzadores. Básicamente estos consisten en realizar un promedio de la TSM en una región del océano que se sabe influencia el clima de la

región. Un índice muy usado para representar la variación del Pacífico Tropical del Este es el denominado Niño 3.4 o N34 en forma abreviada, específicamente de 120 a 170°O en longitud y de 5°S a 5°N en latitud (Trenberth 1997). Este índice está relacionado con el conocido fenómeno ENOS y su influencia sobre el istmo centroamericano ha sido ampliamente estudiada (e. g., Alfaro 2002). Por otra parte, las variaciones de las anomalías de la TSM en el Atlántico tienden a ser de tipo multi-decadal, es decir, algunas décadas tienden a mostrar más anomalías positivas o negativas que otras. Enfield *et al.* (2001) presentó un índice que resume esta variabilidad del Atlántico conocido por sus siglas en inglés como AMO u OMDA en español y que comprende la mayor parte del norte de esta cuenca oceánica. Su influencia sobre el clima de la región centroamericana ha sido estudiada por Alfaro (2007a, b). Se acostumbra categorizar los índices para reducir y simplificar su análisis. Por ejemplo, la influencia de un determinado agente forzador se podría categorizar como nula, leve, media, moderadamente alta y alta. El número de agentes forzadores y sus categorías se deben limitar para evitar la atomización de las fechas a escoger. Si tomamos tres agentes forzadores igualmente distribuidos y cada uno de ellos con tres categorías, el número de posibles combinaciones es 27. Por lo tanto cada posibilidad como agente A leve, agente B moderado y agente C alto, estaría representada, en promedio, por un solo día en cada mes. Por lo tanto se decidió escoger dos agentes forzadores, AMO y N34, divididos en tres categorías cada uno, que producen 9 combinaciones. En este caso el número aproximado de días para cada categoría en un mes es cercano a tres.

Los índices AMO y N34 se categorizaron en tres que fueron denominados Bajo lo Normal (BN), Neutro (N) y Arriba de lo Normal (AN), para nueve posibles combinaciones conjuntas, como se mencionó anteriormente. Los resultados se guardaron en el archivo binario mesorden.bin. Para la inicialización de los modelos numérico se usaron datos del NCEP-NCAR (Kalnay *et al.* 1996) que abarcan los años de 1971 a 2010 (cuarenta años). Las probabilidades empíricas de ocurrencia de los 480 meses se presentan en la Tabla 1.1. La categoría 5 con las temperaturas de ambos océanos en condición neutra es la más prevalente como es de esperar, seguida por la presencia de la Niña (BN) con un Atlántico frío (BN). La menos prevalente es la combinación de Atlántico frío (BN) y el Pacífico neutro (N).

La Tabla 1.2 indica el número de días que se deben escoger para cada categoría de acuerdo al número total de días de los meses. El cálculo con las probabilidades empíricas da días fraccionarios y cuando estos se redondean a valores enteros, causa que

el número total de días escogidos no coincida, necesariamente, con el número total de días del mes. En esos casos se aumentan o reducen los días escogidos en la categoría 5 con ambos agentes forzadores neutros, para no preferir un agente forzador respecto al otro.

AMO	Niño 3.4	Categoría	Probabilidad empírica
N(1)	BN(1)	1	0,1333
BN(1)	N(2)	2	0,0938
BN(1)	AN(3)	3	0,1000
N(2)	BN(1)	4	0,0938
N(2)	N(2)	5	0,1438
N(2)	AN(3)	6	0,1125
AN(3)	BN(1)	7	0,1000
AN(3)	N(2)	8	0,1188
AN(3)	AN(3)	9	0,1042

Tabla 1.1 Probabilidad empírica de ocurrencia de las nueve categorías posibles al combinar los índices AMO y Niño 3.4 categorizados a su vez en tres cada uno. El índice entre paréntesis se refiere al índice de categoría utilizado en el archivo mesorden.bin.

El escogimiento de las fechas se realiza con el archivo de comandos en SCILAB *estdiaria.sce*. Este programa lee el archivo mesdesord.bin que es el archivo mesorden.bin desordenado aleatoriamente. Ejecuta las siguientes acciones para cada mes del año y para cada categoría:

1. Busca en el archivo mesdesord.bin las entradas correspondientes al mes y categoría.
2. Compara el número de entradas halladas con el número de días que se deben escoger de acuerdo a la Tabla 1.2.
3. Si el número de entradas lo excede, se escoge al azar el número de entradas correspondientes.
4. Si el número de entradas encontradas es igual al que se debe escoger, no se toma ninguna acción.

Categoría	28 días	30 días	31 días
1	4	4	4
2	3	3	3
3	3	3	3
4	3	3	3
5	3	4	5
6	3	3	3
7	3	3	3
8	3	4	4
9	3	3	3

Tabla 1.2 Número de días que se deben escoger para cada combinación AMO-Niño 3.4 de acuerdo al número de días del mes.

5. Si el número de entradas encontradas es menor, se repiten los años encontrados al azar con días que no se repiten generados al azar.

Por construcción, para un mes dado no se repiten los días. En la mayoría de los casos tampoco se repiten los años excepto en los casos del paso 5. Usando este método se generaron tres conjuntos o enjambres de 365 fechas (miembros) cada uno (archivos agno1.bin a agno5.bin). La Tabla 1.3 muestra un fragmento de una de las tres corridas con 365 fechas escogidas al azar.

Además de la fecha, para el proceso de inicialización se requiere fijar la hora del día en la que debe comenzar la simulación. Se puso como requisito que para cada mes y cada categoría, las horas sean asignadas aleatoriamente para evitar sesgos. El número de combinaciones posibles entre 9 categorías y 12 meses es 108 y por lo tanto se espera que para cada combinación se deban asignar cerca de tres o cuatro horas en las 365 fechas de un año no bisiesto. Para la asignación de las horas se escribieron los archivos de comandos *hormescat.sce* e *impatint.sce* con los que se generaron cinco archivos texto (amdh1.dat a amdh5.dat). En la Tabla 1.4 se muestra un fragmento de uno de estos archivos. Por construcción, las horas asignadas siguen la distribución de probabilidad multinomial y las variaciones estadísticas observadas en los resultados son consistentes con ella.

Año	Mes	Día	Categoría
1992	3	20	6
1999	3	9	7
2006	3	25	7
2000	3	7	7
2007	3	15	8
2004	3	8	8
2001	3	17	8
2002	3	18	8
2010	3	29	9
2003	3	27	9
1983	3	21	9
1971	4	13	1
1976	4	4	1
1974	4	29	1
1978	4	12	1
1973	4	6	2
1979	4	30	2
1977	4	11	2
1972	4	20	3

Tabla 1.3 Fragmento de una de las tres corridas con 365 fechas escogidas al azar. El escogimiento de las fechas se hace de acuerdo, al patrón estacional de la temperatura superficial del Océano Atlántico y del Océano Pacífico representadas por los índices AMO y Niño 3.4.

En la sección 6 de este IF, Climatología Generada por Modelos Dinámicos se presentan los resultados de los tres enjambres utilizados para las simulaciones realizadas implementando el modelo MM5, cada uno con 365 miembros (fechas), para la construcción de la climatología en la Vertiente Caribe del país.

Año	Mes	Día	Hora	Categoría
1976	1	30	18	1
1974	1	28	12	1
1971	1	12	0	1
1986	1	26	0	1
2001	5	19	6	5
2004	5	31	12	5
1981	5	15	18	5
1979	5	28	12	5
2009	5	14	12	5

Tabla 1.4 Fragmento de archivo mostrando las horas agregadas aleatoriamente a la categoría 1 en el mes de enero y a la categoría 5 en el mes de mayo.

iii) Posible uso de las distribuciones de valores extremos como índices de cambio climático

De estudios agro-meteorológicos como el de Sastry (1988), se sabe que la incidencia de días con temperaturas menores a 18°C inhibe el crecimiento del banano y que temperaturas altas propician el desarrollo de enfermedades. Por otro lado el número de días fríos y cálidos se usan en estudios de cambio climático, como los del Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) de CCI/CLIVAR (<http://www.clivar.org/organization/etccdi>).

Desde estos dos puntos de vista las distribuciones de temperaturas diarias máximas y mínimas son de interés para este proyecto. Al ser valores extremos, se deben describir mediante la Distribución Generalizada de Valores Extremos (DGVE) (ver por ejemplo, Coles 2001; Castillo *et al.* 2005).

La distribución de probabilidad acumulada de la DGVE tiene la forma,

$$G(z) = \exp(-\{1 + [\xi(\frac{z-\mu}{\sigma})]^{-1/\xi}\}) \quad (1.1)$$

Los tres parámetros μ , ξ , y σ , de los que depende la distribución [ecuación (1.1)], reciben los nombres de parámetros de localización, forma y escala, respectivamente. Para este trabajo se utilizó el paquete extRemes de Gilleland y Katz (2011) del programa R (R Development Core Team 2010) para calcular los parámetros y diagnósticos de la DGVE. Como caso de estudio se escogió a la estación Chirripó, que tiene un porcentaje de valores ausentes bajo. La Figura 1.1 muestra los valores de

temperatura mínima diaria de los años 2009 y 2010 donde el ciclo anual es evidente. Esta estacionalidad puede afectar el cálculo de los parámetros de la DGVE y los diagnósticos deben estudiarse cuidadosamente para valorar la bondad del ajuste. Los parámetros de la DGVE calculados se muestran en la Tabla 1.5 para los años 2009 a 2011. El paquete extRemes proporciona por defecto un diagnóstico compuesto por cuatro gráficos que permiten juzgar los méritos del ajuste. Los dos gráficos en la parte superior de la Figura 1.2 son los gráficos de probabilidad calculada contra probabilidad empírica y de cuantiles empíricos contra cuantiles calculados de las temperaturas diarias mínimas del año 2011. En los dos casos la línea obtenida cae cerca de la línea trazada a 45° lo que indica que el ajuste es aceptable. El gráfico en la esquina inferior izquierda muestra el nivel de retorno en función del periodo de retorno. Este diagnóstico es afectado por la estacionalidad y los periodos de retorno calculados no son confiables. Debido a la estacionalidad, los eventos extremos se agrupan y el valor medio del intervalo entre eventos sucesivos está distorsionado. El último gráfico muestra la distribución de probabilidad calculada sobrepuesta al histograma de los datos crudos e indica un buen ajuste obtenido. Nótese que los ejes “x” de los gráficos de la derecha muestran temperaturas negativas. Esto se debe a que los datos de temperatura mínima se introdujeron en las funciones de maximización del paquete extRemes multiplicados por -1. Este es un artilugio muy utilizado para cambiar un problema de minimización en un problema de maximización y utilizar un sólo tipo de funciones.

Año	Localización	Error	Escala	Error	Forma	Error
2009	-22.87844	0.06007	0.97983	0.04457	0.00548	0.04651
2010	-23.09891	0.06476	1.06265	0.04561	-0.11761	0.03775
2011	-22.82334	0.06210	1.05129	0.04422	-0.08092	0.03800

Tabla 1.5 Valores calculados de los parámetros de localización, escala y forma de la DGVE para los años 2009 a 2010. Las columnas Error se refieren a la desviación estándar del método de estimación de máxima verosimilitud utilizado.

Teniendo los parámetros de la distribución, los niveles de orden p , z_p , se calculan mediante la expresión (1.2),

$$z_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log(G(z_p))\}^{-\xi}] \quad (1.2)$$

Las Figuras 1.3 y 1.4 muestran las temperaturas máximas y mínimas correspondientes a los centiles $G(z_p) = 0,9...0,99$. Los años 2009 y 2010 muestran un comportamiento similar. En el año 2011 los diez últimos centiles de las temperaturas máximas y mínimas ocurren a temperaturas más altas que en los dos anteriores. Este hecho no indica necesariamente que el año 2011 es 'más caliente' en el sentido entendido en cambio climático, ya que puede ser debido a un efecto interanual.

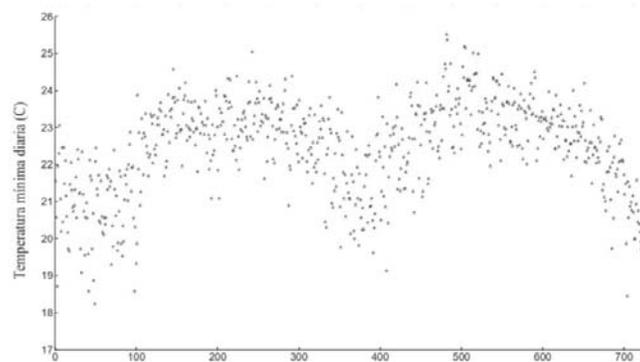


Figura 1.1 Temperatura mínima diaria de la estación 11 (Chirripó) de los años 2009 y 2010. El ciclo anual es evidente e indica que las temperaturas mínimas bajas son más probables en los tres primeros meses del año.

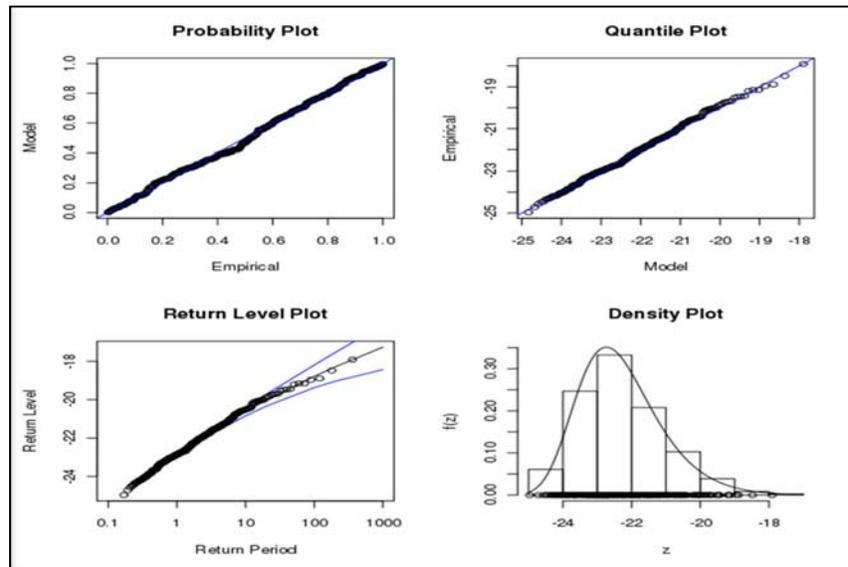


Figura 1.2 Diagnósticos proporcionados por el paquete extRemes para juzgar la bondad del ajuste a la DGVE obtenido para las temperaturas mínimas del año 2011 en la estación 11 (Chirripó).

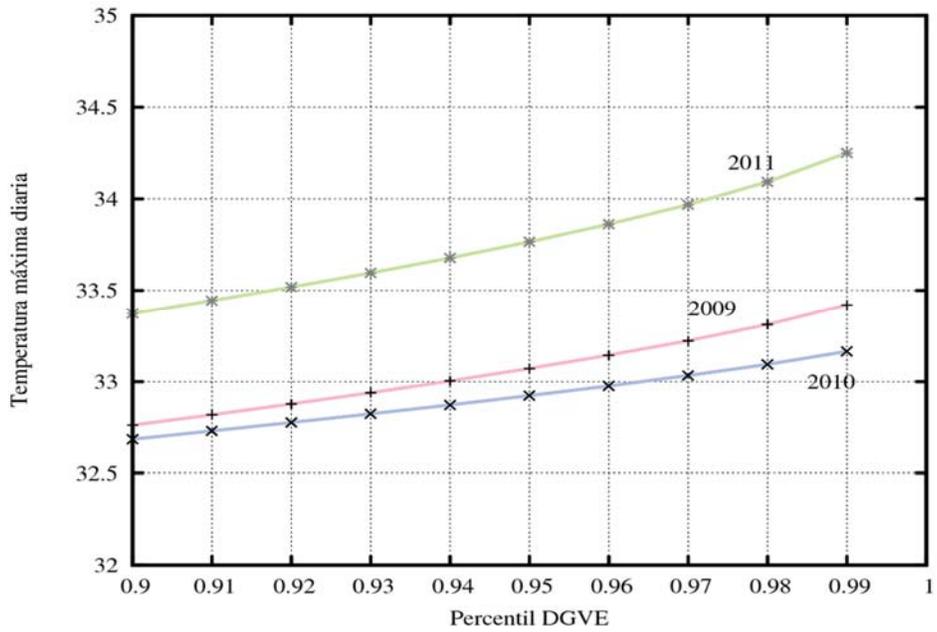


Figura 1.3 Nivel de la temperatura máxima diaria de la estación 11 (Chirripó) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los tres años de registro 2009 a 2011. El año 2011 presenta temperaturas máximas más altas que los dos anteriores.

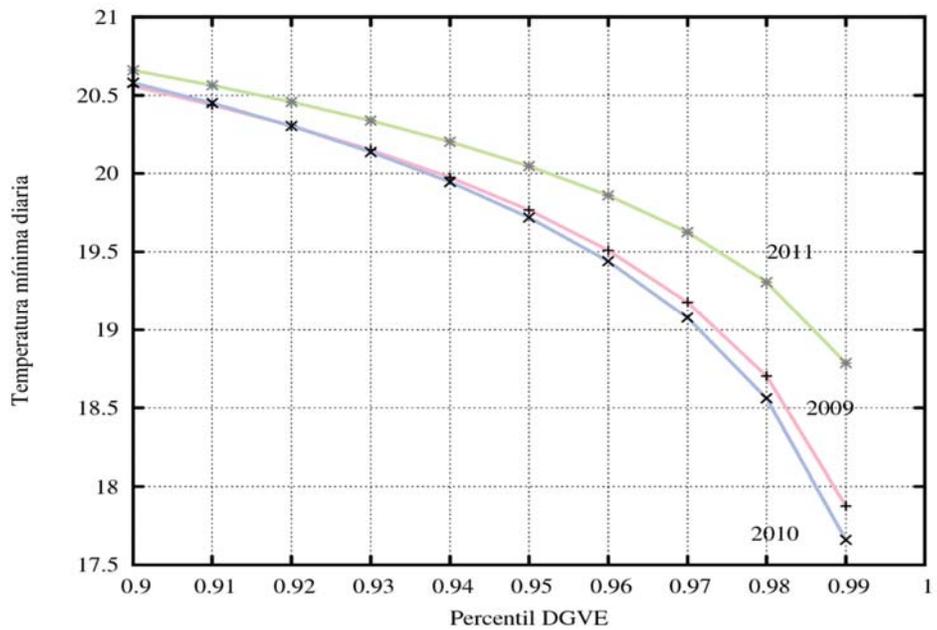


Figura 1.4 Nivel de la temperatura mínima diaria de la estación 11 (Chirripó) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los tres años de registro 2009 a 2011. El año 2011 presenta temperaturas mínimas más altas que los dos anteriores.

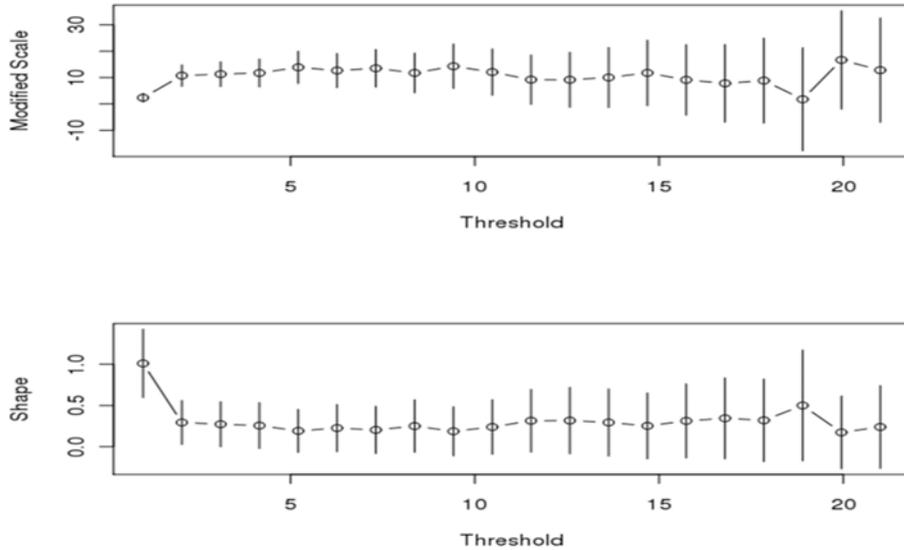


Figura 1.5 Uno de los diagnósticos proporcionados por el paquete `extRemes` para determinar el umbral adecuado para calcular los excesos de la precipitación acumulada diaria del año 2006 en la estación 7 (PAIS). De la figura se obtiene que el umbral mínimo es cercano a 3 mm.

Otra variable de gran importancia en agro-meteorología es la precipitación acumulada diaria ya que numerosos días de baja precipitación afectan el desarrollo del banano y un exceso de días con precipitaciones altas fomentan el desarrollo de enfermedades.

El número de días con precipitaciones menores o iguales a un umbral dado (déficits) y el número de días mayores o iguales a un umbral dado (excesos) son también de interés para este proyecto. Los excesos se describen con las ecuaciones (1.3) y (1.4), que es la Distribución Generalizada de Pareto, DGP (Coles 2001).

$$H(z) = 1 - \left(1 + \frac{\xi z}{\sigma}\right)^{-1/\xi} \quad (1.3)$$

$$z_p = u + \frac{\sigma}{\xi} \left[\left(\frac{\zeta_u}{p} \right)^\xi - 1 \right] \quad (1.4)$$

Los parámetros ξ y σ son parámetros de forma y escala similares a los de la DGVE. En la segunda relación z_p es el nivel correspondiente al percentil $p = \Pr\{Z > z\}$, u es el umbral utilizado y $\zeta_u = \Pr\{Z > u\}$. Los parámetros de la distribución se pueden calcular con el paquete `extRemes` mencionado anteriormente y la bondad del ajuste se puede determinar con los diagnósticos provistos. La determinación del umbral es crucial

y el paquete ofrece dos diagnósticos para determinarlo, uno de los cuales se muestra para otra estación en la Figura 1.5 (PAIS). El diagnóstico mostrado se basa en una propiedad interesante de la DGP: si una variable sigue la DGP para un umbral determinado, la distribución obtenida con un umbral mayor es también una DGP cuyo parámetro de forma es el mismo de la distribución original. El parámetro de escala de la nueva distribución está relacionado linealmente con el de la original y mediante una sencilla transformación se vuelve constante. El diagnóstico consiste en ir cambiando el valor del umbral monotónicamente. El umbral adecuado mínimo es aquel donde los parámetros de forma y de escala comienzan a ser constantes dentro de las barras de error. En el ejemplo mostrado el umbral mínimo tiene un valor cercano a 3 mm.

La Figura 1.6 muestra los niveles de la precipitación acumulada diaria para los centiles 0,9 a 0,99 de la estación PAIS. Para los primeros centiles se mantiene el orden de los años respecto a nivel creciente, pero a partir de 0,95 las curvas se cruzan alterando el orden inicial.

iv) Taller de Introducción a MySQL

Se organizó un taller para facilitar a los investigadores del proyecto el acceso a la base de datos relacional MySQL. El entrenamiento fue personalizado consistiendo de un investigador frente a la computadora realizando los ejercicios programados bajo la tutela de uno de los tres instructores. Se invitó a los investigadores a que hicieran preguntas y que expusieran sus inquietudes para que el instructor pudiera variar los ejercicios si lo consideraba pertinente. Para garantizar la seguridad de la base de datos se habilitó un usuario con permiso de únicamente seleccionar información de toda la base de datos instalada pero con permisos amplios en una única base de datos donde podían hacer copias, crear y alterar las tablas.

El entrenamiento consistió en:

1. Inspeccionar la tabla de contenidos del manual de MySQL en formato PDF.
2. Activar la ventana de acceso al visualizador (“browser”) de MySQL e introducir los parámetros requeridos para accederlo.
3. Explicar la funcionalidad de cada una de las ventanas del visualizador (ver la Figura 1.7).
4. Navegar por las diferentes bases de datos y desplegar el contenido de las tablas.
5. Introducir diferentes formas del comando de selección y editarlos para adaptarlos a las diferentes tablas.

6. Crear una tabla para luego exportarla en formato CSV e introducirla a una hoja electrónica.
7. Exportar una tabla de una hoja electrónica e introducirla a la base de datos en MySQL.

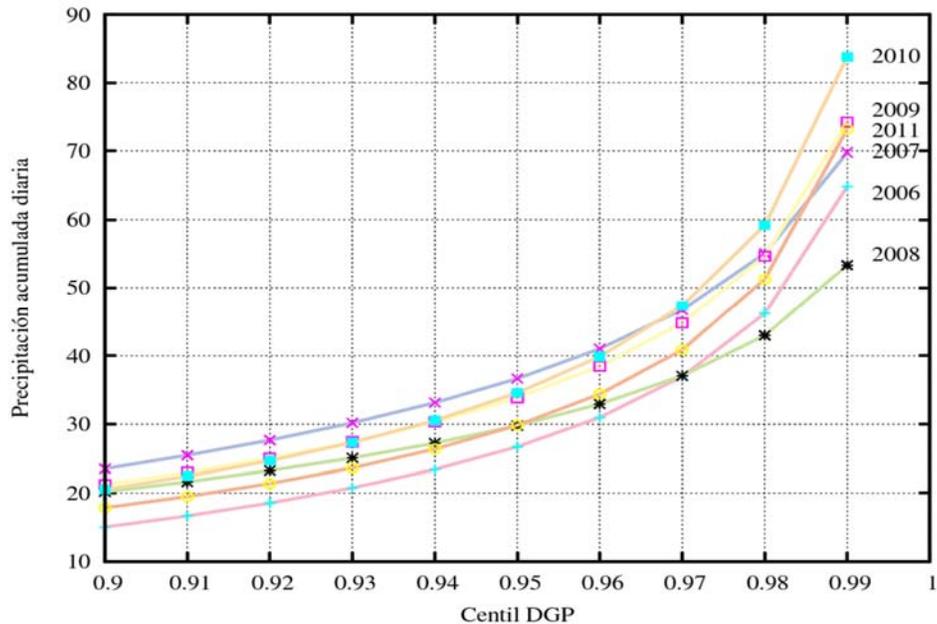


Figura 1.6 Nivel de la precipitación acumulada diaria de la estación 7 (PAIS) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los años 2006 a 2011.

A los investigadores se les entregó un archivo texto con las direcciones en la red de donde se puede instalar MySQL en Windows o Linux y con un resumen de las diferentes formas del comando de selección que se consideraron de mayor utilidad. El entrenamiento duraba alrededor de una hora y media y se entrenaron cinco investigadores entre la última semana de enero y las dos primeras de febrero.

Los datos que los investigadores utilizan pueden estar corruptos parcialmente por una variedad de problemas que pueden ocurrir en la estación meteorológica misma, durante el proceso de transmisión, en su introducción a la base de datos y en el manejo posterior de los mismos. Los ensayos de cotas, saltos y picos forman parte del complejo proceso de control de calidad que toda base de datos meteorológica debe implementar para garantizar la calidad de la información. Araya (2007) y Araya y Alfaro (2008; 2009) discuten a fondo este proceso de control de calidad. En su trabajo los ensayos mencionados se aplican en tiempo real en las estaciones meteorológicas automáticas y

para este proyecto los algoritmos se adaptaron para aplicarlos a las series históricas en una base de datos relacional.

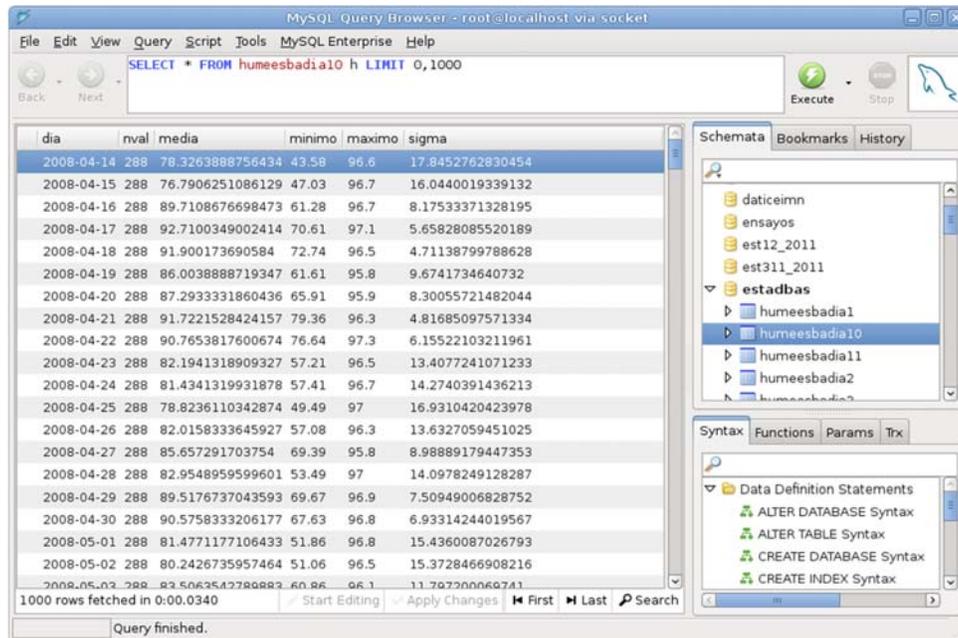


Figura 1.7 Visualizador (“browser”) de MySQL para acceder a la base de datos.

v) Ensayos de cotas, saltos y picos

El ensayo de cotas consiste en detectar los valores menores o mayores de un umbral dado. En SQL su implementación es directa:

```
set @c_max = 6.9, @c_min = 0;
create table preci5cotas select *, if (preci > @c_max, 1, 0) as exceed, if (preci < @c_min, 1, 0) as subexc from preci5.tpe5;
```

El código anterior levanta la bandera **exced** si el valor es mayor al umbral 6.9 o levanta la bandera **subexc** si el valor es menor a 0. En la prueba de saltos se calculan las diferencias entre valores consecutivos $s_t = x_t - x_{t-1}$ y se levanta una bandera si el valor absoluto de esa diferencia excede un umbral dado.

```
set @m_sal = 4.9 ;
create table preci5saltos select *, if (abs(preci - @prev) > @m_sal, 1, 0) as salto, @prev := preci as ahora from preci5.tpe5;
```

Para detectar picos se multiplican los saltos adyacentes a un valor central, es decir, $p_t = -s_t s_{t+1}$. El signo menos se incluye para obtener un valor positivo ya que un pico se caracteriza por una subida ($s_t > 0$) seguida de una bajada ($s_{t+1} < 0$). Nótese que también

para un valle $p_t > 0$ porque un valle es una bajada seguida de una subida. Las distribuciones de picos y valles pueden ser diferentes por lo que para fijar los umbrales correspondientes se debe distinguir entre ellos comparando el valor central con cualquiera de las adyacentes (si $x_t > x_{t-1}$, es un pico, $x_t < x_{t-1}$ es un valle). Habiendo clasificado los picos y valles se levantan sendas banderas si p_t excede el umbral fijado para los picos o para los valles. La Figura 1.8 muestra un ejemplo de un pico detectado para Agrotubérculos. Se escribió el archivo de comandos *ensayos_preci5editado.sql* que aplica los ensayos mencionados a las variables de interés para el proyecto. Con pequeñas modificaciones se puede aplicar a las tablas con muestreo de 30 minutos. Se realizó el control de calidad con los tres ensayos para la temperatura de las once estaciones incluyendo el año 2011. Para las tablas de precipitación sólo se utilizó el ensayo de cotas ya que por su naturaleza la precipitación consiste de picos y por consiguiente los ensayos de saltos y picos pierden significado. El ensayo de cotas para la precipitación se corrió para las once estaciones y también incluye el año 2011.

vi) Serie de precipitación mensual de la estación Limón

Las estaciones de BANACLIMA muestran periodos cortos para realizar un análisis mensual de la lluvia, de manera que se identificó una estación en la zona que posee un historial de observaciones más largo, Limón (IMN). La serie de precipitación mensual de la estación Limón analizada se extiende de los años 1923 al 2010. La Figura 1.9 muestra el histograma de los valores y la distribución gamma sobrepuesta. La distribución gamma se ajustó mediante el método de máxima verosimilitud (forma = 2,316823, escala = 122,325823) y representa fielmente los resultados. Esta serie no es estacionaria y se sabe que los meses de mayor precipitación son julio y diciembre mientras que los de menor precipitación son marzo y setiembre. El histograma de los valores correspondientes a julio se muestra en la Figura 1.10 y tiene una mayor variabilidad que el histograma de la serie completa. Ese efecto es de esperar debido al menor número de datos utilizados en su cálculo. Los diagnósticos de los gráficos PP y QQ en la misma figura comprueban que la distribución gamma proporciona un ajuste aceptable.

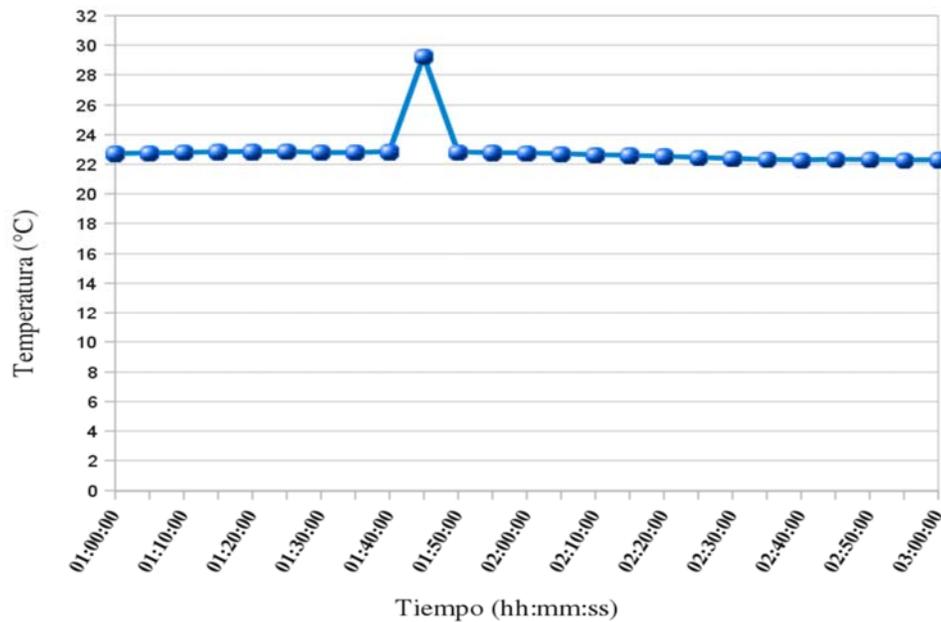


Figura 1.8 El ensayo de picos detectó un pico de más de 6°C en la base de datos en el registro correspondiente a 2011-01-01 01:45:00 de la estación 6 (Agrotubérculos). Los valores involucrados son 22,85; 29,27 y 22,83 °C.

Los ensayos se aplicaron a la tabla de temperatura. En este sentido CORBANA puede solicitar las corridas sobre las otras variables, para lo cual, se deberá especificar los umbrales que interesan.

El objetivo del análisis es determinar si los valores extremos de la distribución, tanto máximos como mínimos, han cambiado con el transcurso del tiempo. El método a seguir es el siguiente:

1. Para un mes dado, la serie se divide progresivamente en mitades, tercios, cuartos, etc.
2. A cada segmento se ajusta la distribución gamma mediante el método de máxima verosimilitud.
3. Se calculan los cuantiles en los extremos y se grafican.
4. Se evalúa la estabilidad de los cuantiles calculados conforme se disminuye el tamaño de los segmentos.
5. Se calculan y grafican los cuantiles para los otros tres meses con la menor segmentación que permite resultados confiables.

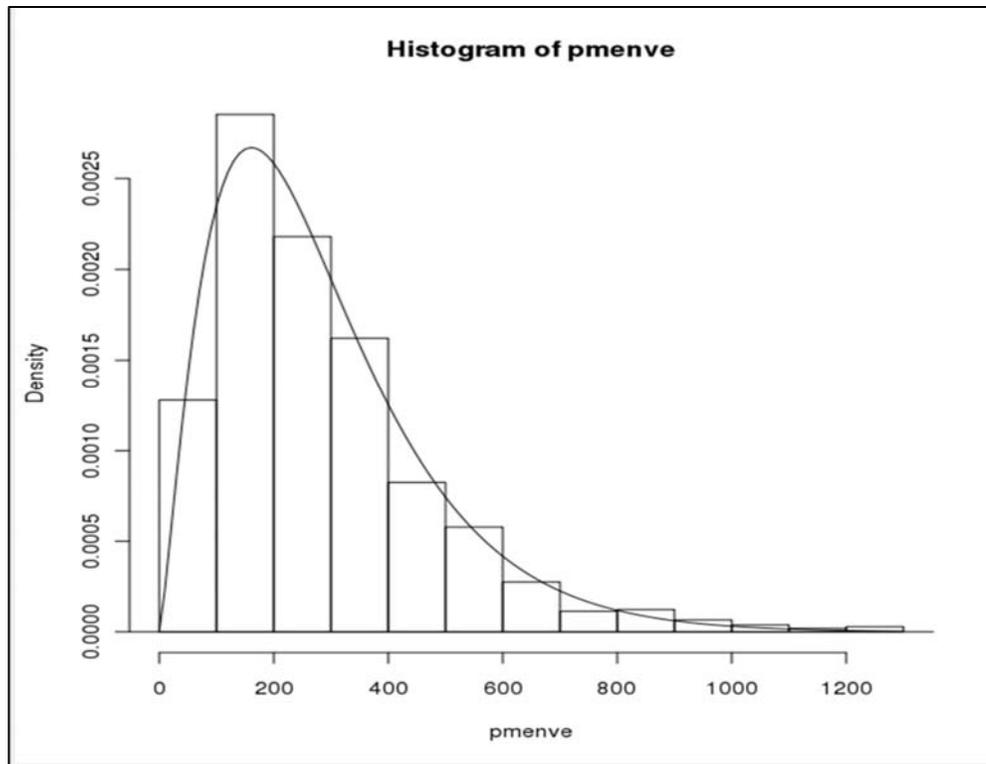


Figura 1.9 Histograma de los valores mensuales de precipitación acumulada de la estación Limón (1923-2010). La distribución gamma se ajustó mediante el método de máxima verosimilitud.

La Figura 1.11 muestra los resultados de la segmentación progresiva del mes de julio e incluye los cuantiles calculados para la serie de tiempo completa (círculos negros). Se juzgó que los cuantiles calculados eran confiables hasta la división en cuartos (22 valores por segmento) y se muestran en el gráfico de la derecha. Los colores de los segmentos 1 a 4 son azul, rojo, verde y violeta, respectivamente. El segundo cuarto es el más seco y el último cuarto el más húmedo.

Los resultados para los cuantiles superiores de los meses de mayor precipitación acumulada, julio y diciembre se muestran en la parte superior de la Figura 1.12 y los que corresponden a los dos meses de menor precipitación, marzo y setiembre, en la inferior. Para julio y diciembre el cuarto “cuarto” es el de valores extremos superiores más altos, y para el segundo cuarto los valores extremos superiores son menores a los de la serie completa. El primer y tercer cuarto están a ambos lados de la curva de la serie completa.

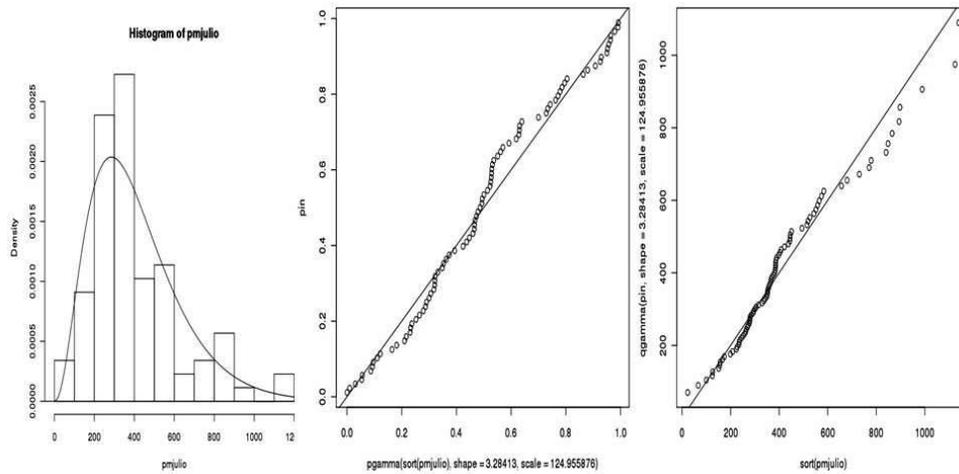


Figura 1.10 Histograma de la precipitación acumulada en los meses de julio de la serie de precipitación mensual de la estación Limón. Los gráficos PP y QQ muestran que la distribución gamma representa la precipitación adecuadamente.

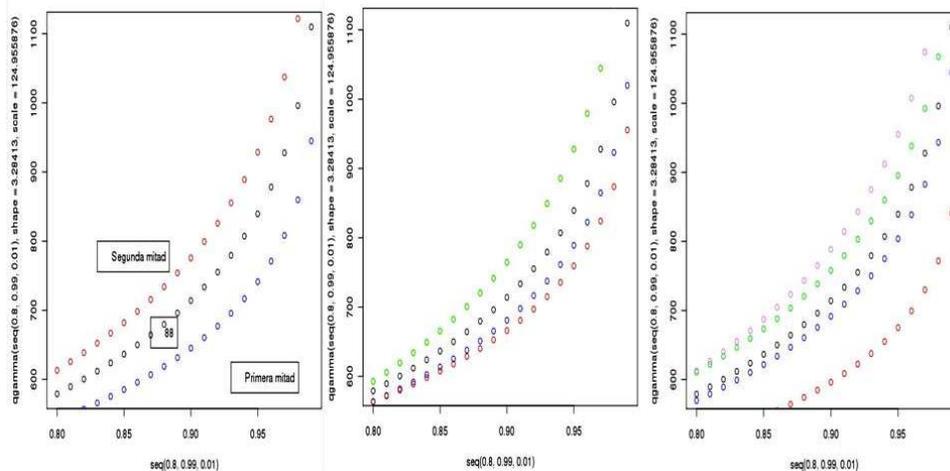


Figura 1.11 Resultados de la segmentación progresiva de la serie de julios en mitades, tercios y cuartos. Los puntos de color negro corresponden a la serie completa de julios y el orden de colores claros es azul, rojo, verde y violeta.

Respecto a los cuantiles inferiores, el cuarto “cuarto” tiene valores mínimos en los meses de julio, diciembre y setiembre (Figura 1.13), lo que lo hace el más extremo para esos tres meses. En los meses de mayor precipitación, el segundo cuarto tiene los valores de cuantiles más altos, lo que indica que hay más valores bajos de precipitación acumulada. Para los meses de julio y diciembre el segundo cuarto tiene los valores de cuantiles máximos, indicando una menor presencia de valores bajos de precipitación.

Anteriormente se anotó que estos dos meses muestran los valores extremos superiores más bajos por lo que el segundo cuarto es el menos extremo para los dos meses de mayor precipitación. El primer cuarto de los meses marzo y setiembre muestra cuantiles superiores bajos y cuantiles inferiores altos indicando un mayor número de valores extremos en ambas alas de la distribución.

vii) Serie de precipitación diaria de la estación Limón

La serie de precipitación diaria de la estación Limón analizada se extiende desde 1941-05-01 a 2004-12-31. Esta serie presenta varios meses en los cuales la precipitación acumulada diaria tiene valor constante durante el mes o casi todo el mes (Tabla 1.6). Este comportamiento se debe a la práctica común de repartir equitativamente un dato conocido de precipitación acumulada durante varios días o un mes en los días anteriores cuando se desconoce la precipitación acumulada diaria. Estos meses fueron ignorados en los análisis que se describen en la Tabla 1.6. El análisis del número de días con precipitación (*ie*, mayor o igual a 0,1 mm) sólo muestra un aumento significativo para el mes de setiembre, que es el mes de menor precipitación en el año (Figura 1.14). El valor calculado de la pendiente es 0,11992 con valor *p* de 0,000658. La pendiente del mes de julio (arriba izquierda) no es significativa a pesar de su valor alto (pendiente = 0,6898, valor *p* = 0,677). El número de valores extremos por mes que exceden el percentil 80 para los mismos cuatro meses se mantienen estables (Figura 1.15).

viii) Método empleado para el rellenado de datos de las estaciones BANACLIMA, variables: Radiación y Viento

En esta parte del informe se incluyen los resultados de la matriz de correlación y el rellenado de datos de radiación solar y viento en todas las estaciones con muestreo de 5 minutos.

1. Correlación y rellenado

La matriz de correlación de Pearson (Wilks 1995) se calcula para la radiación solar y rapidez del viento, para esta última otra opción que se toma en cuenta es descomponer los datos de viento en la componente zonal (*u*) y la meridional (*v*) como lo muestran las ecuaciones (1.5) y (1.6).

$$u = R \sin \theta \quad (1.5)$$

$$v = R \cos \theta \quad (1.6)$$

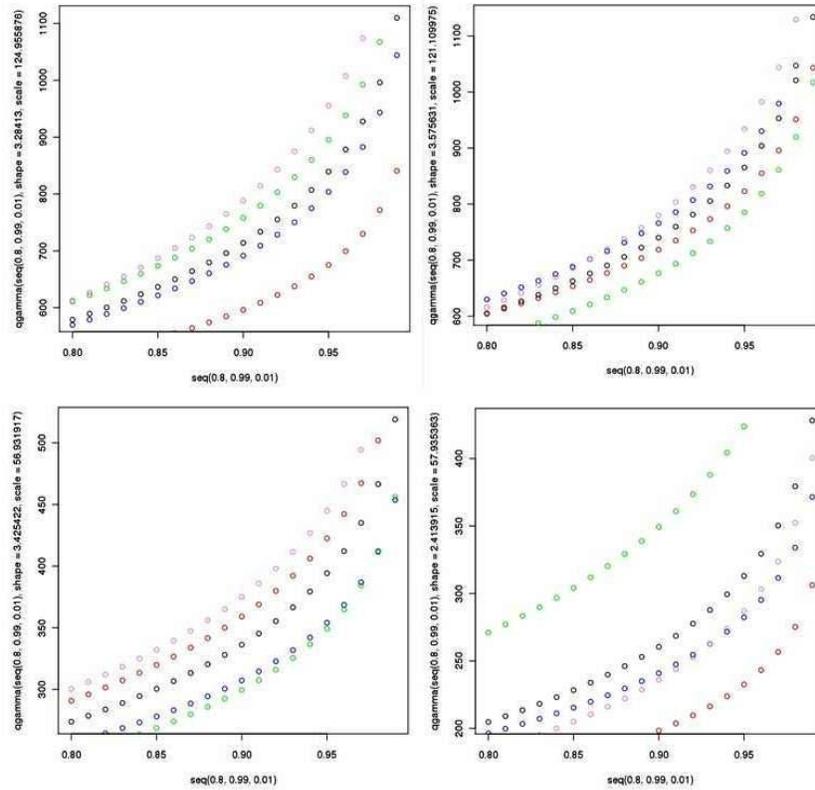


Figura 1.12 Cuantiles superiores de la precipitación acumulada mensual en los meses julio, diciembre, marzo y setiembre. Julio y diciembre (en la parte superior) son los dos meses del año de mayor precipitación mientras que marzo y setiembre (en la parte inferior) son los de menor precipitación.

En las ecuaciones (1.5) y (1.6), R es la rapidez y θ es la dirección del viento más 180° , ya que en meteorología, la dirección del viento se reporta asociada de donde viene el viento. Luego de esto se realiza el rellenado de datos por el método de componentes principales descrita en Alfaro y Soley (2009), para las variables descritas anteriormente. Hay que resaltar que el método de rellenado no acepta datos ausentes en todas las estaciones en una misma fecha y hora, de ser así hay que omitir esa fila.

2. Resultados

La matriz de correlación muestra la correlación lineal de los datos entre las estaciones, si el índice de correlación es igual a 1 existe una correlación perfecta, si el índice es menor que 1 y mayor que 0, existe una correlación positiva, si el índice es igual a 0, no existe relación lineal, si el índice es mayor que -1 y menor que 0, la correlación es negativa, si el índice es igual a -1 existe una correlación lineal negativa

perfecta, esto quiere decir que cuando una variable aumenta la otra disminuye en proporción constante.

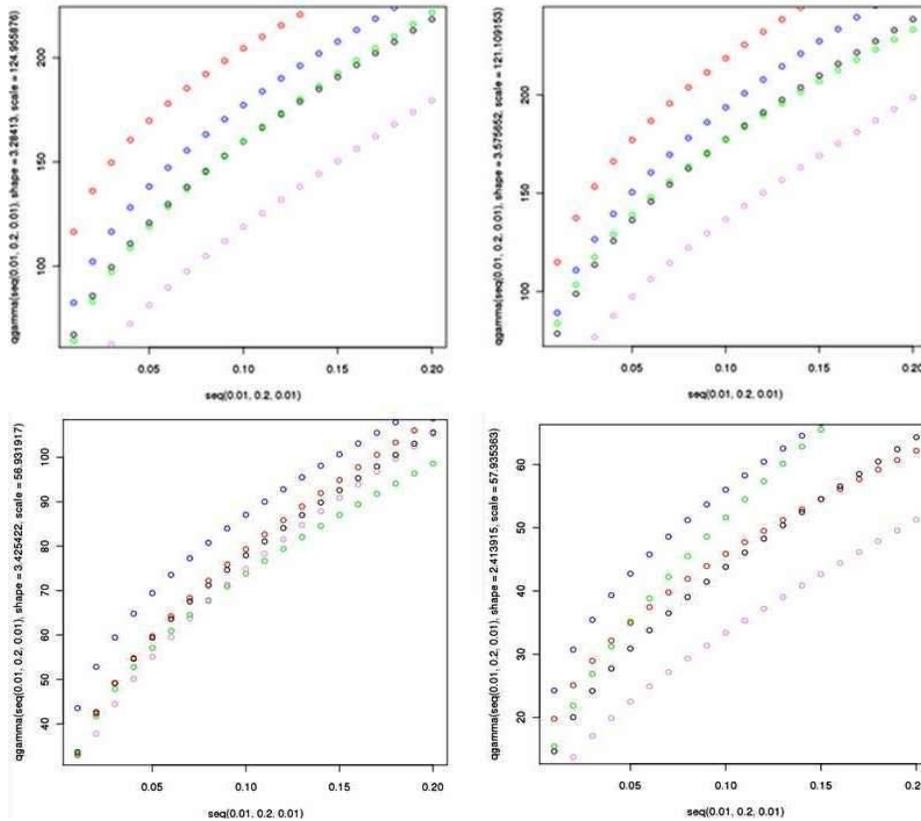


Figura 1.13 Cuantiles inferiores de los meses julio, diciembre, marzo y setiembre de la serie de julios segmentada en cuartos (azul, rojo, verde, violeta). Los círculos negros representan la serie completa.

Las Tablas 1.7a, 1.7b y 1.7c muestran la matriz de correlación para las variables estudiadas. En ambas variables las series se dividieron en dos partes, una que contiene siete estaciones en el periodo del 2005-2008, la otra sección posee nueve estaciones en el periodo 2008-2011, debido a que las estaciones Islas (10_n_is) y Chirripó (11_c_ch) iniciaron la toma de datos a partir del 2008. La ubicación de las estaciones se muestra más adelante en la sección 5, Figura 5.1. La Rita y 28 Millas presentaron problemas en los datos y no se consideran en este análisis.

En radiación solar se procede a rellenar los datos nulos. Para esta variable se tienen 2493 datos ausentes para la estación 3_n_ca, 7249 para la estación 4_c_si, 5497 para la estación 5_c_li, 9806 para la estación 6_s_ag, 12838 para la estación 7_s_pa, 1153 para la estación 8_n_lv, 726 para la estación 9_n_pe, 18096 para la estación 10_n_is y 17262

para la estación 11_c_ch, equivalente entre un 0,1% y un 8% datos ausentes en las series. Luego de varias pruebas con la rutina se utilizan todos los autovalores con una diferencia máxima de 01 y un máximo de 30 iteraciones (Alfaro y Soley 2009), los resultados son graficados como lo muestra a modo de ejemplo la Figura 1.16.

Inicio	Fin	Valor constante
1941-11-01	1941-11-29	11,5
1941-12-01	1941-12-30	6,1
1942-01-01	1942-01-30	10,6
1942-02-01	1942-01-27	7,7
1942-04-01	1942-04-29	6,4
1942-05-01	1942-05-30	8,6
1942-07-01	1942-07-30	9,4
1944-11-01	1944-11-29	33,6
1946-01-01	1946-01-30	4,4
1946-11-01	1946-11-29	4,2
1947-01-01	1947-08-30	13,7
1947-11-01	1947-11-29	8
1949-01-01	1949-01-30	6,5
1949-11-01	1949-11-29	27,5
1955-11-01	1955-11-30	17

Tabla 1.6 Meses durante los cuales el valor de precipitación acumulada diaria es constante durante todo o casi todo el mes.

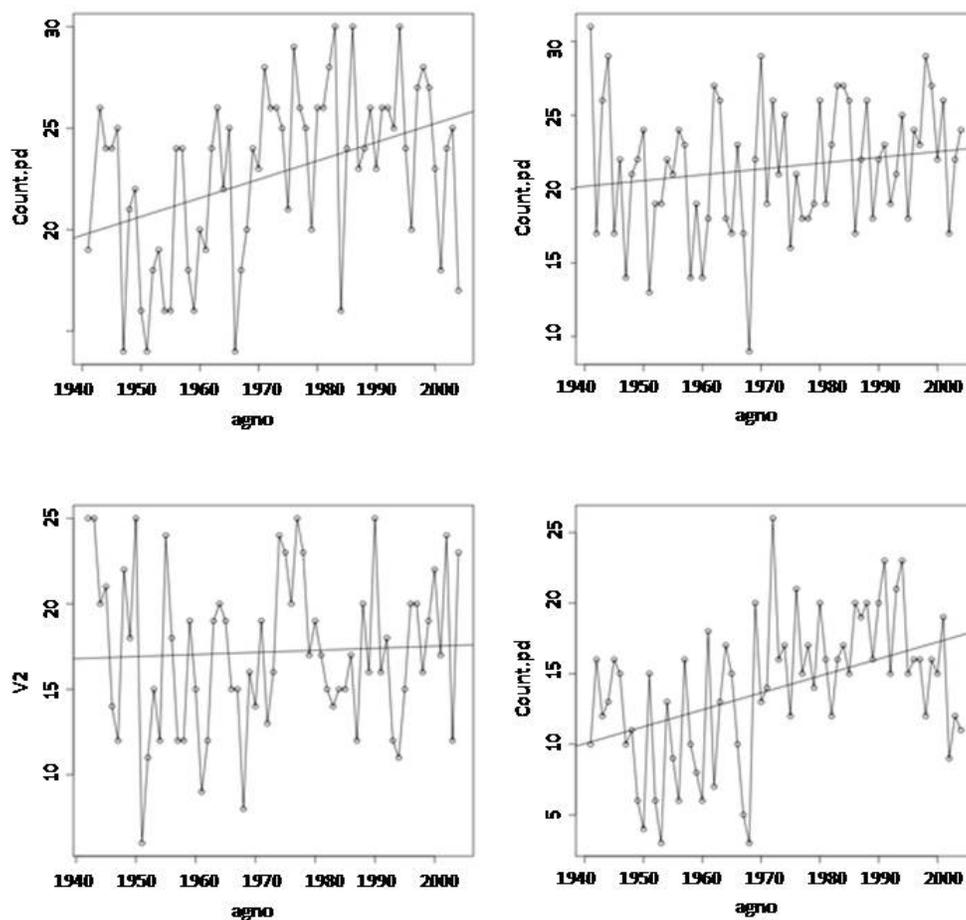


Figura 1.14 Número de días con precipitación por mes para los meses de julio, diciembre, marzo y setiembre. Únicamente el mes de setiembre (abajo a la derecha) tiene una pendiente significativa.

Los datos de viento se rellenan independientemente por la componente u y v de la velocidad del viento, para luego unirlos junto con la dirección del viento y formar nuevamente el vector. Para ambas componentes se tiene que hay 38442 datos ausentes para la estación 3_n_ca, 53705 para la estación 4_c_si, 45951 para la estación 5_c_li, 43695 para la estación 6_s_ag, 57404 para la estación 7_s_pa, 36162 para la estación 8_n_lv, 35205 para la estación 9_n_pe, 29864 para la estación 10_n_is y 31432 para la estación 11_c_ch, que corresponde entre un 4% y un 13% de datos ausentes en las series. Después de varias pruebas se utilizan todos los autovalores con una diferencia máxima de 01 y un máximo de 30 iteraciones (Alfaro y Soley 2009). La Figura 1.17 ilustra este procedimiento.

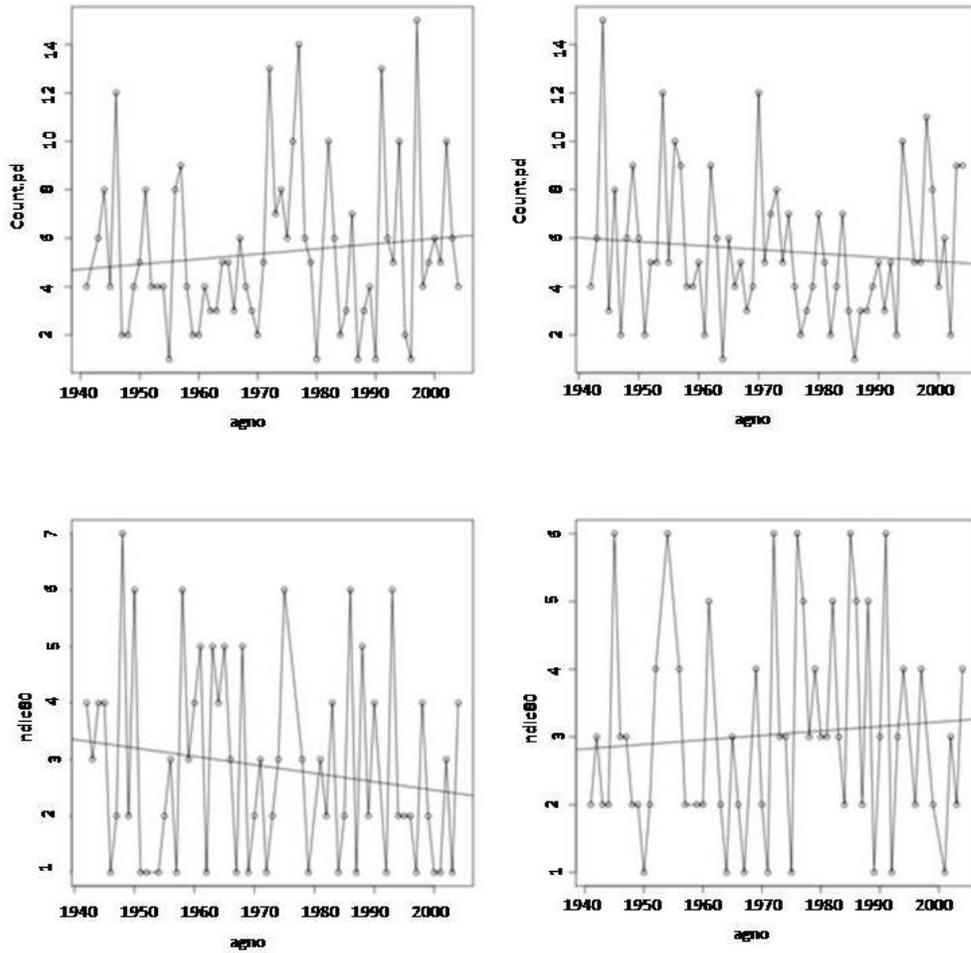


Figura 1.15 Número de días por mes que exceden el percentil 80 para los meses de julio, diciembre, marzo y setiembre. Ninguna de las pendientes calculadas es significativa.

Estaciones	3_n_ca	4_c_si	5_c_li	6_s_ag	7_s_pa	8_n_lv	9_n_pe
3_n_ca	1	-	-	-	-	-	-
4_c_si	0,76	1	-	-	-	-	-
5_c_li	0,77	0,78	1	-	-	-	-
6_s_ag	0,70	0,67	0,73	1	-	-	-
7_s_pa	0,59	0,60	0,64	0,65	1	-	-
8_n_lv	0,79	0,73	0,76	0,69	0,59	1	-
9_n_pe	0,78	0,72	0,74	0,68	0,58	0,78	1

Tabla 1.7a Matriz de correlación para los datos de radiación solar entre el 2005 al 2008 para las estaciones 3-9. Nótese que existe una significativa correlación positiva para esta variable.

Estaciones	3_n_ca	4_c_si	5_c_li	6_s_ag	7_s_pa	8_n_lv	9_n_pe	10_n_is	11_c_ch
3_n_ca	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4_c_si	0,71	1	-	-	-	-	-	-	-
5_c_li	0,51	0,54	1	-	-	-	-	-	-
6_s_ag	0,30	0,35	0,30	1	-	-	-	-	-
7_s_pa	0,50	0,51	0,46	0,45	1	-	-	-	-
8_n_lv	0,73	0,70	0,56	0,29	0,46	1	-	-	-
9_n_pe	0,48	0,41	0,36	0,13	0,45	0,52	1	-	-
10_n_is	0,59	0,57	0,42	0,19	0,26	0,62	0,53	1	-
11_c_ch	0,58	0,60	0,60	0,33	0,47	0,57	0,30	0,42	1

Tabla 1.7b Matriz de correlación para los datos de la componente zonal u del viento entre las nueve estaciones del 2008 al 2011. Nótese que existe una correlación levemente positiva para esta variable.

Estaciones	3_n_ca	4_c_si	5_c_li	6_s_ag	7_s_pa	8_n_lv	9_n_pe	10_n_is	11_c_ch
3_n_ca	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4_c_si	0,25	1	-	-	-	-	-	-	-
5_c_li	0,47	0,17	1	-	-	-	-	-	-
6_s_ag	0,25	0,17	0,26	1	-	-	-	-	-
7_s_pa	0,48	0,23	0,50	0,40	1	-	-	-	-
8_n_lv	0,58	0,19	0,50	0,25	0,51	1	-	-	-
9_n_pe	0,33	0,09	0,33	0,13	0,26	0,38	1	-	-
10_n_is	0,41	0,16	0,35	0,16	0,32	0,51	0,39	1	-
11_c_ch	0,42	0,31	0,50	0,29	0,50	0,37	0,24	0,27	1

Tabla 1.7c Matriz de correlación para los datos de la componente meridional (v) del viento entre las nueve estaciones del 2008 al 2011. Nótese que existe una correlación positiva menor a la de la componente u de la Tabla 1.7b.

En cuanto al viento, se observó que en estaciones incluso cercanas, las series mostraron poca co-variabilidad. Esto se refleja en los resultados del análisis exploratorio y al estudiar las matrices de correlación de la Tabla 1.7b y 1.7c. En estas estaciones al haber menos del 13% de datos ausentes se recomienda el uso de los datos rellenados, sin embargo es conveniente un análisis posterior que comprenda de ser posible, registros más largos y más estaciones meteorológicas.

ix) Conclusiones y recomendaciones

1. Se desarrolló un método para proporcionar fechas aleatorias al Grupo de Modelos Dinámicos con las cuales inicializar los modelos numéricos para la obtención de una estadística anual. Las fechas reflejan la distribución temporal de los principales agentes forzadores de la región de interés.

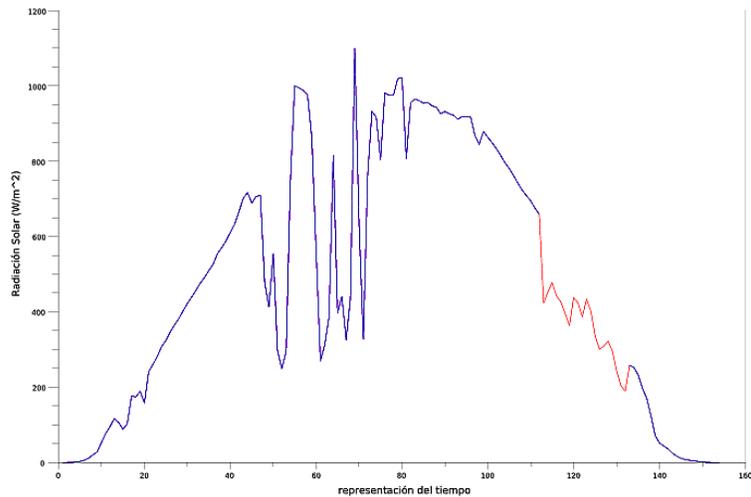


Figura 1.16 Sección correspondiente al día 2005-03-12, de las 06:00 hasta las 18:00. En azul se representan los datos originales y en rojo una porción rellenada con el método. Nótese que la sección rellenada se acopla bien al ciclo diario.

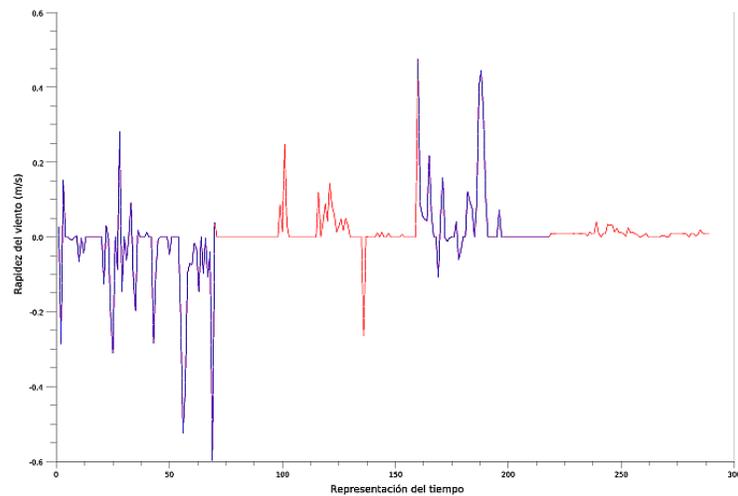


Figura 1.17. En azul se representan los datos originales y en rojo una porción rellenada, nótese la variabilidad en la rapidez del viento, para la componente v se obtuvieron resultados similares.

2. La distribución generalizada de valores extremos DGVE y distribución generalizada de Pareto permiten calcular los niveles correspondientes a percentiles dados de variables como temperatura diaria mínima, temperatura diaria máxima y precipitación acumulada diaria que caracterizan adecuadamente la variabilidad interanual.

Se recomienda:

Continuar con la búsqueda de índices apropiados para caracterizar la variabilidad climática. Tres índices prometedores son: a) el número de días en un mes con precipitaciones mayores a un valor dado, b) el número de días en un año que exceden percentiles dados y c) número de días seguidos en un mes que exceden un percentil de temperatura dado.

3. Se realizó con éxito un Taller de Introducción a MySQL para facilitarle a los investigadores el acceso a la base de datos.

4. Se escribieron las macro-instrucciones para realizar los ensayos de cotas, saltos y picos y se depuraron utilizando la variable temperatura en las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos.

Se recomienda:

Posponer la realización de los ensayos de cotas, saltos y picos sobre las otras variables meteorológicas de interés hasta que los investigadores de CORBANA así lo soliciten y definan los umbrales a utilizar en el análisis.

5. Basados en el análisis exploratorio y de la matriz de correlación, se consideró que la variable de radiación solar global, mostró los resultados más robustos principalmente en cuanto a la similitud de las distribuciones, los datos ausentes son menores al 8% de la totalidad de la serie, por lo que se recomienda que las nuevas series rellenadas puedan ser utilizada para futuros estudios geofísicos.

2. Giras a la Red de Estaciones de CORBANA y visitas a La Rita

i) Gira 17 y 18 de octubre de 2012

El 17 y 18 de octubre de 2012 se realizó la cuarta gira a las estaciones meteorológicas PAIS y Agrotubérculos de CORBANA. En esta oportunidad también se visitaron algunas de las estaciones propiedad de la compañía Del Monte: Carmen 2, Freehold y Filadelfia, para ubicar el lugar donde se encontraban y ver el equipo meteorológico con el que realizaban las mediciones. Se visitó la Torre CIGEFI_et en Siquirres para instalar equipo meteorológico adicional. Se contó con la participación del Ing. Eduardo Soto, funcionario de CORBANA y con los investigadores del Centro de Investigaciones Geofísicas de la UCR, Dr. Eric Alfaro M., Dr. Jorge A. Amador A. y Lic. José Luis Vargas C. A continuación se mencionan algunos aspectos relacionados con el equipo y ubicación de las estaciones.

Torre Meteorológica CIGEFI_et - CORBANA

Se visitó la torre meteorológica de 30 m de alto que pertenece a CORBANA ubicada en la finca Bananera Siquirres, en donde se han ubicado sensores meteorológicos a diferentes alturas con instrumental Campbell, propiedad de CORBANA y del CIGEFI. Está cercada pero algo enmontada y ubicada en 10,1152°N, 83,4912°W, a 49 m.s.n.m. Tiene plantación al norte y al oeste. Se bajaron los nuevos registros de observaciones de los sensores almacenados en el “datalogger” CR1000 que el CIGEFI instaló en la torre. Se aprovechó la visita para instalar un sensor que registra la presión atmosférica marca Davis, esto con el propósito de trabajar con la humedad específica y no con la humedad relativa que depende de la temperatura. La Figura 2.1 muestra, a manera de ejemplo para el periodo de julio de 2013, el ciclo diurno del viento en los niveles de 10, 20 y 30 m en la Torre CIGEFI-et. El viento aumenta con la altura entre estos niveles, además se incrementa en horas de la mañana con un máximo después del mediodía con dirección aproximada del este. En la noche predominan los suroestes débiles.

Fecha 17/10/12

Estación Carmen 2



Se ubica detrás del cementerio de la comunidad del Carmen 2. Está cercada pero parece abandonada con pasto bajo. Tiene un pluviómetro al lado de un árbol, una casilla meteorológica, una veleta con anemómetro (no está en funcionamiento), instalado a una altura de unos 3 m, un heliógrafo de banda, un tanque de evaporación seco y hay dos plataformas presumiblemente para la colocación de otro instrumental. Se midió con un GPS las coordenadas geográficas y se obtuvieron los siguientes datos 10,20029°N, 83,47952°W, altitud 35 m.s.n.m.

Estación Freehold



Está bien ubicada sin obstáculos, cercada, pero abandonada. Tiene una casetilla meteorológica y pluviómetro, una plataforma y predomina el pasto bajo. Valores medidos con el GPS, 10,10250°N, 83,45659°W, altitud 53 m.s.n.m.

Estación Filadelfia



La estación tradicional actualmente no existe, estaba ubicada entre un tanque de diesel y la bodega en coordenadas 9,94166°N, 83,04368°W, 29 m.s.n.m. Fue sustituida por una estación digital marca Davis con sensores de temperatura y humedad relativa, pluviómetro y un sensor de viento (dirección y velocidad) a una altura de 2 m. Este instrumental viene funcionando desde hace aproximadamente un año. Está mejor ubicada que la anterior, las nuevas coordenadas son 9,94142°N, 83,04412°W, a 26 m.s.n.m. Se encuentra localizada como a 200 m de la antigua estación. El Sr. William Núñez, administrador de la finca, atendió la visita.

Estación Agrotubérculos



Es una estación automática Campbell. Tiene obstáculos de árboles y bodega al oeste y norte y plantaciones al sur y al este. El sensor del viento está a unos 3 m sobre el suelo. Ubicada en 9,66044°N, 82,79690°W, a 15 m.s.n.m. El pluviómetro está a unos 5 m al oeste de la estación. Se intentó establecer comunicación con el “datalogger” CR10X de la estación vía IP con la intención de chequear el funcionamiento de los sensores *in situ*, pero no se logró realizar el enlace.

Fecha 18/10/2012

Estación PAIS



Es una estación automática marca Campbell CR10X, el pluviómetro está al oeste de la estación aproximadamente a unos 2,5 m de altura debido a problemas de inundación. El sensor del viento está a unos 3 m de altura. Tiene pasto alto de aproximadamente 30 cm y plantaciones al este y sur e instalaciones al oeste y norte, pero en general está bien ubicada. Su posición es 9,52089°N, 82,62640°W, a 12 m.s.n.m.

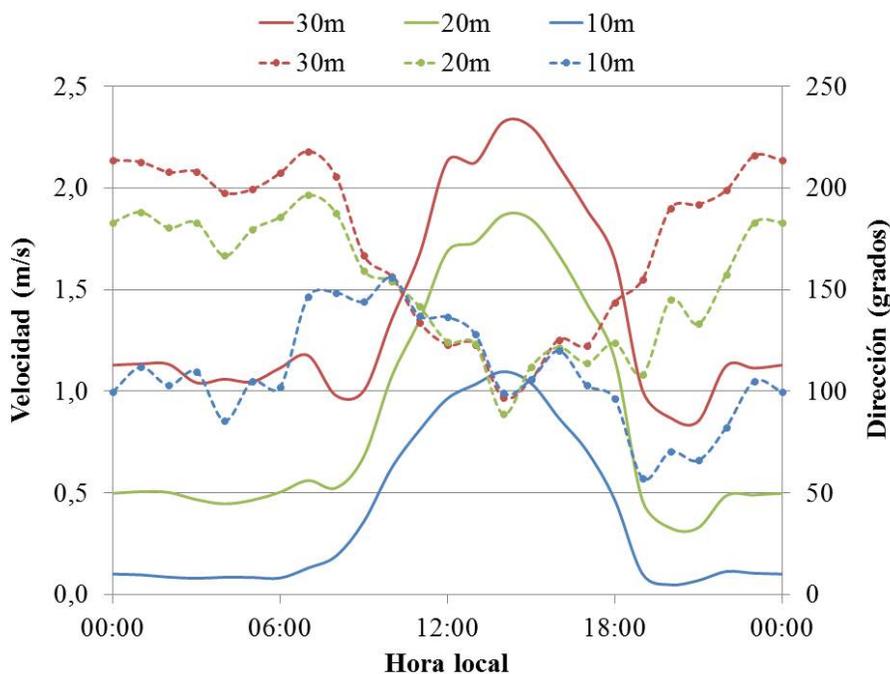


Figura 2.1 Ciclo diario de la rapidez (línea continua) y dirección del viento (línea a trazos) a diferentes alturas en la Torre CIGEFI_et (CIGEFI_1) localizada en Siquirres, Costa Rica ($10^{\circ} 06' 55,4''$ N, $83^{\circ} 29' 28,3''$ W) para el periodo de análisis ilustrativo de julio de 2013.

ii) Visitas a las oficinas de CORBANA en La Rita de Guápiles

A continuación un resumen de los productos entregados a CORBANA en las oficinas de La Rita de Guápiles. Todos los productos están en: <F:/BANACLIMA/...../INFORME FINAL>, ubicación indicada por el Ing. Eduardo Soto.

Se han realizado las siguientes entregas:

1. Visita 1

Miércoles 27 de febrero de 2013: se entregó la Clasificación Climática en la versión del SIG, y se dejó instalada en el Servidor. Además, un adelanto de las climatologías de los modelos, con el enjambre 3 en versión SIG y en imágenes JPEG. Esta información se le entregó al Ing. Soto y al Ing. Guzmán.

2. Visita 2

Viernes 8 de marzo de 2013: el computador donde se debía dejar la información tenía bloqueados los puertos USB, por lo que se realizó la labor a través del ordenador del señor Guzmán. Además, el día de la visita el encargado de sistema se encontraba de

vacaciones por lo que no se pudo habilitar los puertos ni tener acceso a la licencia del ArcGIS 9.3 ArcView, ya que es necesario de un dispositivo externo (llave maya). Se entregaron los 3 enjambres y el promedio en versión JPEG y en versión SIG, pero no fue posible dejar lista la versión SIG por la falta de la licencia.

3. Visita 3

Viernes 5 de abril de 2013: En esta ocasión si se tuvo el acceso al ordenador, se dejó instalada correctamente la versión SIG. Se mostró la climatología de las estaciones de BANACLIMA, a las cuales se solicitaron modificaciones de estética:

- a) Cambiar la tipografía Times New Roman por Calibri, para todas las imágenes.
- b) Reducir el tamaño de la letra para apreciar mejor la información de la figura.

Además, de la versión nueva del enjambre 1 se entregaron los meses de enero a mayo del dominio 1 y dominio 5, en versión JPEG y versión GIS.

4. Visita 4

Se realizó el lunes 13 de mayo de 2013. Se entregaron los productos finales que se detallan a continuación:

- a) Imágenes JPEG de la climatología realizada con base en las observaciones de las estaciones de BANACLIMA. Estas imágenes corresponden a las variables: precipitación, temperatura, viento y humedad.
- b) Imágenes JPEG de las climatologías de los modelos elaborados en MM5. En la carpeta se encuentran 3 enjambres y un enjambre promedio. Cada uno cuenta con precipitación, temperatura, viento y humedad para los dominios 1 y 5. Además, una presentación de Power Point para cada variable donde se despliega cada mes según variable y mostrando todos los dominios.
- c) Se entregó en formato para GIS las climatologías de los modelos para los dominios 1 y 5, con las mismas características del punto 2. En este punto se preparó para la versión ArcGIS 9.2, según las necesidades de CORBANA.

La versión SIG de las observaciones no se pudo completar por incompatibilidad de versiones, ya que la versión instalada del ArcGIS no soporta archivos adjuntos. Se intentó dejarla instalada en un software libre, pero por problemas a la hora de instalación el programa no reconoció los archivos *.shp, por lo que no se pudo completar el proceso.

En síntesis, dentro de la carpeta destinada para los productos finales del proyecto en el servidor de BANACLIMA se encuentra la siguiente estructura:

01_Clasificación Climática para la vertiente Caribe (archivos en formato shp y ráster con los datos desarrollados en la clasificación climática).

02_Figuras_MM5 (Son las imágenes de los modelos generados en el MM5, están los 3 enjambres más el enjambre promedio con sus respectivas variables: precipitación, temperatura, humedad y viento. Para los dominios 1 y 5, los 12 meses del año).

03_sig_enjambres_MM5 (corresponde a la información de la carpeta 2, pero en versión para Sistema de Información Geográfica).

04_clima_observaciones_BANACLIMA (imágenes que corresponden a las climatologías de las observaciones de las estaciones de BANACLIMA, tanto el ciclo diurno como el ciclo anual).

iii) Conclusiones y recomendaciones

En general, uno de los problemas detectados y que debe ser reconsiderado por CORBANA, es la localización de los sensores de viento a 10 m, de manera que cumplan con los lineamientos internacionales estándar.

Otro aspecto a plantear, es la actualización de la tecnología de las estaciones para la toma de mediciones meteorológicas y un continuo control de calidad de las observaciones.

Finalmente y no por eso menos importante, está la actualización, al menos cada año, de la climatología de las estaciones y de los valores especiales y extremos derivados de las observaciones.

3. Rescate de Datos Históricos

i) Introducción

El Grupo de Datos Históricos presenta una síntesis de la investigación efectuada en el año 2012 en que pudo recopilar información referente a datos meteorológicos del periodo 1833 - 1949, estadísticas sobre exportación bananera, documentación relacionada con la institucionalización de la Asociación Bananera Nacional (ASBANA) como precursora de CORBANA, así como aspectos referentes al impacto social del clima y de la difusión de plagas en la producción bananera en el Caribe costarricense con el fin de presentar una memoria a la institución respecto a su papel en el desarrollo de la actividad bananera en Costa Rica.

ii) Datos meteorológicos (1833 - 1949)

Las primeras menciones a la dinámica del clima de la región caribeña fueron abordadas por Osejo en sus *Lecciones de Geografía* (1833), en los que se refirió a las lluvias periódicas que afectaban el Valle de Matina y describió la forma en que los frentes fríos las provocaban. Posteriormente, Felipe Molina en su *Bosquejo de la República de Costa Rica* (1851) hizo una caracterización climática de la vertiente del Caribe diferenciándola de la correspondiente al Pacífico (Solano *et al.* 2010). Con ocasión de la construcción del Ferrocarril al Atlántico, fue posible obtener nueva información sobre el clima de la zona, la cual empezaría a sistematizarse mediante la construcción de la red pluviométrica dirigida por el Instituto Físico-Geográfico al finalizar el siglo XIX (Solano *et al.* 2013).

Durante la investigación se recopilaron datos meteorológicos procedentes de las localidades de la vertiente del Caribe costarricense que se muestran en la Tabla 3.1.

El Fondo Northern Railway Company contiene abundante información meteorológica producida entre 1930 y 1960, la cual era enviada a los Estados Unidos a través de su embajada en Costa Rica y podría ser de mucha utilidad el análisis de esta información, que se encuentra disponible en el Archivo Nacional de Costa Rica, para el conocimiento del clima de la región caribeña costarricense.

iii) Desarrollo institucional de ASBANA/CORBANA

Este aspecto se investigó a partir de la consulta de las revistas ASBANA/CORBANA, el boletín El Bananero y de los documentos del Archivo Nacional de Costa Rica, específicamente de los fondos Colección de Memorias (Sección Corporación Bananera Nacional) y Presidencia de la República, donde fue posible documentar aspectos relacionados con los inicios de la institución, su aporte al desarrollo económico, social y cultural de la región del Caribe y sus nexos con el Estado y otras instituciones, con otras compañías bananeras y proyectos agroindustriales. Además, se indagó también sobre la política de diversificación bananera impulsada por la institución desde la década de 1970, con el fin de que los productores pudieran alternar el cultivo del banano con otros productos agrícolas e incursionar en otros campos como la ganadería en pequeña escala y la agricultura.

iv) Impacto socio-ambiental de las plagas en la actividad bananera y su relación con el clima

La importancia del banano en la economía agrícola costarricense ha sido indudable. En el último tercio del siglo XIX inicia el cultivo de la fruta en la región Atlántico/Caribe, a cargo del estadounidense Minor Keith. No obstante, el cultivo adquiere carácter comercial hasta finales del siglo, cuando se establece la United Fruit Company (UFCo.). La UFCo. se constituyó como sociedad anónima bajo las leyes del Estado de Nueva Jersey, el 30 de marzo de 1899, con un capital inicial de \$20 000 dólares (Ellis 1983).

La Compañía fue el resultado de la fusión entre el consorcio de Minor Keith y Andrew Preston. Su sede principal se ubicó en Boston y existieron sedes en Nueva York, Filadelfia, Baltimore, Nueva Orleans, así como en ciudades del interior de los Estados Unidos. El crecimiento de la UFCo. fue voraz, pues muy pronto absorbió al resto de compañías importadoras de la fruta (Ellis 1983).

En 1900, la transnacional estableció en Costa Rica un ferrocarril subsidiario propio, conocido como el ferrocarril de la Northern Railway Company, y construyó sus propias líneas para el transporte del banano. Un lustro más tarde, la subsidiaria negoció con el gobierno la cesión del ferrocarril nacional, con lo que obtuvo el control de las vías férreas existentes entre la costa y San José. La UFCo. integró vertical y horizontalmente la cadena del banano. Una vez constituida, el volumen de exportación de la fruta desde Costa Rica aumentó significativamente. Sin embargo, muy pronto se vieron los límites del crecimiento.

La infertilidad de los suelos pero sobre todo la enfermedad del “mal de Panamá” provocaron enormes pérdidas a la UFCo. El “mal de Panamá” fue considerado la enfermedad más devastadora que afectó la producción comercial de bananos entre 1900 y 1960. Desde principios del siglo XX estuvo presente en las plantaciones de Panamá y Costa Rica, y su propagación fue rápida en el resto de países productores en el Caribe y Suramérica. La enfermedad la provoca el hongo *Fusarium oxysporium* var *cubense*, y sus síntomas son el amarillamiento, agotamiento y muerte de las hojas de la planta de banano (González 1987).

La propagación de la enfermedad coincidió con coyunturas críticas en el mercado internacional, como la Primera Guerra Mundial y la crisis de 1929, que condujo a la Depresión Económica del primer lustro de la década de 1930.

Periodo	Localidad
1865-1866, 1894, 1898-1905 y 1941-1949	Puerto Limón
1894	Hacienda Aragón de Turrialba
1898	Turrialba
1896 y 1906	Tuis
1896, 1898-1901 y 1944-1949	Gute Hoffnung/ Good Hope
1896 y 1898-1905	Boca del Río Banano
1896 y 1898-1906	Juan Viñas
1896 y 1904-1905	La Colombiana (Jiménez)
1897-1898, 1900-1906, 1923-1928 y 1943	Siquirres
1898	Río Hondo
1898-1906	Swamp Mouth
	Las Lomas
1898-1906 y 1943	Peralta
1900-1905 y 1943	Guápiles
1900-1905	Sipurio de Talamanca
1900-1906 y 1941-1949	Zent
1901-1903	Turrialba
1901-1905	Dos Novillos
	Bearesem Farm
1902-1905	Chirripó Farm
1904-1905	Guácimo
	Iroquois
	La Argentina
	La Luisiana
	Madre de Dios
	Toro Farm
	Victoria Farm
1904-1905 y 1949	La Lola
1905-1949	Freeman
1923-1947	Hacienda Dominica
1926-1949	Hacienda Rosemount de Juan Viñas
1930-1942	Río Jiménez
1938-1939 y 1942-1949	El Cairo de Siquirres o Línea Vieja
1942-1949	IICA, Turrialba
1944-1948	Bristol
1944-1949	San Clemente

Tabla 3.1 Localidades donde se obtuvieron datos meteorológicos en la Vertiente del Caribe de Costa Rica (1865 - 1949).

La UFCo. traspasó buena parte del costo de las coyunturas adversas a los productores (in)dependientes de banano, a partir de las desperdicio de fruta; y a los trabajadores de sus fincas, a partir de la rebaja en los salarios y la no reanudación de los contratos (Viales 1998). Así se mantuvo hasta la década de 1930, cuando la empresa frutera decide abandonar la región, pues el negocio no era rentable. Desde los años veinte había iniciado su traslado al Pacífico Central y Sur costarricense, una región agroecológicamente óptima para cultivar banano, porque cumple con temperaturas

adecuadas, régimen de precipitaciones y humedad relativa necesarias para el buen crecimiento de las plantas. En 1938, la firma del contrato Cortés-Chittenden le dio a la UFCo. las mejores condiciones para establecerse en la nueva región. Ahora bajo el nombre de Compañía Bananera de Costa Rica (C.B.C.R; Retana 1968).

La actividad estuvo en expansión en la División de Quepos hasta la década de 1950 y en la División de Golfito hasta la década de 1980. La baja en la producción estuvo relacionada con el agotamiento de los suelos y la infección de las plantaciones con la “Sigatoka”, que es una enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella musicola leach*, que se trasmite a través del aire. El hongo actúa destruyendo la superficie de la hoja y reduciendo la producción de fruta, hasta llegar a suspenderla por completo (Royo 2003).

La compañía invirtió mucho capital para impedir que el hongo atacara las plantaciones. Sus científicos descubrieron que el sulfato de cobre podría contraatacarla, pero tardaron tiempo en descubrir cómo aplicarlo. Después de que rociar el químico de las plantaciones fracasó, se resignaron a atomizarlo disuelto en agua de cal, lo que se conoció como “caldo bordelés”. Para distribuirlo, la compañía tuvo que construir plantas centrales de bombeo, que alimentaron un entramado de tubería de hierro, con acoples para las largas manqueras que los atomizadores, conocidos también como “pericos”, utilizaron para rociar la solución, con gravísimas consecuencias para la salud de los obreros especializados (Marquart 2003).

El control de la Sigatoka implicó para la C.B.C.R casi la mitad de los costos operativos de la plantación, debido a los altos salarios que debieron cancelar. La empresa siempre buscó alternativas para sustituir a los “pericos”, pues las cuadrillas rotaron constantemente, debido a que pocos lograron soportar el arduo trabajo. Después de años de ensayos, investigadores franceses, que no eran de la C.B.C.R., descubrieron que el aceite controlaba la Sigatoka. A partir de 1957, la empresa comenzó a aplicar una bruma aceitosa desde helicópteros y avionetas; y un lustro más tarde los pericos fueron sustituidos por tecnología especializada en fumigación (Maquart 2003). No obstante, en la década de 1970, una nueva enfermedad atacó los sembradíos, la “Sigatoka negra”. La epidemia fue más difícil de controlar que la precedente, y fue la principal causa de la partida de la C.B.C.R. del Pacífico Sur. El retiro oficial se dio en el mes de marzo de 1985.

En el transcurso de la investigación se realizó una búsqueda sobre el tema de las enfermedades en el banano y su relación con el clima. La búsqueda se hizo en diferentes

centros documentales (Biblioteca Nacional, Centro de Documentación de CORBANA y bibliotecas de la Universidad de Costa Rica y la Universidad Nacional). El propósito fue realizar un rastreo de fuentes primarias y secundarias que hayan trabajado el tema en cuestión. Si bien, ese fue el propósito inicial también se hicieron búsquedas de otros temas relacionados con el proyecto CORBANA/CIGEFI, pues no abundan los trabajos sobre enfermedades y menos aún aquellos que establecen una relación directa entre enfermedades - clima. La idea es que los funcionarios de CORBANA y el público en general cuenten con bases de datos, que después serán introducidos en un sistema que se puede usar en distintas bibliotecas. Se consultó inicialmente artículos de revistas y boletines agrícolas: *Agronomía costarricense*, *Agronomía Mesoamericana*, *Anuario de Estudios Centroamericanos*, *Boletín de Agricultura*, *Boletín de Agricultura Tropical*, *Boletín de Fomento*, *Boletín de la Cámara Nacional de Agricultura*, *Boletín de la Unión Panamericana*, *Boletín del Instituto Físico-Geográfico*, *Revista de Historia*, *Revista de la Escuela Nacional de Agricultura* y *Revista del Instituto de Defensa del Café*.

También se localizaron noticias en periódicos nacionales *Al Día*, *El Financiero*, *La Extra*, *La Nación* y *La República* referentes a las plagas, al impacto del clima y a otros aspectos de índole económico y social relacionados con la producción bananera en el Caribe.

v) Bases de datos

Exportación bananera de Costa Rica (1883 - 1991)

En las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se presentan los datos sobre exportaciones bananeras (1883 - 1991) y el volumen de las exportaciones de banano propio y asociado. La Figura 3.4 muestra el volumen de exportaciones bananeras según compañía comercializadora en propio y asociado (1970 - 1991). Estos datos se obtuvieron de una valiosa fuente titulada *La actividad bananera en Costa Rica*. Se trata de una información conmemorativa del 20 aniversario de CORBANA (CORBANA 1992), básicamente el periodo de estudio seleccionado.

Se confeccionaron tablas (Tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5) con los datos extraídos de dicha publicación y se elaboraron gráficos para observar la tendencia en cuanto a las exportaciones bananeras (ver Figuras 3.2, 3.4, 3.5 y 3.6).

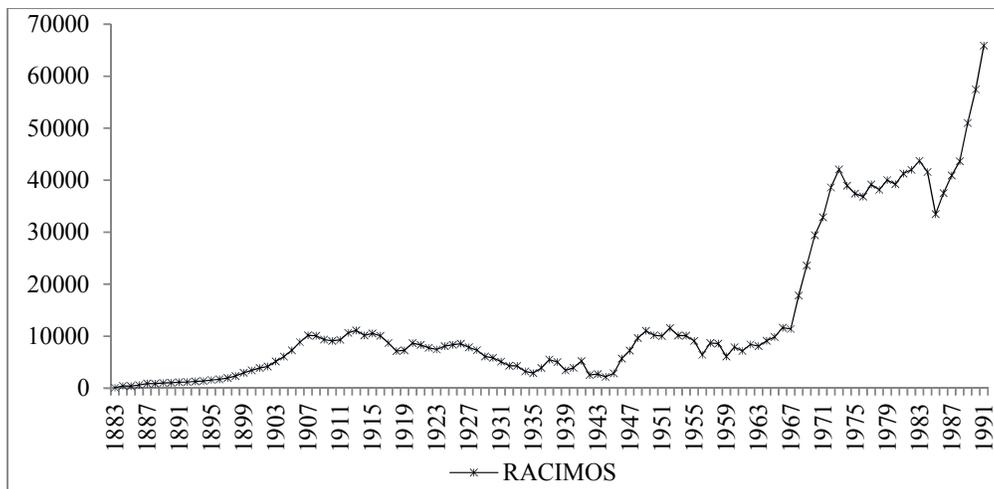


Figura 3.1 Historial de exportaciones bananeras (en miles de racimos) periodo 1883 -1991.

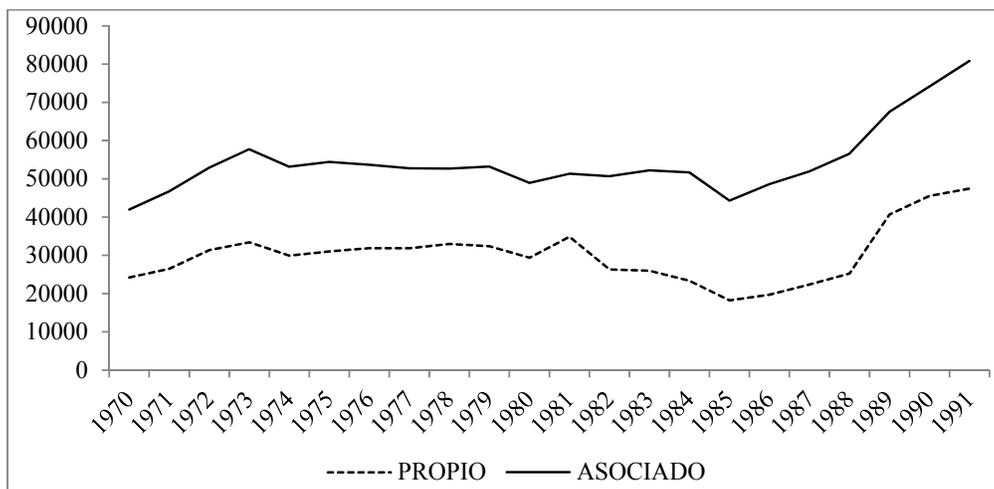


Figura 3.2 Volumen total de las exportaciones de banano en propio y asociado (en miles de cajas de 18,14 kg) para el periodo 1970 - 1991 en Costa Rica. La Tabla 3.2 ofrece información complementaria.

Repositorio “Flora Solano Chaves” (*)

Con base en la investigación realizada en los centros de documentación anteriormente indicados, se construyó una base de datos para el repositorio “Flora Solano Chaves” en el cual se pueden localizar versiones digitales de los documentos referentes a la actividad bananera en Costa Rica a través del uso de palabras claves que se muestran en la Tabla 3.6.

(*) En trámite administrativo.

Años	Participación		Total	% Relativo	
	Propio	Asociado		Propio	Asociado
1970	24216	17759	41975	57,69	42,31
1971	26519	20233	46752	56,72	43,28
1972	31390	21542	52932	59,30	40,70
1973	33442	24321	57763	57,90	42,10
1974	29951	23225	53176	56,32	43,68
1975	31027	23387	54414	57,02	42,98
1976	31887	21787	53674	59,41	40,59
1977	31862	20932	52794	60,35	39,65
1978	32990	19665	52655	62,65	37,35
1979	32423	20793	53216	60,93	39,07
1980	29392	19533	48925	60,08	39,92
1981	34880	16463	51343	67,94	32,06
1982	26343	24320	50663	52,00	48,00
1983	25997	26222	52219	49,78	50,22
1984	23359	28324	51683	45,20	54,80
1985	18251	26050	44301	41,20	58,80
1986	19742	28895	48637	40,59	59,41
1987	22379	29579	51958	43,07	56,93
1988	25252	31334	56586	44,63	55,37
1989	40723	26795	67518	60,31	39,69
1990	45576	28562	74138	61,47	38,53
1991	47488	33366	80854	58,73	41,27

Tabla 3.2 Volumen de las exportaciones de banano en propio y asociado (en miles de cajas de 18,14 kg) en Costa Rica (1970 - 1991) y porcentaje relativo de las exportaciones.

vi) Principales problemas encontrados

La inestabilidad del grupo al inicio del proceso de investigación ocasionada por el fallecimiento de la investigadora responsable de este grupo, trató de ser subsanada mediante la integración de dos historiadores y un asistente, sin embargo, tomó algún tiempo familiarizar a este personal con los detalles del proyecto. Las dificultades para acceder a los centros de documentación de CORBANA fueron las principales limitantes para el rescate de información histórica relacionada con la actividad bananera, además de la dispersión de fuentes. No fue posible efectuar las entrevistas a funcionarios de CORBANA con el fin de recabar información sobre aspectos referentes al clima y la producción bananera, como el aporte de la institución al desarrollo de la región caribeña.

Al final del periodo de ejecución del proyecto, fue posible tener acceso a las actas de la Junta Directiva de la empresa, por lo que en un futuro se podría consultar dicha documentación con el fin de analizar aspectos históricos relacionados con el desarrollo institucional de la Corporación.

vii) Conclusiones y recomendaciones

La región caribeña es una de las regiones del país que cuenta con una razonable cantidad de observaciones desde el punto de vista meteorológico; existen reportes desde mediados del siglo XIX y con el proceso de construcción del Ferrocarril al Atlántico y el desarrollo de la actividad bananera, se instalaron varias estaciones durante la primera mitad del siglo XX. La producción del banano, controlada por empresas transnacionales como la UFCo, se convirtió en uno de los pilares de la economía costarricense.

Con la creciente intervención del Estado en la economía al promediar el siglo XX, surgen varias instituciones, entre ellas ASBANA, que velará por los intereses de los productores nacionales de banano y algunas décadas más tarde, se reestructura para dar lugar a CORBANA, cuyas principales operaciones tienen lugar en la vertiente caribeña del país.

A lo largo de su historia, la producción bananera se ha visto afectada por las condiciones del clima de la zona, lo mismo que por la propagación de plagas, lo que ha tenido un fuerte impacto en la economía de la región. Este problema, de gran interés para las empresas productoras, especialmente para CORBANA, requiere entender la dinámica del clima y su relación con las plagas, así como el impacto social, económico y ambiental que éstas acarrearán para el Caribe costarricense.

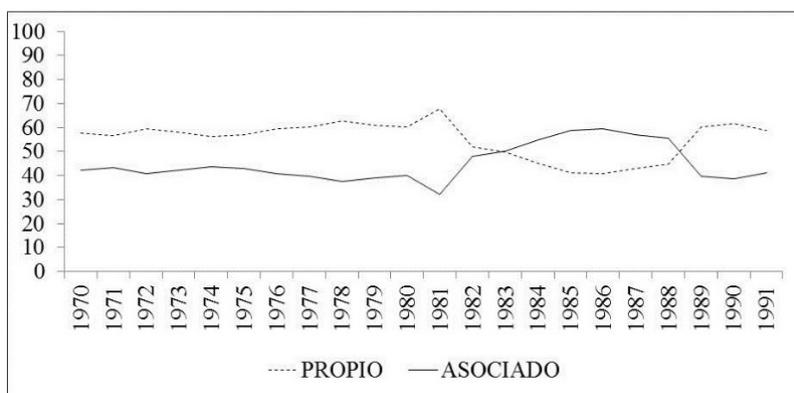


Figura 3.3 Participación porcentual de banano en propio y asociado en el volumen total de las exportaciones bananeras (1970 - 1991) en Costa Rica.

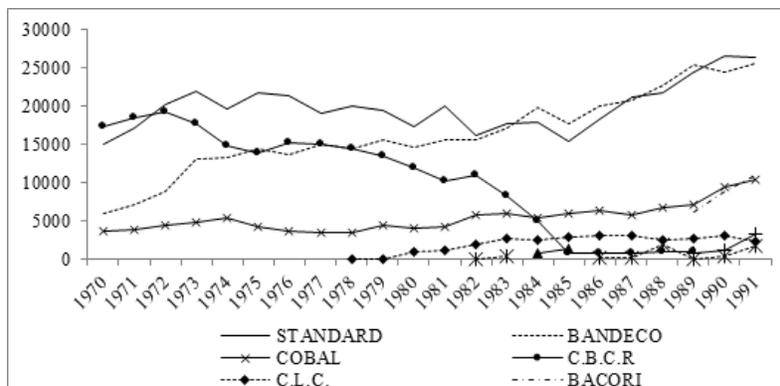


Figura 3.4 Costa Rica: volumen de las exportaciones bananeras según compañía comercializadora (en miles de cajas de 18,14 kg) para 1970 - 1991. La Tabla 3.3 ofrece información complementaria.

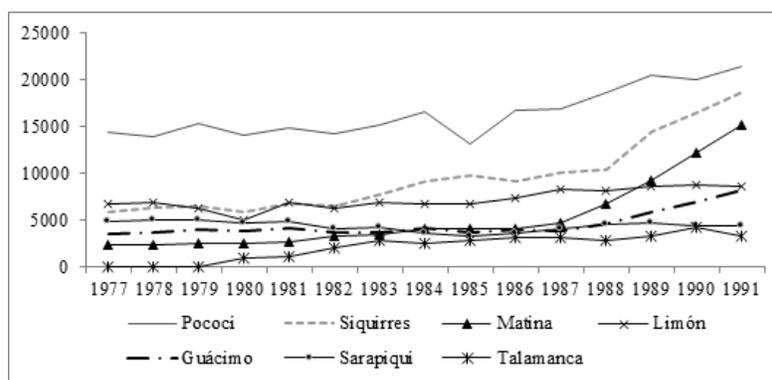


Figura 3.5 Exportaciones de banano de la Región Atlántica/Caribe según cantón productor (en miles de cajas de 18,14 kg, 1977 - 1991). La Tabla 3.4 ofrece información complementaria.

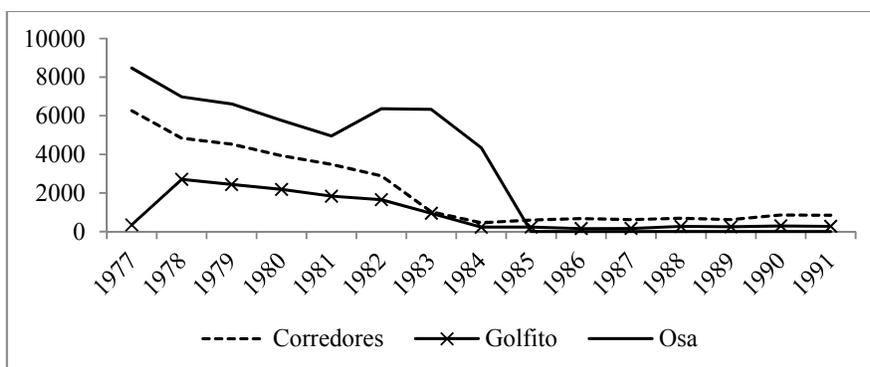


Figura 3.6 Costa Rica: exportaciones de banano de la Región Pacífico Sur según cantón productor (en miles de cajas de 18,14 kg, 1977 - 1991). La Tabla 3.5 ofrece información complementaria.

Años	STANDARD	BANDECO	COBAL	C.B.C.R	C.L.C.	BACORI	UNIBAN	GOLDEN FRUIT	Otros	Total
1970	14943	6044	3610	17378						41975
1971	17251	7106	3880	18514						46751
1972	20273	8945	4499	19214						52931
1973	22036	13022	4897	17807						57762
1974	19647	13251	5369	14908						53175
1975	21751	14481	4254	13928						54414
1976	21313	13623	3595	15133						53664
1977	19112	15076	3525	15081						52794
1978	20019	14550	3511	14525	50					52655
1979	19525	15537	4508	13589	56					53215
1980	17431	14623	4019	11881	971					48925
1981	20068	15521	4331	10279	1144					51343
1982	16234	15697	5819	10905	2006				1	50662
1983	17708	17122	5931	8314	2763				360	52198
1984	17940	19858	5491	5040	2538			816		51683
1985	15490	17780	5969	841	2843			1379		44302
1986	18268	19982	6389	839	3026				133	48637
1987	21107	20858	5840	792	3122				239	51958
1988	21839	22713	6701	969	2497				1878	56597
1989	24387	25458	7095	879	2750	6173	764		12	67518
1990	26671	24493	9530		3134	8805	1206		300	74139
1991	26368	25722	10479		2409	10892	3339		1645	80854

Tabla 3.3 Volumen de las exportaciones bananeras según compañía comercializadora (en miles de cajas de 18,14 kg) para el periodo 1970 - 1991.

Se recomienda continuar recabando información histórica relacionada con el clima, las plagas y su impacto en la producción bananera en la región caribeña, debido a las consecuencias económicas, sociales y ambientales que acarrearán, consultando las fuentes que no pudieron ser incluidas durante la vigencia del proyecto.

Año	Pococí	Siquirres	Matina	Limón	Guácimo	Sarapiquí	Talamanca	Total ZA
1977	14391	5925	2284	6686	3532	4894	0	37712
1978	13967	6379	2329	6855	3615	4934	50	38129
1979	15303	6481	2497	6297	3994	4998	56	39626
1980	14067	5930	2497	5010	3890	4678	971	37043
1981	14890	6728	2600	6826	4103	4774	1144	41065
1982	14172	6439	3263	6185	3704	3989	2006	39758
1983	15165	7790	3414	6915	3645	4192	2763	43884
1984	16511	9151	4004	6782	4079	3579	2538	46644
1985	13085	9775	4095	6716	3736	3209	2843	43459
1986	16761	9074	4069	7270	3938	3628	3059	47799

1987	16943	10079	4753	8313	3862	4029	3186	51165
1988	18545	10409	6696	8188	4534	4451	2804	55627
1989	20539	14488	9233	8533	5854	4646	3346	66639
1990	19943	16449	12164	8819	7025	4408	4166	72974
1991	21405	18759	15120	8574	8204	4393	3202	79657
Total	245687	143856	79018	107969	67715	64802	32134	741181

Tabla 3.4 [Viene de página 51] Exportaciones de banano de la Zona Atlántica según cantón productor (en miles de cajas de 18,14 kg) para 1977 - 1991.

Año	Corredores	Golfito	Osa	Total ZPS
1977	6261	349	8471	15081
1978	4840	2710	6975	14525
1979	4535	2442	6613	13590
1980	3936	2187	5759	11882
1981	3483	1838	4958	10279
1982	2886	1653	6366	10905
1983	1030	950	6334	8314
1984	465	234	4341	5040
1985	603	237	0	840
1986	680	160	0	840
1987	625	167	0	792
1988	696	273	0	969
1989	628	251	0	879
1990	868	297	0	1165
1991	849	276	0	1125
Total	32385	14024	49817	96226

Tabla 3.5 Exportaciones de banano de la Zona Pacífico Sur según cantón productor (en miles de cajas de 18,14 kg) para 1977 - 1991.

28 Millas	Control biológico	IDA	Ministerio agricultura	Sigatoka negra
Aniversario	Cooperación tecnológica	Impacto ambiental	Moko	Standard Fruit Co.
BAM 1	Cotidianidad actividad bananera	Impacto social	Normas ISO	Temporal
Bosques	Despidos	INBIO	Otros cultivos	Tica-Ban
Calidad	El Niño	Inundaciones	Pérdidas económicas	UPEB
Chiquita	Enfermedades	Investigación	Plagas	Variabilidad climática
Clima	Estaciones meteorológicas	Jamaica	Plátanos	Variedades de banano
Comercialización	Exportaciones	La Rita	Producción bananera	Vulnerabilidad
Comisión	Finca San Pablo	Lluvias	Productos no	Zona Sur

Ambiental Bananera			tradicionales	
Condiciones agroecológicas	Fomento	Matina	Rehabilitación	
Condiciones laborales	Frente frío	Memorias	Río Frío	
Contrato bananero	Huracanes	Mercado bananero	Sigatoka amarilla	

Tabla 3.6 [Viene de página 52] Palabras claves del Repositorio “Flora Solano Chaves”.

4. Clasificación Climática de la Vertiente Caribe de Costa Rica

i) Métodos y Datos

El balance hídrico es la base para el sistema de clasificación climática de Thornthwaite (Mather 1974). Este método fue utilizado en este estudio (desarrollado preliminarmente para el Informe Segundo, IS). Se presenta la clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense con dos modificaciones importantes: 1) Incremento en la cantidad de estaciones meteorológicas con el fin de ampliar la cobertura geográfica del estudio y 2) Sustitución del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP). En el IS, la ETP se estimó según el método de Thornthwaite, que utiliza solamente como parámetro de entrada la temperatura media mensual. En el presente informe la ETP se calcula por el método de Hargreaves, que calcula la ETP utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite superior de la atmósfera (Herrera 1986). En general, los métodos para determinar esta variable presentan diferentes tipos de sesgos, algunos de ellos vinculados al número de parámetros usados para su cálculo (Lu *et al.* 2005; Bautista *et al.* 2009). Con el fin de mostrar las diferencias entre las ecuaciones para el cálculo de la ETP, la clasificación climática para la vertiente Caribe se elabora utilizando ambos métodos mencionados arriba. Se recomienda utilizar la clasificación climática estimada a partir de la ecuación de Hargreaves, ya que considera más variables meteorológicas en su estimación.

Se realizó una recopilación de datos de precipitación media mensual de estaciones meteorológicas de la red del Instituto Nacional de Meteorología (IMN), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), las estaciones BANACLIMA de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) y las estaciones de la empresa Del Monte que

estuvieran dentro del área de estudio y en zonas aledañas. Esta base de datos cuenta con 123 estaciones con registros de precipitación para diferentes periodos, por lo que fue necesario definir criterios de selección para validar y sistematizar la clasificación. Los parámetros establecidos fueron:

1. Estación meteorológica con registro de datos de precipitación media mensual mayor a un periodo de 10 años, con excepción de las estaciones de BANACLIMA que cuentan con registro de siete años y que son incluidas en este estudio.
2. Que la estación meteorológica cuente con un registro casi-continuo de datos, no se consideran las estaciones que tengan periodos mayores a un año sin datos.
3. La estación debe tener registro dentro de los últimos 60 años aproximadamente, es decir desde 1960 al 2011. Se utiliza como tope el año 2011, ya que se dispone de datos hasta esta fecha.

Para realizar la selección, se creó una matriz de 123 filas por 107 columnas, en donde la primera columna indicaba el nombre de la estación, y a la par una columna para cada año, es decir desde 1905 hasta el año 2011 (106 columnas), cada celda tiene valores de 0 y 1; el valor 0 indica que no hay registro en ese año y el valor 1 para indicar que es un año con datos. Una vez realizada la selección de estaciones, se determinó que 82 estaciones cumplen con los requisitos. La Tabla 4.1 muestra las estaciones utilizadas para la clasificación, con las características: ID (código), latitud norte, longitud oeste, altitud, nombre y la amplitud del registro en años.

Se recomienda continuar recabando información histórica relacionada con el clima, las plagas y su impacto en la producción bananera en la región caribeña, debido a las consecuencias económicas, sociales y ambientales que acarrearán, consultando las fuentes que no pudieron ser incluidas durante la vigencia del proyecto.

ii) Resultados

Retomando la metodología descrita en el Informe Segundo, lo primero que se hace es mapear las variables de precipitación media anual, temperatura media, mínima y máxima anual. Se omite el mapeo de los días de lluvia por falta de información en las estaciones seleccionadas. La Figura 4.1 muestra la distribución en el espacio geográfico de la precipitación media anual, tomando en consideración que es altamente variable espacialmente.

ID	Latitud	Longitud	Altitud	Nombre	Registro (años)
*3	10,26440	-83,63740	54,3	Cartagena	7
*4	10,11520	-83,49120	49,1	Bananera Siquirres	7
*5	10,09340	-83,28050	14,3	Limofrut B	7
*6	9,66010	-82,79690	15,3	Agrotubérculos	7
*7	9,52080	-82,62650	16,9	PAIS	7
*8	10,42460	-83,64980	38,6	Las Valquirias	7
*9	10,43080	-83,90610	66,7	Pénjamo	7
*12	10,0849	-83,2230	5	Bananita	20
*13	10,3618	-83,6231	36	Duacari 1	12
*14	10,3331	-83,6497	43	Duacari 4	19
*15	10,3063	-83,6431	44	Duacari 5	20
*16	9,9418	-83,0441	6	Filadelfia	20
*17	10,1081	-83,4581	25	Freehold	20
*19	10,1806	-83,4127	12	Imperio 2	20
*20	10,0832	-83,3302	15	Monte Líbano	20
*21	10,3377	-83,7883	70	Perdiz	21
*22	10,4179	-83,7604	55	San Pedro	20
7076	9,83333	-83,91667	ND	INCSA	15
69090	11,10000	-84,75000	40	San Carlos (Nicaragua)	36
*69503	10,46667	-84,01667	37	Puerto Viejo	42
69506	10,3166	-84,1833	500	San Miguel de Sarapiquí	51
69533	10,7666	-83,5833	5	Barra de Colorado	32
*69537	10,4166	-83,9833	40	Selva (2)	53
69548	10,45000	-84,71670	625	Jilguero	37
*69571	10,4833	-84,7666	500	Sangregado	20
*69586	10,04	-84,1	200	La Tirimbina	27
69591	10,71667	-84,66667	55	Los Chiles	31
*69609	10,3166	-84,4166	650	Coopesca	24
*69633	11,0333	-84,7166	40	Comando Los Chiles	17
*69661	10,3	-84,4166	700	Ciudad Quesada	67
*69679	10,83333	-85,00000	60	Upala	52
*71002	10,35000	-83,76667	70	La Mola	29
*71005	10,30000	-83,78333	70	Finca 6	25
71007	10,50000	-83,75000	40	Caribe S.A.	13
71008	10,55000	-83,53333	5	Tortuguero Norte	18
71011	10,333	-83,4	5	Jalova	13
71017	10,04	-84	60	Ticaban	10
73007	9,96667	-83,61667	638	Peralta (F.C)	18
73008	9,90000	-83,71667	1080	La Margarita	21
73009	10,11667	-83,53333	ND	El Cairo	24
*73010	9,88333	-83,63330	602	CATIE	69
*73013	10,21667	-83,76667	249	Los Diamantes	35

73025	10,16667	-83,91667	200	Las Delicias	10
73044	9,85000	-83,61667	620	La Suiza	21
*73049	10,28333	-83,58333	50	La Mola 2	17
73055	9,9833	-83,5666	560	La Amistad	21
73064	10,10000	-83,58333	95	Willianburg	15
*73065	10,28333	-83,80000	70	Santa Clara	19
73079	9,78333	-83,71667	623	Oriente	20
*73081	9,9833	-83,85	3400	Volcán Irazú	23
73090	10,16667	-83,61667	95	Las Mercedes	14
*73091	10,2	-83,48	15	El Carmen	40
*73094	9,9	-83,7	860	El Tacatal	12
73103	9,8666	-83,6111	900	Sitio Matas	21
73109	9,9666	-83,6833	1003	Guayabo	28
*73111	10,2666	-83,7666	80	Hacienda Victoria	20
75002	10,2666	-83,5166	70	Siquirres	28
75003	9,81667	-83,56667	889	Platanillo	32
75004	9,81667	-83,51667	800	Pacuare	23
75007	9,75	-83,5	825	Rocas Blancas	23
75013	10,20000	-83,36667	5	Freeman	73
75022	10,0333	-83,4666	440	ASBANA	22
77001	10,08330	-83,33330	15	Batán	43
*77002	10,1	-83,38	40	La Lola	62
79005	9,833	-83,45	1200	Moravia Chirripó	44
81001	9,948566	-83,098225	100	Filadelfia	13
*81003	10	-83,05	5	Limón Aeropuerto	70
*81005	9,95	-83,016	7	Aerop. Limón	14
83003	9,9	-83,1666667	30	Asunción	46
83004	9,86667	-82,98333	30	San Andrés	24
*85001	9,75000	-82,95000	17	Pandora	27
85003	9,7333	-83,0166	30	Fortuna Valle Estrella	19
85006	9,7333	-82,8166	3	Puerto Vargas	34
*85021	9,666	-83,033	100	Hitoy Cerere	13
87001	9,61667	-82,86667	40	Chase	29
87003	9,51667	-82,63333	10	Daytonia	23
87004	9,56667	-82,71667	20	Nivecita	20
87006	9,5	-82,6	11	Sixaola	26
87010	9,51	-83,45	70	Amubri	12
87011	9,8166	-82,9166	310	Volio Bribri	15
*87013	9,533	-82,6166	10	Sixaola	15
93002	9,33333	-82,25000	2	Bocas del Toro (Panamá)	37

Tabla 4.1 [Viene de página 55] Estaciones disponibles para la clasificación climática. Las estaciones que cuentan con registro de temperatura están identificadas con un asterisco.

Por ejemplo, hacia el sureste del área de estudio en los alrededores de Bribri y Bocas del Toro (Panamá) la cantidad de lluvia es menor con valores de 3000 mm mientras que hacia el noroeste cerca a las localidades de Puerto Viejo (Sarapiquí), Guápiles y Tortuguero con valores de 5000 mm anuales. La estación con el máximo de lluvia media anual es Jilguero con 5500 mm, mientras que la estación con el mínimo de la precipitación es Comando Los Chiles con 1700 mm de lluvia anual (estación ubicada lejos de la influencia marítima).

En cuanto a la temperatura media anual (ver Figura 4.2) se observa poca variabilidad térmica a lo largo de la zona litoral, con valores altos de temperatura media entre los 25°C y 26°C. Conforme aumenta la altitud, la temperatura disminuye paulatinamente, lo que ocasiona que las isotermas sean paralelas hasta llegar a la divisoria de aguas, donde se encuentra la estación Volcán Irazú con un mínimo de temperatura media de 8,1°C.

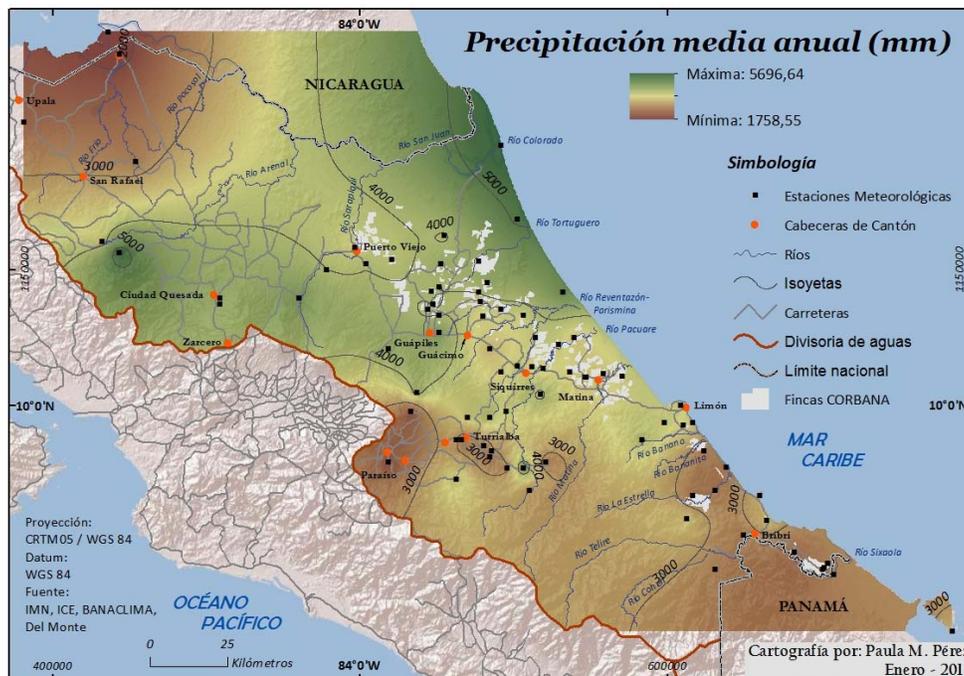


Figura 4.1 Distribución espacial precipitación media anual.

Haciendo énfasis en la zona de interés, la amplitud térmica varía muy poco a lo largo de año y es más notoria en el transcurso del día. Hacia las estaciones Caribe S.A. y Tortuguero Norte se aprecia una pequeña disminución de la temperatura media anual. Además, se representan los valores de temperatura mínima anual (Figura 4.3a) y

temperatura máxima anual (ver Figura 4.3b), que son dos variables importantes en el cálculo de la evapotranspiración por el método de Hargreaves. En cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima anual, se observa que en la llanura se mantiene aproximadamente constante con valores mínimos de 20°C, disminuyendo hacia las zonas montañosas, el mínimo es en el Volcán Irazú con 4°C a 2027 m.s.n.m. La distribución geográfica de la temperatura máxima en las partes bajas es continua con poca variabilidad, con un promedio de 30°C, y el mínimo de la temperatura máxima es en el Volcán Irazú con 11,5°C.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, que es una medida de la transferencia máxima de agua posible a la atmósfera bajo condiciones ideales de textura del suelo y vegetación (Thornthwaite 1948), se utilizaron dos ecuaciones, de este autor (ecuación (4.4)); y la de Hargreaves (1981), ecuación (4.6). La ecuación (4.4) es recomendable para las tierras llanas y húmedas, pero no para las tierras montañosas interiores y el Pacífico seco.

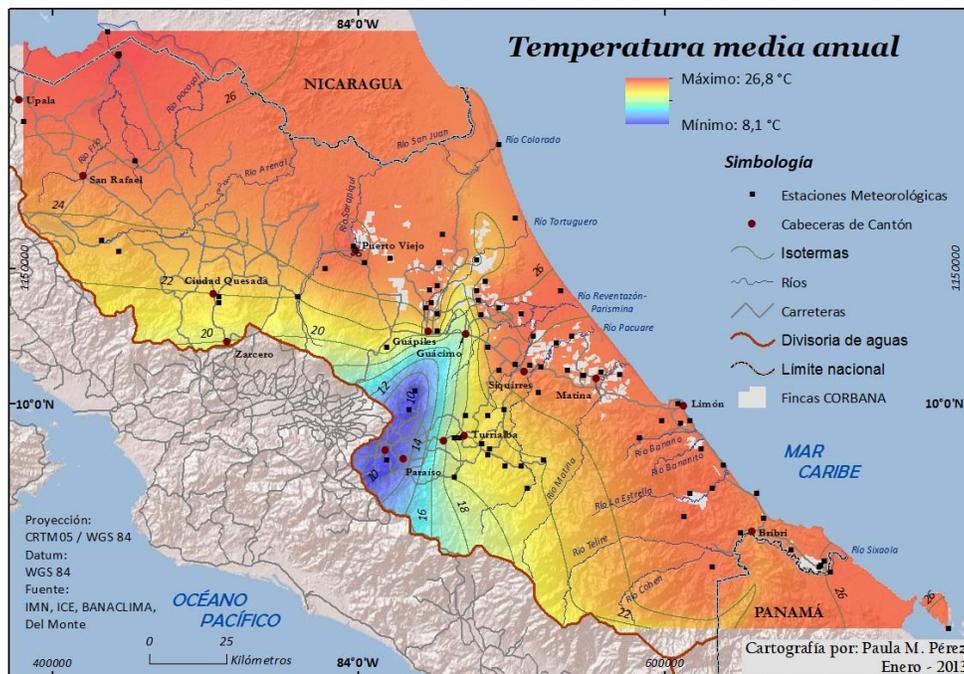


Figura 4.2 Distribución espacial de la temperatura media anual.

La ecuación (4.6) genera resultados aceptables, ya que se adapta a las regiones climáticas costarricenses y a la infraestructura meteorológica de datos existente (Herrera 1986). Primero se abarca la fórmula empírica de Thornthwaite en donde la temperatura media mensual es el principal controlador de la evapotranspiración, ya que existe una

relación entre este elemento del clima y la evapotranspiración, en los meses de 30 días y con 12 horas de radiación solar (Thornthwaite 1948). Esta relación se expresa como:

$$e = c T^a \quad (4.1)$$

donde e es la evapotranspiración potencial mensual en centímetros, T es la temperatura mensual en °C, y los coeficientes c y a varían de un lugar a otro, aunque pueden ser calibrados para un determinado lugar si se posee la información del caso.

A partir del dato de temperatura media mensual se calcula el índice térmico mensual que varía de 0 a 160, con la ecuación (4.2).

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (4.2)$$

La sumatoria de los 12 meses de i , es el índice de variación térmica anual (I). La relación entre I y a está dada por la ecuación (4.3), donde este exponente varía de 0 a 4,25.

$$a = (0,6751) 10^{-6} I^3 - (0,771) 10^{-4} I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad (4.3)$$

Por tanto, la evapotranspiración potencial está dada por la ecuación (4.4), según Thornthwaite (1948):

$$e = 1,6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad (4.4)$$

donde a está dado por la ecuación (4.3).

Luego, se aplica un valor de corrección según la latitud y el mes a considerar, ecuación (4.5),

$$e_c = f e \quad (4.5)$$

donde:

e_c = Evapotranspiración mensual corregida, en mm

f = Factor de corrección (Tabla 3.3, Informe Segundo)

e = Evaporación mensual sin corregir, en mm

En el caso de Hargreaves, la ecuación toma en cuenta más variables como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual. La ecuación (4.6) determina la ETP:

$$ETP = [(0,17 RA \sqrt{TD}) (0,0075)] (32 + 1,8 T) N \quad (4.6)$$

donde,

ETP = Evapotranspiración potencial media mensual (mm)

RA = Radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera, en milímetros diarios de

agua evaporada (Tabla 4.2)

T = Temperatura media mensual, °C

TD = Diferencia entre la temperatura máxima y mínima media mensual (en grados centígrados)

N = Número de días del mes

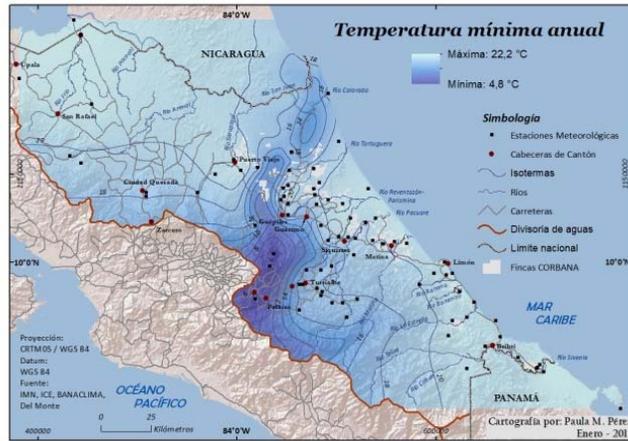
Lat	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
10°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9

Tabla 4.2 Radiación extraterrestre, expresada en evaporación equivalente en milímetros por día, Hemisferio Norte. Fuente: Estudio FAO; Riego y Drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación, ROMA 1976, pág. 24 en Herrera (1986). [Lat: latitud; Ene, Feb, etc.: abreviatura de los meses del año]

Para identificar la diferencia de forma gráfica entre las ecuaciones (4.4) y (4.6), se hace alusión a las Figuras 4.5 y 4.6, que en contraste con las figuras anteriores, están clasificadas por rangos para notar las diferencias entre las ecuaciones. La ecuación de Thornthwaite (Figura 4.5), propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de alrededor de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de ETP.

La ecuación de Hargreaves (ver Figura 4.6) presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica en la región húmeda caribeña, que muestra núcleos en la parte sureste de la zona de estudio, en decir en el Caribe sur. Hacia el norte la región se observan los valores máximos de potencial agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez y de humedad se hace un balance entre lo que llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirve de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

a)



b)

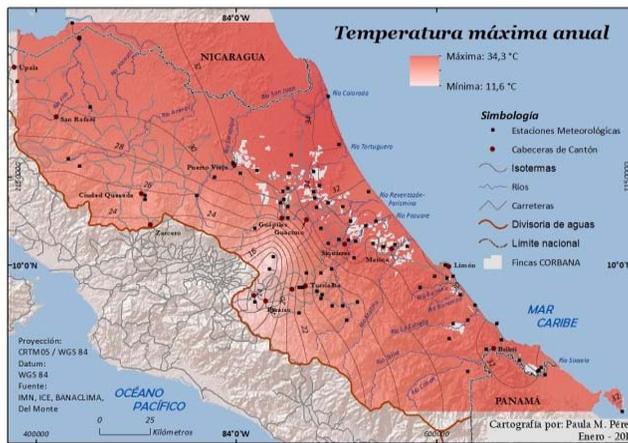


Figura 4.3 Distribución espacial de la temperatura, a) mínima anual, b) máxima anual.

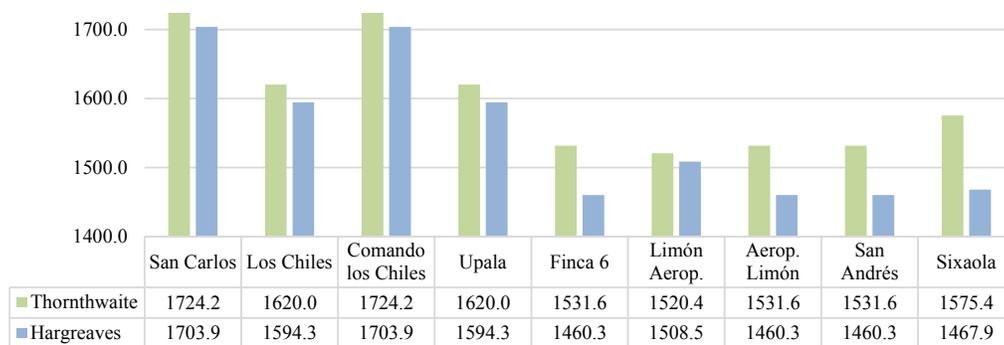


Figura 4.4 Comparación de las ecuaciones de Thornthwaite y de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración potencial. La localización de las estaciones está en la Tabla 4.1.



Figura 4.5 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial utilizando el método de Thornthwaite.

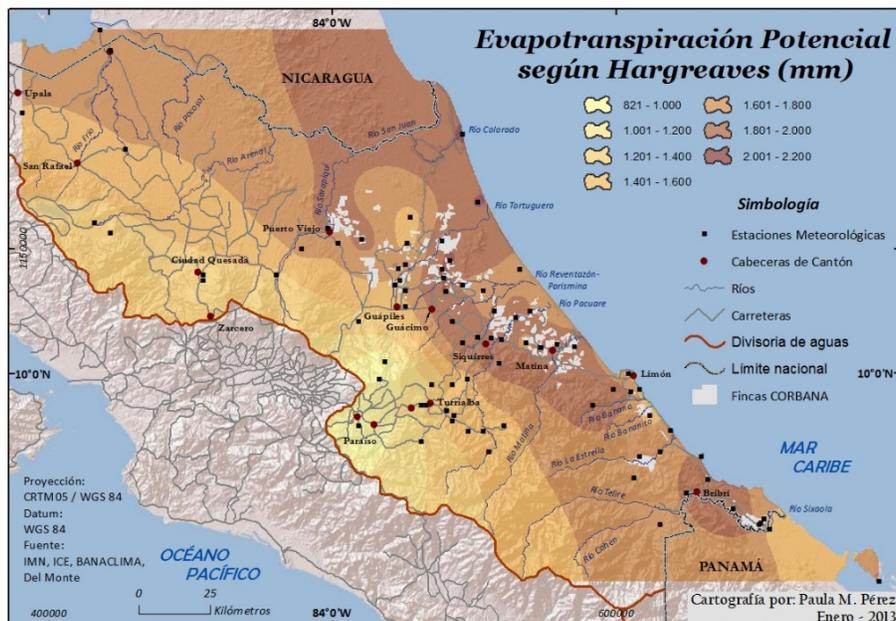


Figura 4.6 Como en la Figura 4.5, excepto Hargreaves.

La labor de clasificar regiones geográficas según las características climáticas conlleva analizar el comportamiento de las variables climática dentro del sistema con la ayuda de índices que ayudan a comprender su comportamiento.

Por tanto, el siguiente paso para la clasificación climática según el método de Thornthwaite, es calcular los índices de aridez y humedad, los cuáles determinan el índice hídrico de una región. El índice de aridez anual (I_a) es la relación entre el déficit de agua anual y la necesidad de agua anual [ecuación (4.7)]. El índice de humedad (I_h) es la relación entre el exceso de agua y la necesidad, ecuación (4.8). Finalmente, el índice hídrico (I_m) es el balance entre el índice de aridez y el índice de humedad [ecuación (4.9)].

$$I_a = \frac{\text{Déficit de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} (100) \quad (4.7)$$

$$I_h = \frac{\text{Exceso de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} (100) \quad (4.8)$$

$$I_m = I_h - I_a \quad (4.9)$$

El método utilizado en el cálculo de la ETP, influye en el resultado de los índices ya que según sea el caso ofrecerá un resultado mayor en la necesidad de agua para evaporarse. En este estudio el 100% de las estaciones para ambas ecuaciones tienen índice de aridez igual a 0, lo que indica que toda la región en estudio no tiene déficit de agua a lo largo del año.

En cuanto al índice de humedad, en la ecuación de Thornthwaite el balance entre el exceso de agua y la necesidad de agua para evaporarse va desde 2% a 665%, ver Tabla 4.3. La distribución espacial del índice de humedad muestra valores bajos en el noroeste y sureste del área de estudio ya que son áreas que presentan precipitaciones inferiores al resto de la región, pero mantienen altas temperaturas lo que se traduce en una menor evapotranspiración potencial en comparación con el resto del área de estudio. En el sector norte 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. Hacia las zonas montañosas, aumenta la humedad en el medio ya que las altas precipitaciones y temperaturas no tan altas ocasionan que se mantenga la humedad en el sistema (ver Figura 4.7a).

En el caso del cálculo del índice de humedad utilizando la ETP de Hargreaves los valores oscilan entre 3% y 430% (ver Tabla 4.3); esta diferencia se debe a que los valores de ETP son mayores a los calculados con Thornthwaite, lo que reduce el exceso

hídrico en el sistema. Hacia las partes altas de la vertiente Caribe se mantienen los valores altos de humedad, a pesar que la ETP es mayor que en el caso anterior (ver Figura 4.7b).

El índice hídrico tiene el mismo comportamiento que el índice de humedad como consecuencia que el índice de aridez tiene valor cero; retomando la ecuación (4.9), el índice hídrico es igual al índice de humedad (ver Figuras 4.8a y 4.8b).

Para elaborar una clasificación climática según la metodología de Thornthwaite se requieren cuatro factores (Mather 1974):

1. Índice hídrico: es expresado como la diferencia entre el índice de humedad y el índice de aridez. Las provincias de humedad son las que dan nombre a los grupos climáticos, es decir a partir de estas, se organizan dichos grupos (Tabla 4.3).
2. Variación estacional de la humedad: se refiere a la distribución de la precipitación a lo largo del año, y se indica con *f*, *s*, y *w* en letras minúsculas; que se refiere a buena distribución de la precipitación a lo largo del año; presenta un verano seco o una estación lluviosa respectivamente.
3. Índice térmico: la metodología de Thornthwaite supone la evapotranspiración potencial como índice térmico. Hay nueve clasificaciones que se distinguen con una letra mayúscula; por ejemplo: megatermal (A'), mesotermal (B'), microtermal (C'), tundra (D') e hielo (E').
4. Índice de variación térmica: este índice indica la cantidad de energía que recibe durante la época seca; varía entre 25 y 100 para cualquier clima.

Como ejercicio, se realizó la clasificación utilizando los dos métodos para compararlos, sin embargo, se reitera la recomendación en utilizar la ecuación (4.6), por los resultados que arroja en función de las variables que emplea. Se determinaron grupos climáticos y se les asignó una provincia de humedad (ver Tabla 4.3).

Denominación	Índice hídrico (%)	Simbología
Excesivamente húmedo (pluvial)	600 - 300	H
Muy húmedo	300 - 100	G
Húmedo	100 - 80	F
Húmedo	80 - 60	E
Húmedo	60 - 40	D
Húmedo	40 - 20	C
Subhúmedo húmedo	20 - 0	B
Subhúmedo seco	-33,3 - 0	A

Tabla 4.3 Provincias de humedad. Fuente: Herrera (1986) y Mather (1974).

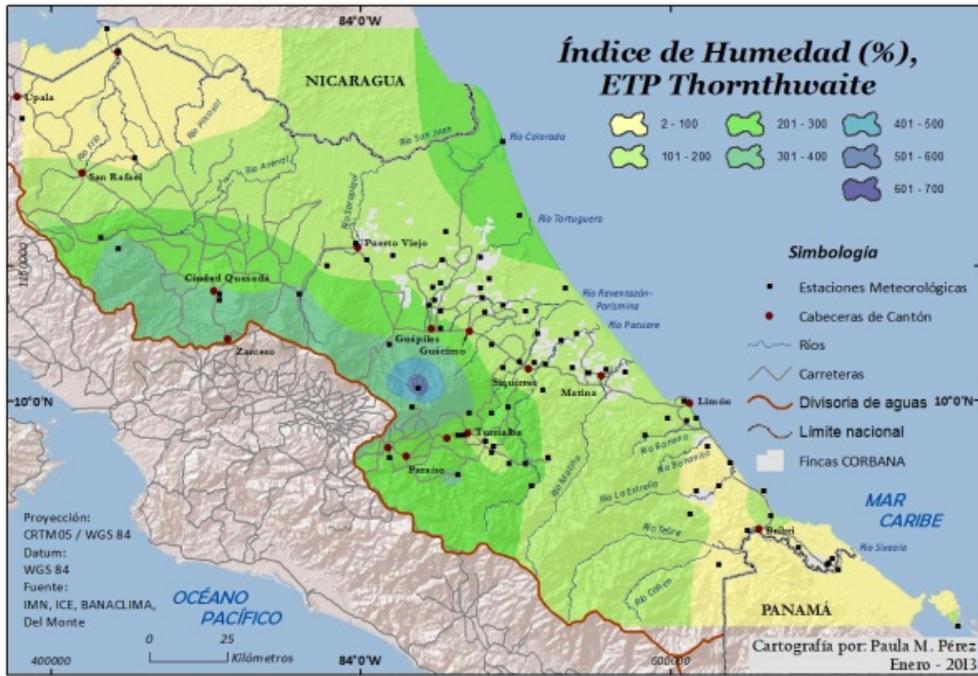
El número que acompaña a los grupos hace referencia a la provincia térmica e índice de humedad. Además, para delimitar estos grupos se utilizaron criterios de altitud a partir de curvas cada 100 m en escala 1:250000 de los mapas base del Instituto Geográfico Nacional. La Figura 4.9 muestra el ejercicio para clasificación utilizando la ecuación (4.4), en donde se obtienen 7 grupos climáticos; la nomenclatura para cada grupo está descrita en la Tabla 4.4.

La Figura 4.10 muestra la clasificación climática para la vertiente Caribe. Utilizando la ecuación (4.6), se obtienen 10 grupos climáticos descritos en la Tabla 4.4 y se observa mayor detalle en su regionalización. La provincia menos húmeda (B3) se localiza al norte con bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda) y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia de humedad: “húmeda”. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6; muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico por ser un bosque siempre verde.

En síntesis, la clasificación climática indica que la vertiente Caribe es una región húmeda. La precipitación es alta con variaciones espaciales importantes, con temperaturas altas que ocasionan una alta evapotranspiración potencial, que según sea el método utilizado para su cálculo, delimita los distintos grupos climáticos.

Un aspecto importante de resaltar es que Thornthwaite y Hargreaves, son solo dos de los varios métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es otro de ellos), como lo discuten Lu *et al.* (2005). Para los efectos de este informe final, Bautista *et al.* (2009) discuten la comparación de los métodos aquí usados para zonas en los trópicos semiáridas y sub-húmedas calibrados con el método de Penman (1948).

a)



b)

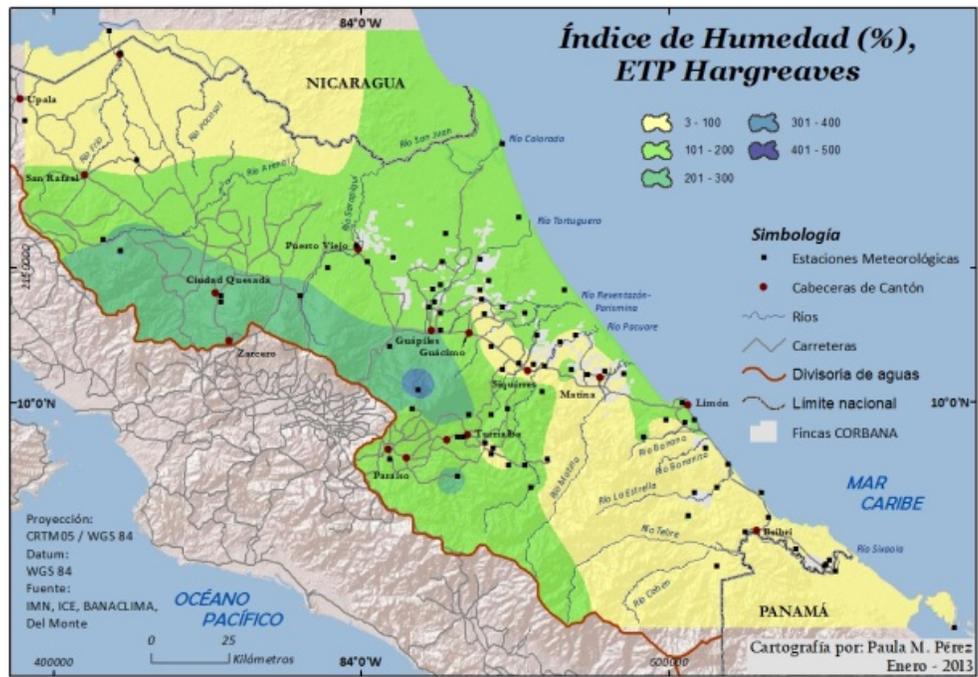
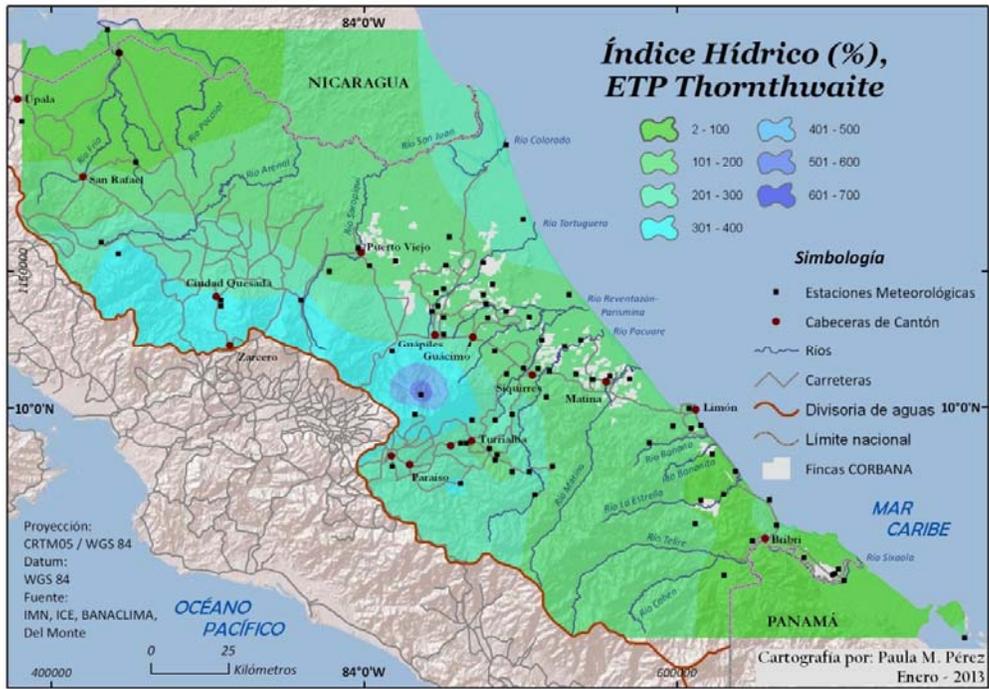


Figura 4.7 Índice de humedad utilizando los valores de Evapotranspiración Potencial de a) Thornthwaite, b) Hargreaves.

a)



b)

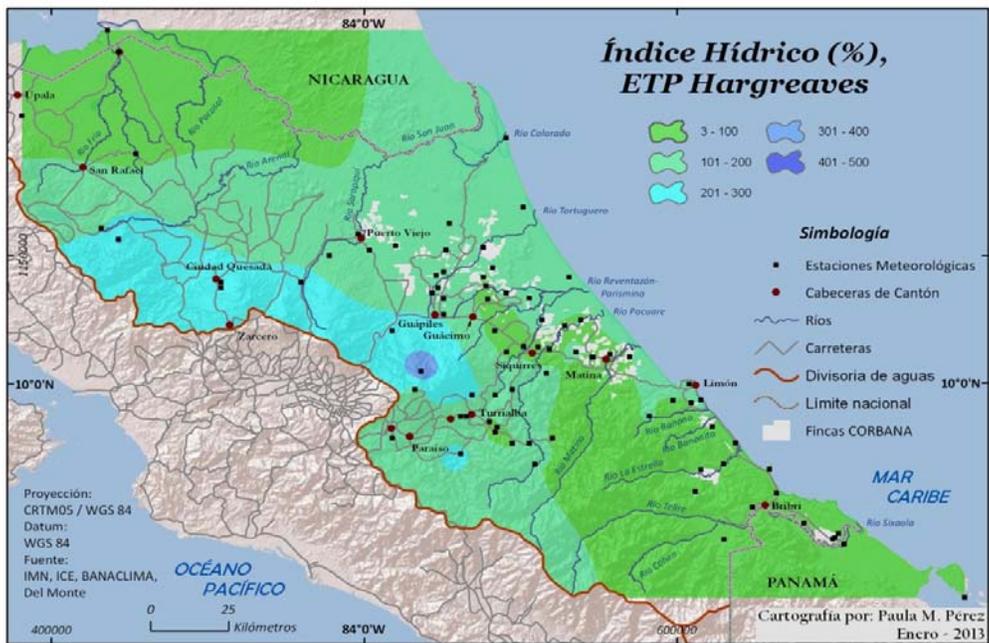


Figura 4.8 Índice hídrico utilizando los valores de Evapotranspiración Potencial de a) Thornthwaite, b) Hargreaves.

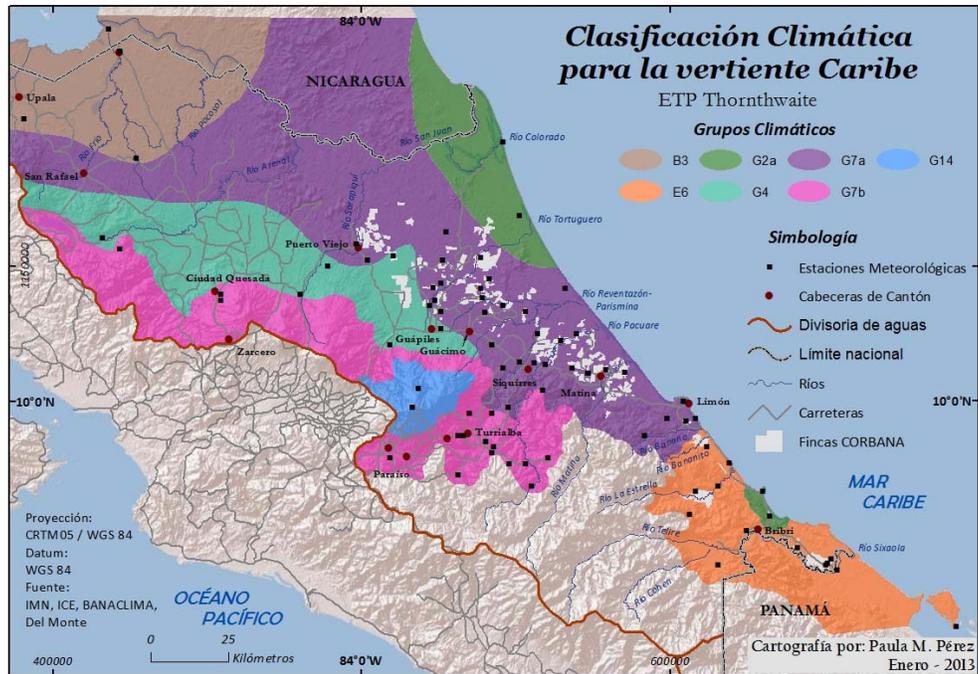


Figura 4.9 Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Thornthwaite.

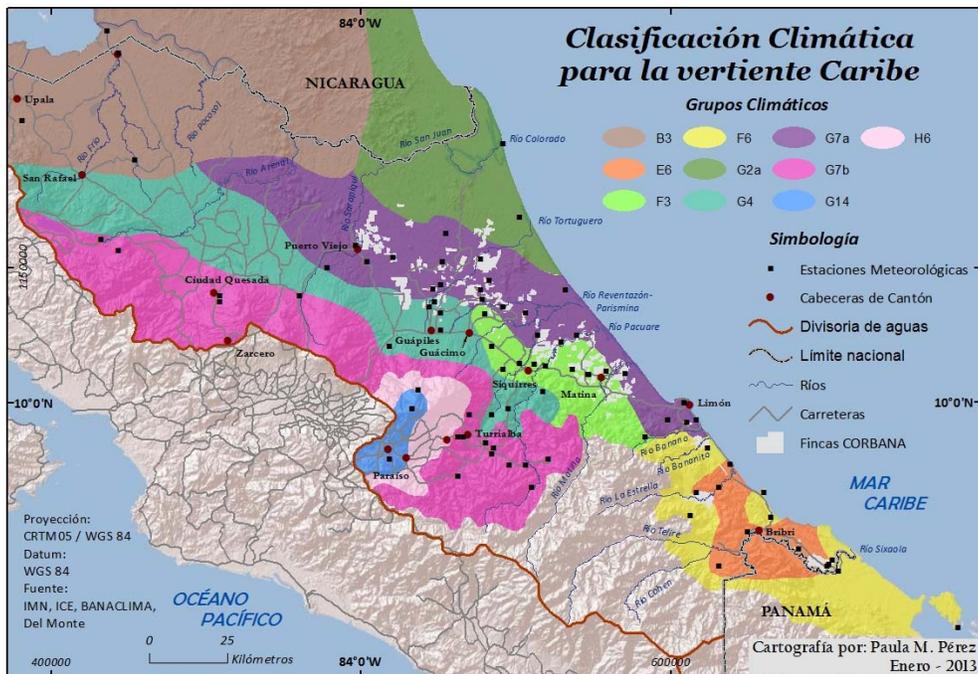


Figura 4.10 Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Hargreaves.

iii) Conclusiones y recomendaciones

1. Al utilizar un método más complejo, el de Hargreaves comparado con el de Thornthwaite, para el cálculo de la ETP, el cual calcula esta variable utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite de la atmósfera, se encontró que esta modificación, como es de esperar, arroja diferencias en el balance hídrico ya que este método supone mayor evaporación que la usada anteriormente en el segundo informe, lo que requiere un mayor aporte del recurso hídrico para mantener el balance de agua en el sistema.
2. Se observó que hacia el sureste del área de estudio en los alrededores de Bribri y Bocas del Toro (Panamá) la cantidad de lluvia es la menor con valores de 3000 mm mientras que hacia el noroeste cerca a las localidades de Puerto Viejo (Sarapiquí), Guápiles y Tortuguero se alcanzan valores de 5000 mm anuales. La estación con el máximo de lluvia media anual es Jilguero con 5500 mm, mientras que la estación con el mínimo de la precipitación es Comando Los Chiles con 1700 mm de lluvia anual, esta estación se ubica lejos de la influencia marítima.
3. En cuanto a la temperatura media anual, se notó poca variabilidad a lo largo de la zona litoral, con valores altos de temperatura media entre los 25°C y 26°C. Conforme aumenta la altitud, la temperatura disminuye paulatinamente, donde se encuentra la estación Volcán Irazú con un mínimo de temperatura media de 8,1 °C. La variabilidad es muy poca a lo largo del año y es más notoria como se conoce, en el ciclo diurno.
4. En cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima anual, se obtuvo que en la llanura se mantiene constante con valores de mínimos de 20°C, disminuyendo hacia las zonas montañosas, el mínimo es en el Volcán Irazú con 4°C a 2027 m.s.n.m. La distribución geográfica de la temperatura máxima en las partes bajas es continua con poca variabilidad, con un promedio de 30°C, y el mínimo de la temperatura máxima es en el Volcán Irazú con 11,5°C.
5. Al contrastar los métodos para el cálculo de la ETP, se observó que la de Thornthwaite propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de evapotranspiración potencial anual.

Grupo Climático	Características
B3	Clima subhúmedo húmedo, muy caliente, con un déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 1710 – 2600
	Temperatura media anual= 25-27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 0-20
E6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2500 -3100
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565-1920
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 60-80
F3	Clima húmedo, muy caliente, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3080-3420
	Temperatura media anual= 25 - 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 80-100
F6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua, o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 2800-3420
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565 -1710
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 80-100
G2a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2200- 2740
	Temperatura media anual= 25- 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1450
	Índice de aridez (%) = 0 – 2
	Índice hídrico (%) = 100-300
G4	Clima muy húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 3130-4700
	Temperatura media anual= 21- 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1040- 1515
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G7a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2840-4800
	Temperatura media anual= 24 - 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1420-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300

G7b	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2100-5600
	Temperatura media anual= 18- 22 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1020-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G14	Muy húmedo, frío, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 1700- 3200
	Temperatura media anual= 7-9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 820 -997
	Índice de aridez (%) = 0- 5
	Índice hídrico (%) = 100 - 300
H6	Clima excesivamente húmedo, frío, con un déficit muy pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3400- 4400
	Temperatura media anual= 6- 9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 855- 997
	Índice de aridez (%) = 0-5
	Índice hídrico (%) = 300-600

Tabla 4.4 [Viene de página 70] Grupos climáticos.

La de Hargreaves presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica estacional en la región húmeda caribeña con núcleos en la parte sureste de la zona de estudio (Caribe sur). Hacia el norte de la región se observan los valores máximos de potencial de agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez y de humedad se realizó un balance entre lo que llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirvió de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

6. La clasificación climática para la vertiente Caribe (utilizando Hargreaves), arrojó 10 grupos climáticos descritos y se observó un mayor detalle en la regionalización. La provincia menos húmeda (B) se localiza al norte debido a las bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda), y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia húmeda. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6, muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico

por ser un bosque siempre verde.

7. La clasificación climática confirma que la vertiente Caribe es una región húmeda. La precipitación es alta y se distribuye de forma no homogénea en el espacio, con temperaturas también altas lo que ocasiona una alta evapotranspiración potencial. Al analizar los resultados obtenidos, se recomienda utilizar la clasificación climática a partir del cálculo de la ETP usando Hargreaves, ya que esta toma en cuenta más variables físicas, como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual, lo que la hace más robusta en sus resultados. Un aspecto importante de resaltar es que hay otros métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es uno de ellos), aunque en general el número de variables, como lo discuten Lu *et al.* (2005), necesarias para su uso es más exigente.

5. Climatología de las Observaciones de BANACLIMA

Las siguientes dos secciones se utilizan para describir el clima de la Vertiente usando por un lado, las observaciones de BANACLIMA y por otro, los productos del modelo MM5 en dos dominios espaciales diferentes (el primero con una resolución de 162 km e indicativo de la escala sinóptica y el segundo con una resolución de 2 km en la escala local). Esto permite identificar las características regionales y de mesoescala en esta zona.

i) Análisis de las observaciones de BANACLIMA

En relación con las observaciones de las estaciones de BANACLIMA se presentan varios tipos de análisis, el anual, el mensual y el ciclo diario de las variables analizadas. El ciclo anual es fundamentalmente de origen astronómico aunado a la variabilidad de un sistema perturbado constantemente por mecanismos físicos dinámicos en varias escalas de movimiento (procesos de interacción océano-atmósfera de largo plazo, por ejemplo). El análisis mensual contempla la variación estacional propia del ciclo astronómico e incluye los sistemas meteorológicos que se desarrollan como resultados del calentamiento solar, los contrastes térmicos continentales, etc. El ciclo diario atmosférico es la respuesta, en el periodo solar de 24 horas, a los procesos físicos de interacción atmósfera-océano-tierra. Este ciclo está influenciado por factores astronómicos, físicos y dinámicos asociados a aspectos topográficos, de vegetación, etc., que regulan la energía disponible para los procesos atmosféricos, en especial en la capa límite. El estudio de su estructura media así como su variabilidad espacio-temporal es

vital para conocer el clima de una zona determinada, ya que brinda información sobre las circulaciones locales y el tipo predominante de precipitación en dicha región (Trenberth *et al.* 2003). Es de fundamental interés científico además, para la preparación del pronóstico meteorológico a corto plazo o para tener una base climatológica para la toma de decisiones.

El estudio del ciclo diurno de algunos parámetros atmosféricos sobre el Caribe de Costa Rica se presenta con el propósito de determinar la estructura y variabilidad espacial del ciclo diurno en esa región, desde la perspectiva estacional y de clima, de algunos parámetros como la precipitación, la temperatura, la radiación y el viento usando datos de estaciones meteorológicas automáticas en el Caribe de Costa Rica (BANACLIMA).

Un aspecto importante de la zona Caribe de Costa Rica es la forma de la costa, prácticamente una línea recta con muy pocas irregularidades, lo que es una ventaja para la interpretación de los flujos asociados a las brisas de tierra-mar. Los objetivos principales de esta parte son, estimar para el periodo de datos disponible (2006-2012), el ciclo diurno medio mensual para las variables atmosféricas mencionadas, de manera que puedan identificarse sus características estacionales y anuales, estudiar la dependencia del ciclo diurno de la precipitación con respecto a la topografía y la influencia marina, e identificar zonas climáticas en el Caribe de acuerdo a la estructura del ciclo diurno.

Esta investigación utilizó datos de estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el Caribe de Costa Rica de la base BANACLIMA de la Corporación Bananera Nacional, CORBANA (http://www.corbana.co.cr/intro_banaclima.shtml), con el objetivo inicial de identificar un periodo de varios años común para el estudio, de manera que los datos atmosféricos tuvieran una resolución temporal mínima de una hora. El periodo de datos disponible es relativamente corto (siete años, 2006-2012) por lo que algunas señales no están presentes en los datos, de manera que no se pueden resolver problemas de variabilidad interanual. El interés de CORBANA de conocer aspectos y detalles de la región donde posee sus plantaciones bananeras motivó e impulsó varias actividades de este trabajo.

Al principio se realizó un análisis exploratorio de los datos para obtener las características del ciclo diurno, esto se complementa con la estimación de los estadísticos básicos de las variables usadas, precipitación, temperatura, radiación y viento.

Resultados

El análisis de resultados de las estaciones de BANACLIMA se realiza por grupos, considerando su localización con respecto a las montañas al oeste de la región y a su distancia a la costa. La Figura 5.1 muestra la localización de las estaciones (los metadatos de éstas fueron incorporados al Informe Primero, Tabla 1.1). Por problemas en los datos, La Rita y 28 Millas no se presentan en este análisis, excepto en algunos casos para comparación con otras estaciones. El primer grupo de estaciones está localizado en una zona plana al norte de la vertiente; dos de ellas, Islas y Pénjamo están a unos 50 km al oeste de la costa, mientras que Las Valquirias y Cartagena se localizan a una distancia de 25 km, aproximadamente. El segundo grupo, en el centro de la vertiente, lo forman Siquirres, Chirripó y Limofrut B, las primeras tres cercanas a las montañas al oeste o sur de su localización y la última cerca de la costa en una zona plana a menos de 10 km del mar. El tercer grupo lo forman dos estaciones al sur de la vertiente, Agrotubérculos y PAIS, ambas cerca de la costa, la primera de ellas en una región con estribaciones montañosas y la segunda en una zona plana cerca de la frontera con Panamá. La información completa de los productos se presenta en DVD adjunto.

El ciclo anual

Todas las estaciones en el primer grupo (zona norte) muestran un máximo estacional de precipitación en los meses de noviembre, diciembre y enero (Figura 5.2), época del año de frecuentes incursiones de masas de aire frío desde el norte y de intensificación de la componente invernal de la Corriente en Chorro del Caribe, CCC (Amador 1998, Amador 2008). En esta zona, el mes de julio se destaca como un máximo secundario, el cual ha sido postulado que está asociado a la región convergente en bajos niveles de la salida de la CCC (Amador 1998, Amador 2008, entre otros). Abril y setiembre compiten por el mínimo de precipitación en la zona, mientras que las estaciones cercanas a la costa, incluyendo las de la zona central y sur, presentan otro máximo relativo en mayo (aún no explicado) que tiene el mismo orden de magnitud del máximo relativo de julio.

En contraste con el Pacífico de Costa Rica, la vertiente Caribe no muestra, a nivel mensual, ningún periodo seco. Los meses con mínima precipitación están en el rango de 50 - 100 mm, en casi todas las estaciones, lo que indica una región con una buena capacidad hídrica. La precipitación anual acumulada disminuye, en términos generales, de noroeste a sureste a lo largo de la costa. Los valores mayores de precipitación, arriba de 4000 mm anuales, se encuentran hacia la región de Tortuguero. Al oeste y sur de Las

Valquirias, la precipitación es del orden de los 3500 mm anuales, disminuyendo hacia el suroeste de la región alcanzando valores de 3000 o menos cerca de la frontera con Panamá. La alta precipitación en toda la región favorece la saturación de los suelos y el potencial de deslizamientos e inundaciones en las zonas montañosas y planas de la vertiente, respectivamente.



Figura 5.1 Ubicación de las estaciones de CORBANA en el Caribe del país usadas en este trabajo (3:Cartagena, 4:Siquirres, 5:Limofrut B, 6:Agrotubérculos, 7:PAIS, 8:Las Valquirias, 9:Pénjamo, 10:Islas, 11:Chirripó, los números corresponden con los usados en las Tabla 1.1, Anexo 1). Nótese que La Rita y 28 Millas no fueron utilizadas para elaborar el Informe Final por problemas en los datos, excepto en casos aislados para comparación con otras estaciones.

Con el propósito de complementar el análisis de la precipitación estacional, la Figura 5.3 muestra una comparación, mes a mes en términos de porcentaje, con respecto a la precipitación de Limofrut B en la zona central. Como se observa en esta figura, hay un periodo de alrededor de cinco meses (de junio a octubre) que la precipitación en la zona norte excede la de la zona central, mientras que al sur casi todo el año, la precipitación mensual es inferior a la de la zona central.

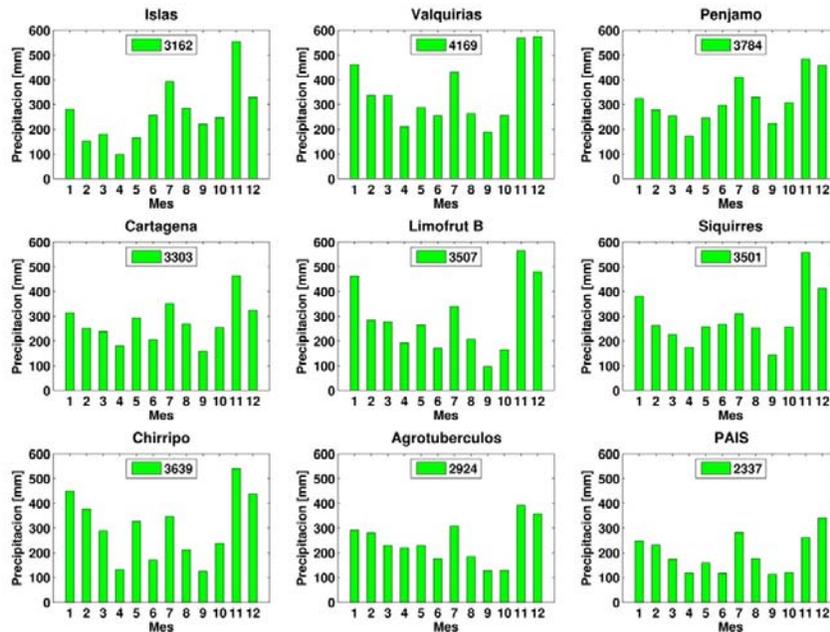


Figura 5.2 Ciclo anual de la precipitación en las estaciones de BANACLIMA.

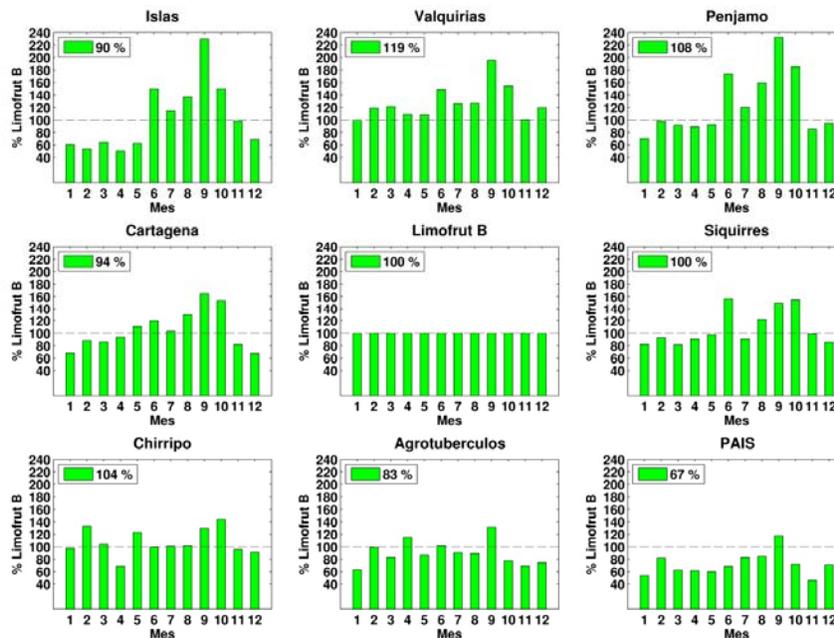


Figura 5.3 Comparación de la precipitación de cada estación con respecto a Limofrut B.

Como era de esperar, los valores máximos de radiación (W/m^2) se observan durante los periodos de mínima precipitación (Figura 5.4). La Rita presenta los valores

máximos de radiación, casi del orden de 300 W/m^2 . Las estaciones más alejadas de la costa en la zona norte y la sur reciben menos radiación, en este aspecto la nubosidad puede ser un elemento importante para explicarlo, en especial en esta última, donde la interacción del flujo con el sistema montañoso puede producir nubosidad estratiforme.

El ciclo de temperatura anual a nivel regional es bastante consistente con lo observado en la precipitación y la radiación, excepto en La Rita, donde las temperaturas parecen ser bastante inferiores a lo esperado si se asocian a las observaciones de radiación en esta misma zona (Figura 5.5). Nótese los valores menores de esta variable durante los meses del invierno boreal y el ligero descenso en la temperatura durante el mes de julio, lo que es consistente con el máximo secundario de precipitación en esta época.

El viento medio mensual para todas las estaciones se observa en la Figura 5.6. En general el viento es débil, menor de 2 m/s , lo que podría ser una consecuencia de la fricción de la vegetación en razón de la altura a la que está instalado el sensor de viento de alrededor de $3,5 \text{ m}$. A pesar de esto, los máximos se observan casi siempre de diciembre a febrero-marzo. La Rita no muestra consistencia espacial con ninguna de las otras estaciones, lo que pone entera de duda las observaciones de la variable viento en esta estación.

El ciclo diurno

Para visualizar mejor el ciclo diurno y sus características estacionales, se ha repetido información al principio y al final de los ejes verticales y horizontales (las horas y los meses, respectivamente) para crear las imágenes o figuras. En el eje vertical se agregaron dos horas al principio y dos al final para observar mejor el ciclo diurno, en tanto en el eje de los meses se agregaron tres meses al principio y tres al final para observar mejor el aspecto estacional. Este sencillo procedimiento permite distinguir mejor las características del ciclo diurno y la parte estacional sin los problemas de borde en las figuras.

El ciclo diurno de la precipitación a nivel estacional presenta varios atributos importantes; entre ellos, que los máximos estacionales del invierno boreal, en todas las estaciones, están caracterizados por lluvias cuasi-continuas durante todo el día. La intensidad de las lluvias durante el ciclo diurno es más notable en las que están localizadas cerca de la costa y disminuye hacia el sureste de la vertiente (Figura 5.7). En este sentido, al parecer las incursiones de masas desde el norte asociadas a los frentes no penetran con mucha intensidad a las regiones que están a unos 50 km de la costa.

Las estaciones más alejadas de la costa en la zona norte (Islas, Pénjamo y La Rita) presentan un máximo importante de lluvia entre las 14 y las 17 - 18 horas de mayo a octubre en esta última y con menor extensión estacional en las otras dos (Figura 5.7). Cartagena y Siquirres muestran también este máximo diurno, poco definido en las otras estaciones que presentan lluvias poco intensas a otras horas del día y la noche. Julio es un mes importante en la distribución de la lluvia, pues ésta puede aparecer en casi todo el día. Esta distribución está posiblemente asociada a los cambios en la intensidad del viento debidos a la presencia de la CCC, pero que a nivel del ciclo anual no son bien observados por su carácter más sinóptico que local.

El ciclo diurno del viento está bien definido en todas las estaciones, en las cuales predomina la dinámica de la brisa tierra-mar (Figura 5.8). Durante la noche, por contraste térmico, el viento es débil de la tierra hacia mar y durante el día la dirección es la opuesta. Los valores máximos de viento se presentan de las 9 a las 17 horas alcanzando valores del orden de los 4 m/s o ligeramente mayor en algunas estaciones (ver Las Valquirias, por ejemplo).

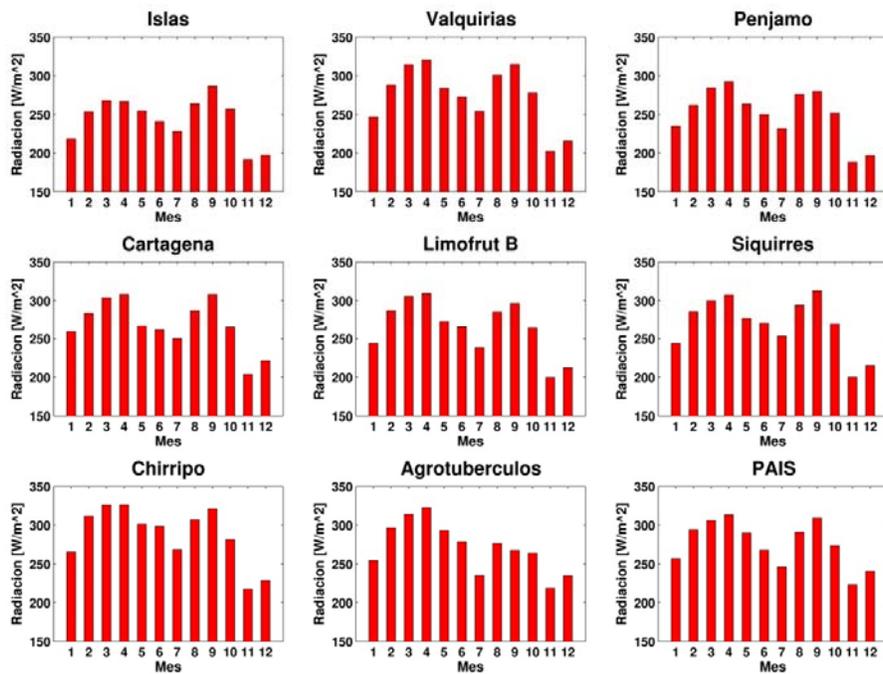


Figura 5.4 Ciclo anual de la radiación en las estaciones de BANACLIMA.

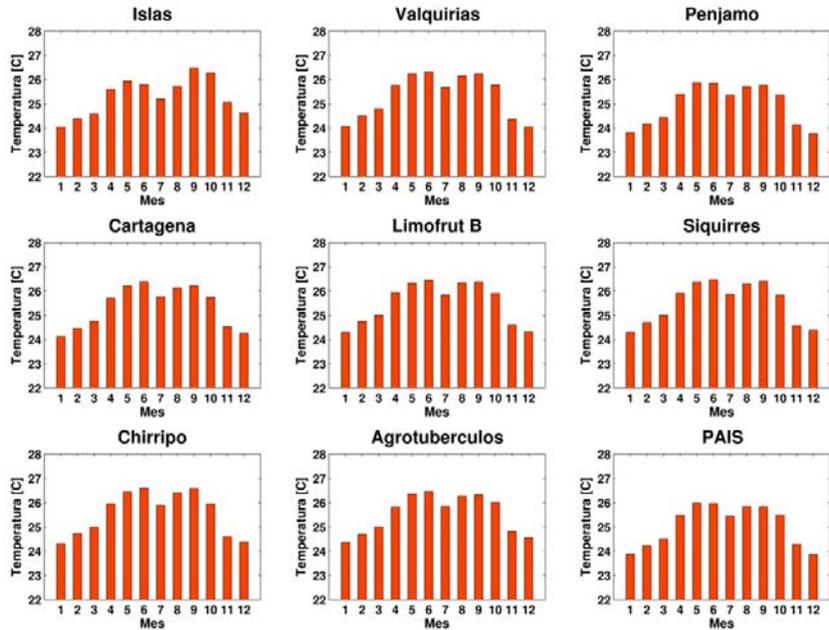


Figura 5.5 Ciclo anual de la temperatura en las estaciones de BANACLIMA.

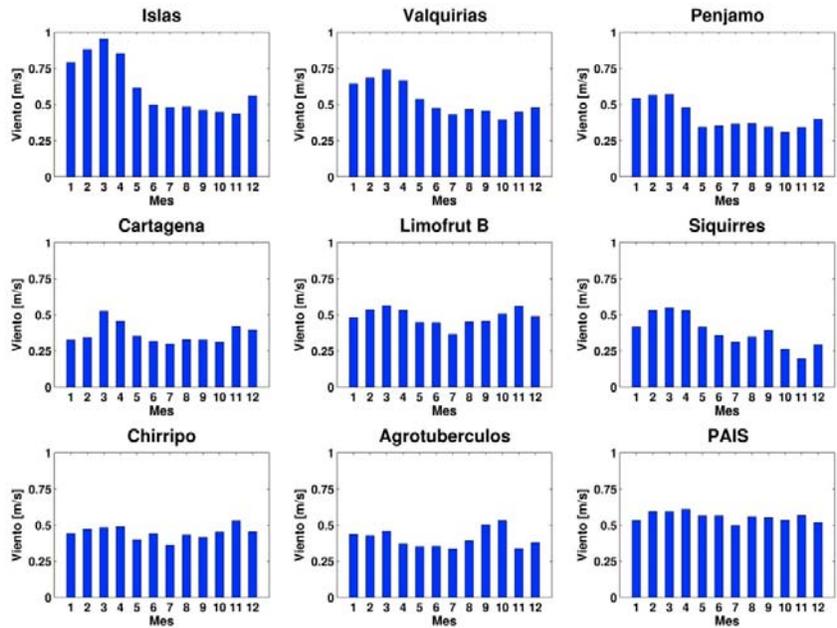


Figura 5.6 Ciclo anual del viento en las estaciones de BANACLIMA.

La Rita y 28 Millas muestran distribuciones complejas con intensidades de viento muy bajas debidas posiblemente a aspectos muy locales de observación, lo que dificulta su interpretación. Islas está sometida a un flujo sinóptico del este (los alisios) durante

todo el año con muy pocas excepciones y la intensidad aumenta durante el día como consecuencia del efecto de la brisa de mar. Un aspecto importante observado en estas figuras del viento es la claridad con que esta brisa penetra tierra adentro hasta posiblemente más de 50 km, favorecida por la baja topografía de la zona norte. La radiación a que está sometida la región tiene dos máximos estacionales centrados en marzo - abril y setiembre (Figura 5.9). La intensidad de la radiación es máxima entre las 10 y la 12 horas, aspecto que no explica los máximos de precipitación observados en la zona norte en algunas estaciones (Figura 5.7). Julio es un mes de mínima radiación estacional, lo que está de acuerdo con la distribución observada de precipitación en la región. Las Figuras 5.10 muestra las distribución diurno – estacional de la temperatura. Esta variable muestra gran consistencia con las de precipitación y radiación solar.

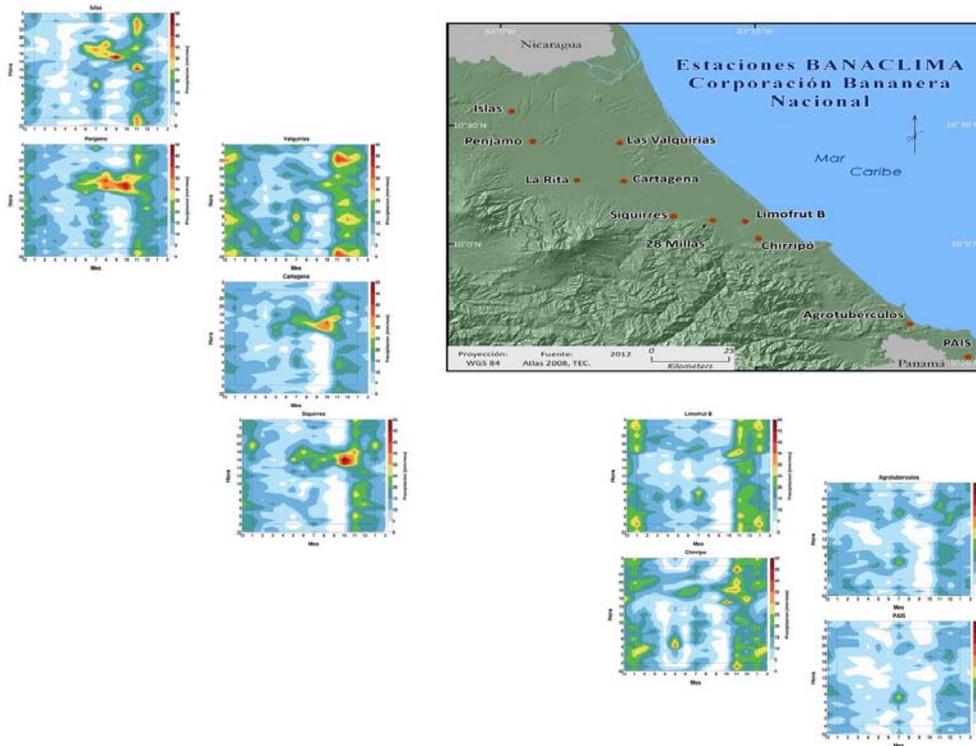


Figura 5.7 Ciclo diario mensual de la precipitación en las estaciones de BANACLIMA.

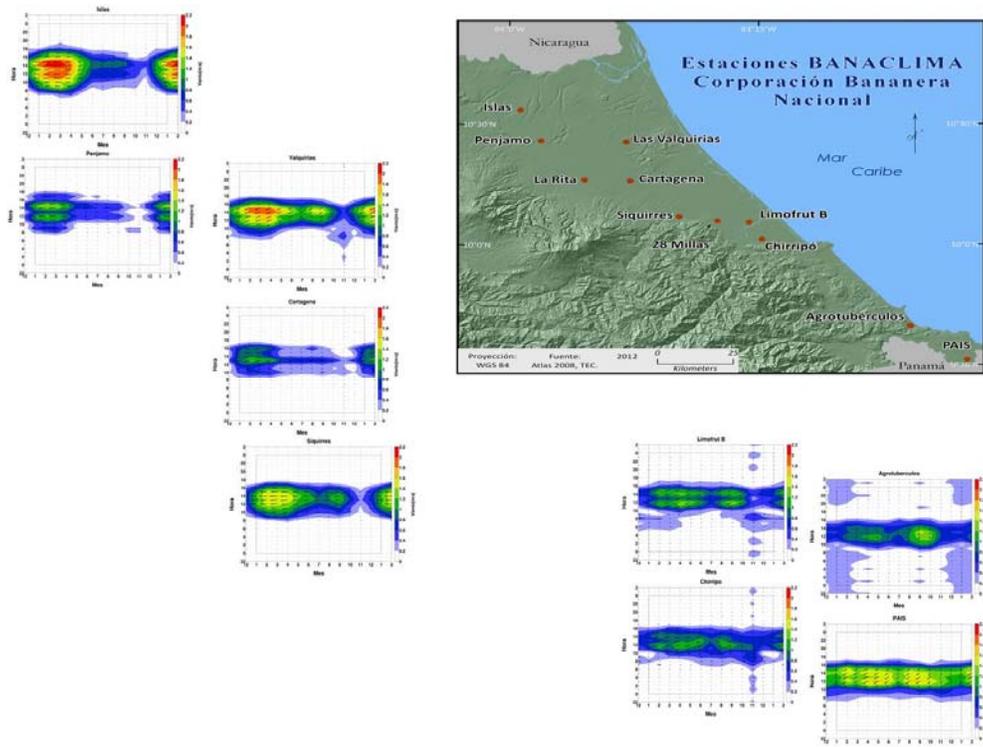


Figura 5.8 Ciclo diario mensual del viento en las estaciones de BANACLIMA.

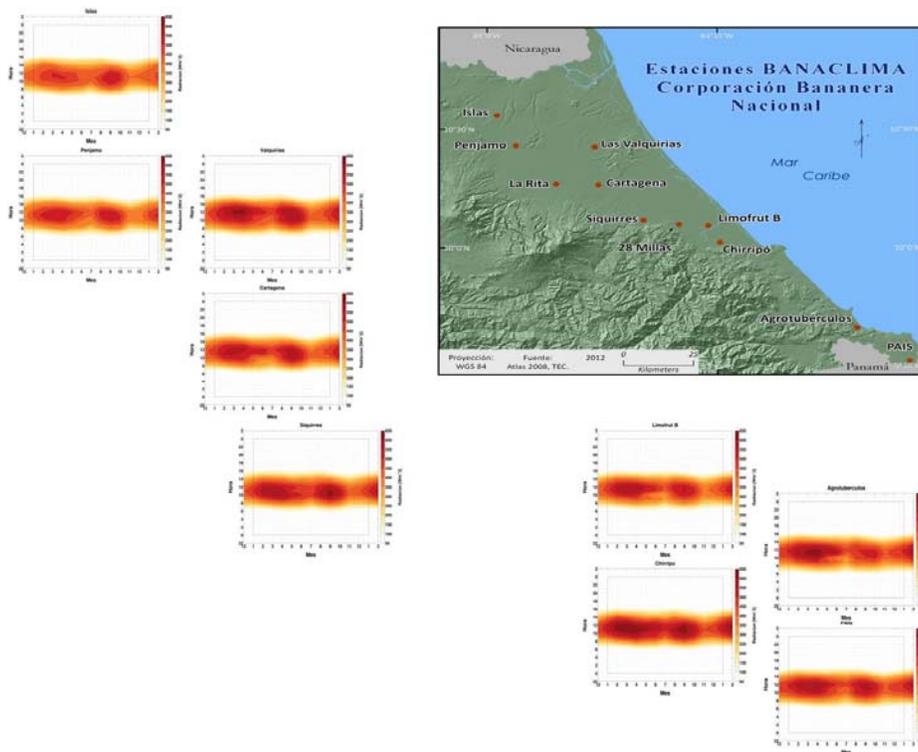


Figura 5.9 Ciclo diario mensual de la radiación en las estaciones de BANACLIMA.

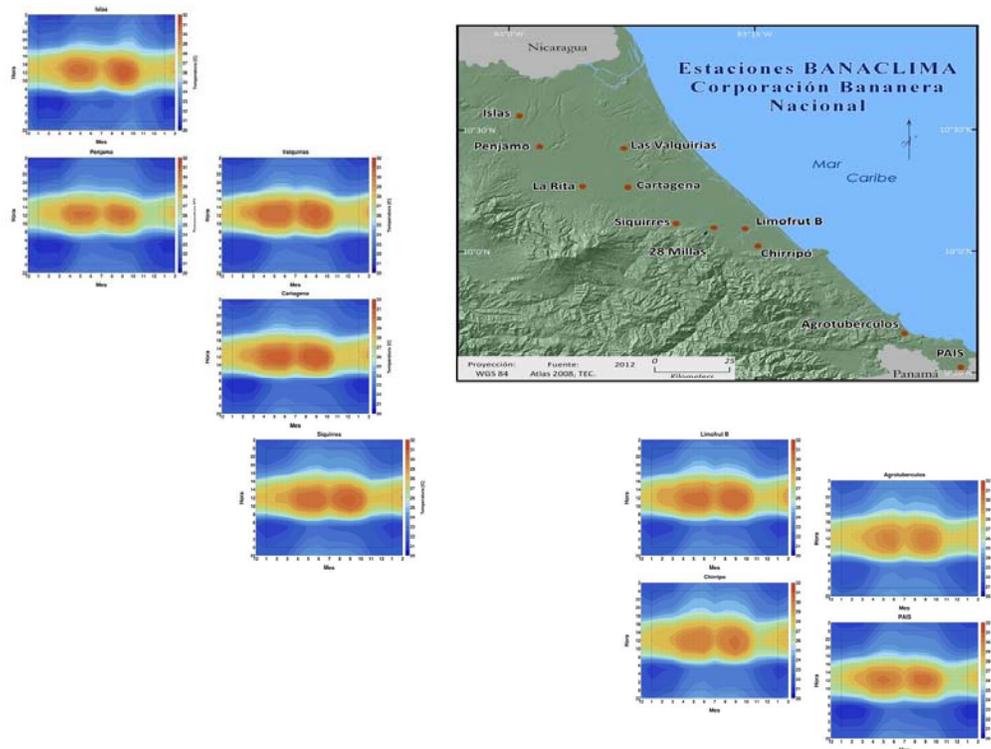


Figura 5.10 Ciclo diario mensual de la temperatura en las estaciones de BANACLIMA.

6. Climatología Generada por Modelos Dinámicos

i) Análisis de productos de modelos numéricos

Introducción

Los mapas de clima anuales y mensuales para la precipitación, viento y temperatura son el resultado de simulaciones de las condiciones atmosféricas regionales, usando datos de NCEP/NCAR (Kalnay *et al.* 1996) para inicializar el modelo de mesoescala MM5v3. En la parte escrita de este IF se muestran, debido a su gran número, solo algunas imágenes de estos resultados. La información completa de todo el análisis se presenta en DVD adjunto; además, estos resultados serán instalados en el formato que corresponda en el Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) en La Rita.

Para calcular los estadísticos se usan los productos numéricos de esas variables para un año compuesto de 365 días elegidos al azar durante el periodo 1971-2010. Las condiciones para el estimado de los días a simular incluyen diferentes condiciones climáticas bajo la influencia de señales y teleconexiones a nivel global regional. En la sección 1 se discutió el procedimiento seguido para evitar sesgos en la estadística anual y la base teórica para su interpretación.

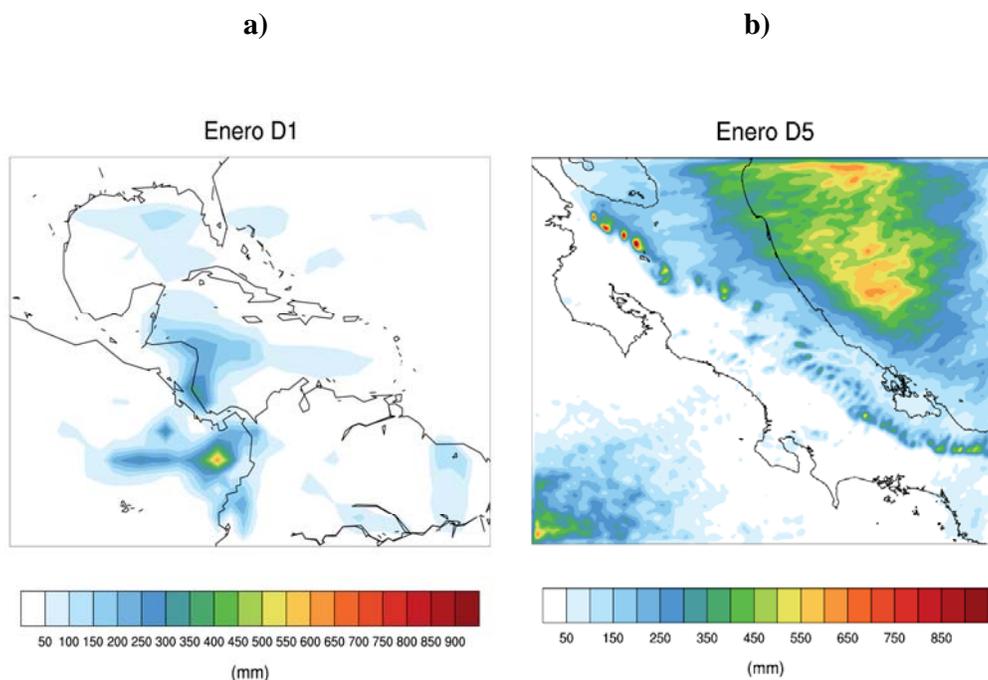


Figura 6.1 Precipitación media para el mes de enero estimada por el modelo MM5v3 en a) escala sinóptica (resolución de 162 km) y b) escala local (resolución de 2 km).

La Figura 6.1 es un ejemplo de los productos del modelo numérico MM5v3 inicializado con datos del NCEP/NCAR. Esta figura muestra el clima determinado por el modelo para un mes seleccionado (enero) en dos escalas de movimiento, en a) la sinóptica (resolución de 162 km) y en b) la local (2 km) para la variable precipitación. Se observa el efecto del procedimiento de “reducción de escala” (de la Figura 6.1a a la Figura 6.1b), mediante el uso del modelo MM5v3 y abundante precipitación en el Caribe en ambas figuras, pero se estima mucho mejor la precipitación en la escala local que la que corresponde a la sinóptica.

7. Cambio climático observado y escenarios futuros

i) Tendencias históricas en precipitación en la zona Caribe de Costa Rica

Se analizó un subconjunto de 18 series de precipitación anuales para la región Caribe correspondientes al Componente Principal 1 (CP1) del análisis de componentes principales rotados que se había hecho originalmente con 30 estaciones de precipitación de la zona. Se seleccionaron aquellas estaciones que presentaron cargas (loadings) para

el CP1 mayores o iguales a 0,70, o sea, que corresponden al modo principal de variabilidad de la zona Caribe de Costa Rica.

Se calcularon las tendencias de cada estación mediante regresión lineal y se determinó la significancia de las tendencias. El mapa de tendencias de precipitación anual se muestra en la Figura 7.1.

Se validaron estas tendencias con datos de satélite de dos fuentes el Global Precipitation Climatology Project (GPCP; Adler *et al.* 2003) de 1979 al 2010 a una resolución de 2,5 grados y el Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation (CMAP; Xie y Arkin 1997) de 1979 al 2008 a una resolución de 2,5 grados. Los datos del GPCP son producidos por medio de una mezcla óptima de estimados de precipitación de datos de microondas, infrarrojo, y sondas a bordo de una constelación de satélites internacionales y también con análisis de datos de estaciones. Los datos de CMAP incluyen valores de 5 tipos de datos satelitales (GPI, OPI, SSM/I scattering, SSM/I emission y MSU). Se encontró el punto de la rejilla de los datos satelitales más cercano a las coordenadas de la ciudad de Limón (9,9833°N, 83,0333°W).

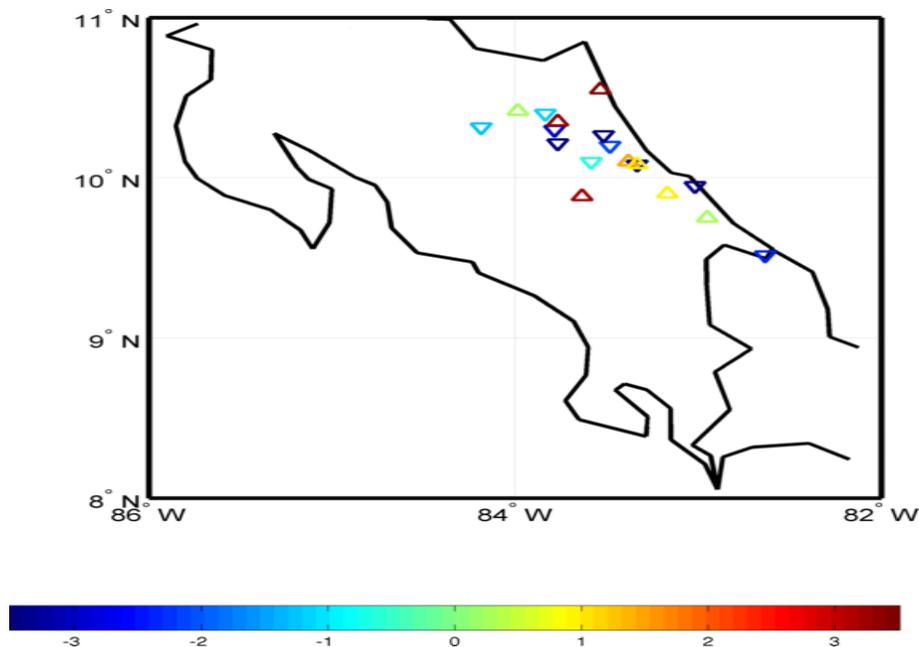


Figura 7.1 Tendencias (mm/año) de 1965 al 2010 de precipitación anual en 18 estaciones de la zona Caribe de Costa Rica. Los símbolos triangulares apuntan a la dirección de las tendencias. Ninguna tendencia obtenida es significativa al 95% de confianza.

ii) Tendencias en la temperatura de superficie y del mar

En el informe anterior se hizo un análisis de las tendencias de temperatura en la región. Al analizar las series de tiempo para la temperatura media superficial del aire de la estación de Limón y del mar del punto de rejilla más cercano a la estación de Limón, a partir de los datos de Smith *et al.* (2008), se encontró que las tendencias mostraban un valor de $0,01^{\circ}\text{C}/\text{día}$ (1970-2011) y $0,0024^{\circ}\text{C}/\text{mes}$ (1854-2011), respectivamente, con un *valor-p* de 0. Esto quiere decir que ambas muestran una tendencia positiva, estadísticamente significativa, durante el periodo de estudio considerado en dicha región.

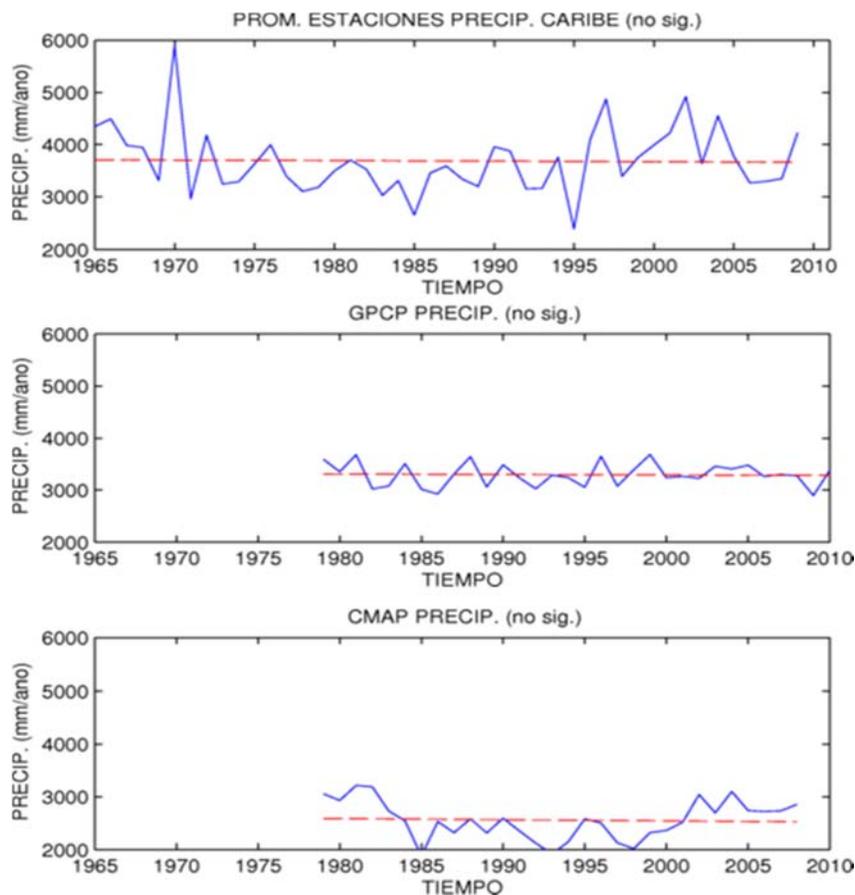


Figura 7.2 Series de tiempo de precipitación anual de tres fuentes: promedio de todas las estaciones mostradas en la Figura 7.1 y el punto de rejilla más cercano a la ciudad de Limón para dos bases de datos de satélite: GPCP (medio) y CMAP (abajo). Tendencias no significativas son indicadas con la leyenda “no sig.” en el título de cada gráfico.

Los resultados se muestran, junto con un promedio de precipitación de todas las 18 estaciones, en la Figura 7.2. En esta figura se puede ver que aunque la variabilidad del promedio de las estaciones es mucho mayor que los valores para las rejillas satelitales seleccionadas, no existe una tendencia significativa en la precipitación de la región durante al menos los últimos 46 años.

iii) Perspectiva futura de la escorrentía en la región usando modelos de circulación general

Aunque no forma parte de los términos de referencia originales del proyecto, se ha hecho un análisis de 30 corridas de modelos de circulación general (MCG) para determinar las proyecciones de cambio climático para la región centroamericana para el periodo 1950 al 2099 (ver detalles en Hidalgo *et al.* 2013). Se tomaron las proyecciones de precipitación y temperatura, se cambiaron de escala desde una rejilla de aproximadamente 2,5 x 3 grados a una cuadrícula de 0,5 x 0,5 grados (latitud x longitud). Los datos a esta resolución más fina fueron utilizados en un modelo hidrológico para obtener proyecciones de escorrentía futura. Aunque el modelo hidrológico mostró deficiencias en las zonas caribeñas donde la falta de datos de escorrentía para calibrar el modelo es notoria, se pueden sacar conclusiones a un nivel más regional (a escala de países) y no local (a escala de cuencas). Se encontró que Centroamérica experimentará reducciones significativas en la escorrentía, lo cual la hace más susceptible a sequías (Figura 7.3). Estas tendencias son más acentuadas para el norte de Centroamérica, con reducciones medias de escorrentía de hasta 30% en algunos meses al final del siglo. Por otra parte el sur de Centroamérica (Costa Rica y Panamá) disminuirán en alrededor de 15% en algunos meses al final de siglo. Sin embargo la temperatura al final de siglo en la parte sur de Centroamérica tiende a aumentar más que en la parte norte, con aumentos que pueden llegar hasta los 4 °C para el periodo 2050 al 2099. Cabe mencionar que estos resultados de más sequedad en el norte de Centroamérica son congruentes con otros estudios previos usando modelos climáticos, pero son inconsistentes con la predicción del futuro esperado usando datos paleoclimáticos. Aunque cabe la posibilidad de que no haya tal discrepancia debido a que el comportamiento del clima futuro sea algo completamente inusual y de acuerdo con lo predicho por los modelos, es necesaria más investigación en el tema (más detalles ver Hidalgo *et al.* 2013).

Algunos de los resultados aquí expuestos se presentaron durante la 8th EGU Alexander von Humboldt International Conference on Natural Disasters, Global Change, and the Preservation of World Heritage Sites, llevada a cabo en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Facultad de Ingeniería Civil, en coordinación con el Scientific Committee for Disaster Prevention and Mitigation and the European Geosciences Union (EGU), y se celebró en Cusco, Perú, del 12 al 16 de noviembre de 2012. Los trabajos presentados fueron Hydro-climatic change impacts in Central America (H. Hidalgo) y Analysis of climate impacts in Costa Rica, Central America, from local historical information sources (E. Alfaro).

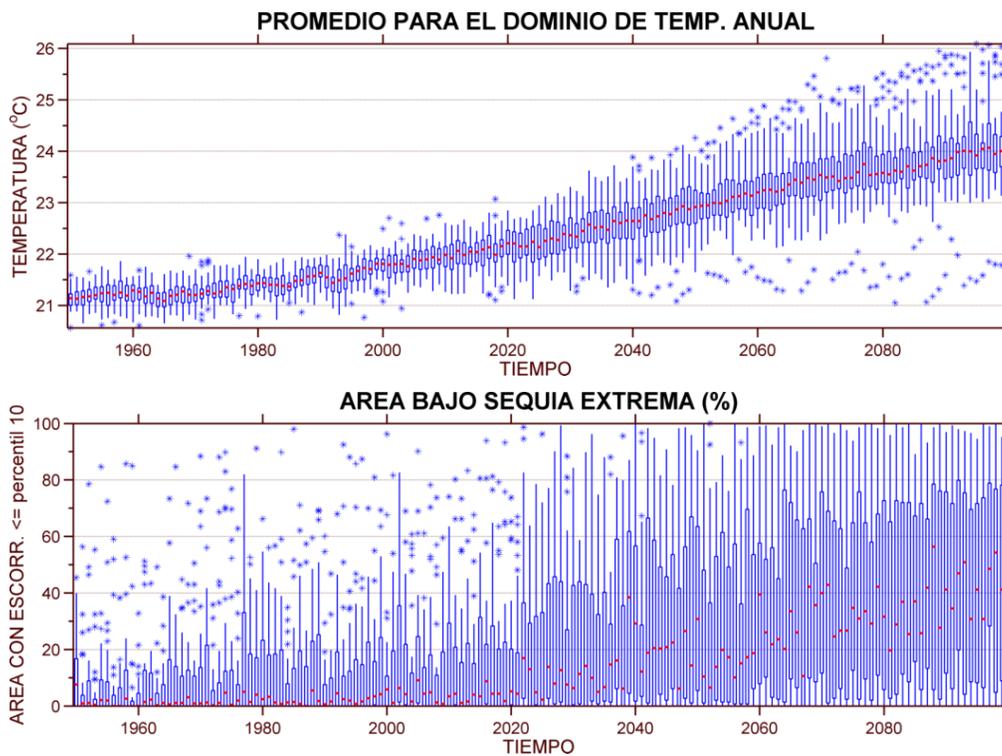


Figura 7.3 Proyecciones de temperatura (arriba) y de la extensión porcentual de sequía extrema (abajo) en Centroamérica para el siglo XXI. Los gráficos de caja representan la incertidumbre de 30 corridas de MCG. Las cajas de los gráficos están bordeadas por los percentiles 25 y 75. La mediana se muestra dentro de la caja. Las líneas verticales se extienden 1,5 veces el rango intercuartil o hasta la extensión de los datos. Datos anómalos se muestran con el símbolo de asterisco.

iv) Principal problema encontrado

Si bien es cierto se contó con los inventarios por parte del IMN e ICE de las estaciones ubicadas en la vertiente del Caribe, el precio que significaba la adquisición de dicha información estaba fuera del presupuesto del presente proyecto. Debido a lo anterior se debió recurrir a los archivos existentes en la base de datos NUMEROSA y BANACLIMA, principalmente. Algunos de estos registros debieron ser digitalizados, lo que consumió algún tiempo no contemplado inicialmente.

v) Conclusiones

El análisis de las tendencias presentes en las series de tiempo de la región del Caribe de Costa Rica en los últimos 46 años, mostró que no es posible identificar, con un nivel de significación estadística apropiado, una tendencia, ya sea positiva o negativa en la precipitación, sin embargo la temperatura media superficial del aire y del mar, muestran una tendencia positiva durante la últimas décadas en dicha región.

8. Aspectos Administrativos

La fecha oficial de inicio del proyecto es el 1 de febrero de 2011. La fecha de finalización era el 31 de enero de 2013, sin embargo, se solicitó una ampliación para generar los productos finales de modelos y clima observado para su instalación en un servidor de CORBANA. Algunos otros asuntos de carácter familiar y personal grave de miembros de los grupos de trabajo, ocasionaron retrasos involuntarios en la entrega del IF. Se solicita la comprensión de CORBANA.

IV. Conclusiones y recomendaciones

Las conclusiones y recomendaciones de este Informe Final aparecen en cada una de las secciones de acuerdo a los productos generados en el marco de los ERTC. Otras conclusiones y recomendaciones de este trabajo se encuentran en detalle en el Informe Primero (Anexo 1) y el Informe Segundo (Anexo 2) entregados a satisfacción de CORBANA en setiembre de 2010 y mayo de 2012, respectivamente.

VI. Agradecimientos

Se agradece al Dr. Jorge Sandoval, Director de Investigaciones de CORBANA y a la Junta Directiva de la Corporación por el constante interés en vincular el clima en la producción del banano, por la gran disposición mostrada y por el apoyo al grupo de

investigadores del CIGEFI durante la etapas del proyecto. Al Ing. Mauricio Guzmán y al Ing. Eduardo Soto por su gran comprensión de la potencialidad de los productos del proyecto, por las discusiones llevadas a cabo sobre aspectos varios, así como las facilidades ofrecidas para llevar a cabo esta investigación. Al personal de informática de la Corporación por su apoyo en lo relativo a las bases de datos de BANACLIMA. Se reconoce la colaboración brindada por el personal del Centro de Documentación y del Archivo de CORBANA en Zapote, de la Biblioteca Nacional y de las Bibliotecas de la Universidad de Costa Rica y de la Universidad Nacional por su valiosa ayuda al facilitar la documentación para partes de la presente investigación. A Juan Carlos Fallas (Director del IMN), Sadí Laporte, Enrique Chacón y Berny Fallas del Departamento de Estudios Básicos del Área de Hidrología del ICE, por facilitar los inventarios de las estaciones que han funcionado en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. A Ingrid Rivera, Carla Vega por su ayuda en el ordenamiento de documentos para el proyecto. A Aarón Vega, por su ayuda en el procesamiento de la información. Se agradece al proyecto “Clima, variabilidad y cambio climático en la vertiente Caribe de Costa Rica: un estudio básico para la actividad bananera”, Proyecto V.I. 805-B0-402, CIGEFI-UCR bajo financiamiento de CORBANA, dentro del cual se realizaron las actividades de investigación en la UCR y otras componentes complementarias de investigación relacionadas con este proyecto: 805-A8-606 (apoyo de Florida Ice & Farm Co.), 805-A9-532 (apoyo de ASDI-CSUCA), 805-A7-002 (apoyo de CRN2050-IAI) y 805-A9-224 (Simulaciones de ciclo hidrológico terrestre usando el modelo de Capacidad de Infiltración Variable) y 805-B0-065 (ciclo diurno del viento en Costa Rica).

VII. Referencias

- Alfaro, E. y J. Soley, 2009. Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemáticas: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 59-74.
- Alfaro, E., 2002. Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E., 2007a. Predicción Climática de la Temperatura Superficial del Aire en Centroamérica. *Ambientico*, 165, 6-10.

- Alfaro, E., 2007b. Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 9(2), 33-48.
- Alfaro, E., L. Cid y D. Enfield, 1998. Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69.
- Amador, J. A., 1998. A climatic feature of the tropical Americas: The trade wind easterly jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2), 91-102.
- Amador, J. A., 2008. The Intra-Americas Seas Low-Level Jet (IALLJ): Overview and Future Research. *Annals of the New York Academy of Sciences, Trends and Directions in Climate Research*, L. Gimeno, R. García, and R. Trigo, Editors 1146(1), 153-188(36).
- Araya, J. y E. Alfaro, 2008. Prueba e Implementación de Algoritmos de Control de Calidad de Datos de Temperatura Superficial del Aire en un Contexto Operativo. *Tecnología en Marcha.*, 21(3), 47-61.
- Araya, J. y E. Alfaro, 2009. Algoritmos de Control de Calidad para Detección de Secuencias Atípicas de Contactos en Pluviómetros de Balancín. *Tecnología en Marcha.*, 22(2), 63-78.
- Araya, J. L., 2007. Algoritmos de control de calidad de datos en estaciones meteorológicas automáticas, Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica, 164 pp.
- Bautista, F., D. Bautista, and C. Delgado-Carranza, 2009. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. *Atmósfera* 22(4), 331-348.
- Castillo, E., A. S. Hadi, N. Balakrishnan y J. M. Sarabia, 2005. *Extreme Value and Related Models with Applications in Engineering and Science*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 362pp.
- Coles, S., 2001. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer-Verlag, London, 208 pp.
- Ellis, F., 1983. *Las transnacionales del banano en Centroamérica*. San José, Costa Rica. EDUCA, 463 pp.
- Enfield, D. B.; A. M. Mestas-Nuñez, and P. J. Trimble, 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophys. Res. Lett.* 28, 2077–2080.

- Enfield, D. y E. Alfaro, 1999. The dependence of caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*, 12, 2093-2103.
- Gilleland, E. and R. W. Katz, 2011. New software to analyze how extremes change over time. *Eos*, 92(2), 13-14.
- González, M., 1987. Enfermedades del cultivo del banano. San José, Costa Rica. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, 98 pp.
- Hargreaves, G. H., 1981. Responding to tropical climates. The 1980-81 Food and Climate Review, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo., 29-32.
- Herrera, W., 1986. Clima de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica, Volumen 2. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 118 pp.
- Hidalgo, H. G., J. A. Amador, E. J. Alfaro, and B. Quesada, 2013. Hydrological Climate Change Projections for Central America, *J. of Hydrology* .doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.004>
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Lu, J., G. Sun, D. M. Amatya, and S. G. McNulty, 2005. A Comparison of Six Potential Evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *Jour. Amer. Water Resour. Assoc.*, 41, 621-633.
- Marquart, S., 2003. Pesticidas, pericos y sindicatos en la industria bananera costarricense. 1938-1962. *Rev. de Hist.* 47, 43-95.
- Mather, J. R. 1974. *Climatology: fundamentals and applications*. New York: McGraw Hill, 488 pp.
- Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation From Open Water, Bare Soil and Grass. *Proc. Roy. Soc. London*, A193:120-146.
- Retana, S., 1968: El cultivo del banano en Costa Rica. San José, Costa Rica. Lehmann, 12 pp.
- Royo, A., 2003: La ocupación del Pacífico Sur costarricense por parte de la Compañía Bananera. En: <http://historia.fcs.ucr.ac.cr/articulos/2003/zonasur.htm>. Consultado en diciembre de 2012.

- Sastry, P. S. N., 1988. Agrometeorology of the Banana Crop. Agricultural Meteorology CAGM Report No.29 .WMO/TD-No 237, 85 pp.
- 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.
- Solano, F. J., R. E. Díaz y J. A. Amador, 2010. Evolución de las ideas meteorológicas y el impacto del clima en la sociedad costarricense (1502-1860). Serie Estudios Sociales de la Ciencia, la Técnica y el Medio Ambiente. Centro de Investigaciones Geofísicas, Escuela de Historia y Centro de Investigaciones Históricas de América Central, Universidad de Costa Rica. Ediciones Sanabria, 1era. Edición, ISBN: 978-9968-706-38-4.
- Solano, F. J., R. Díaz, and J. A. Amador, 2013. La Institucionalización de la meteorología en Costa Rica (1860-1910). Serie Estudios Sociales de la Ciencia, la Técnica y el Medio Ambiente, Editorial Nuevas Perspectivas, San José, Costa Rica, 313 pp.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Trenberth, K. E., 1997. The Definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771-2777.
- Trenberth, K. E., Aiguo Dai, R. M. Rasmussen, D. B. Parsons, 2003. The Changing Character of Precipitation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 1205-1217.
- Viales, R., 1998. Después del enclave 1927-1950: Un estudio de la región atlántica costarricense. San José, Costa Rica. EUCR y Museo Nacional de Costa Rica, ISBN 9977-67-451-5.
- Wilks, D. S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Elsevier: Ithaca, New York, 467 pp.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997. Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.

VIII. Personal Científico Responsable del Informe en la Universidad de Costa Rica

Jorge A. Amador^{1,2}, Ph. D., Investigador Principal (Email: jorge.amador@ucr.ac.cr)

Eric J. Alfaro^{1,2}, Ph. D., Investigador Asociado, **G1, G3, G5**

Hugo Hidalgo^{1,2}, Ph. D., Investigador Asociado, **G3, G5**

José L. Vargas¹, Lic., Investigador Colaborador, **G1, G2**

Javier Soley^{1,4(†)}, Ph. D., Investigador Asociado, **G1**

Flora Solano^{1,4(†)}, Lic., Investigadora Colaboradora, **G4**

Ronald Díaz^{1,6}, Lic., Investigador Colaborador, **G4**

Juan José Vargas^{1,3}, Ph. D., Investigador Asociado, **G6**

Anthony Goebel⁶, Ph. D., Investigador Colaborador, **G4.**

Andrea Montero⁶, M.Sc., Investigadora Colaboradora, **G4**

Blanca Calderón¹, Br., Investigadora Colaboradora, **G6**

Fernán Sáenz^{1,2}, Br., Investigador Colaborador, **G6**

Paula M. Pérez⁵, Br., Investigadora Colaboradora, **G3, G6**

Jorge Luis Rodríguez¹, Br., Administrador, **G7**

Carla Vega ^{1,2}, Asistente, **G6**

Ingrid Rivera ^{1,2}, Asistente, **G6**

Pablo Ureña^{1,2}, Estudiante, **G1**

Alberto Salazar^{1,2}, Estudiante, **G2**

Natalie Mora^{1,2}, Estudiante, **G6**

Carlos Bojorge^{1,2}, Estudiante, **G6**

Melvin López⁷, Estudiante, **G4.**

¹ Grupo de Predicción Climática (GPC), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)

² Escuela de Física (EF)

³ Escuela de Ciencias de la Computación e Informática (ECCI)

⁴ Pensionado Escuela de Física

⁵ Escuela de Geografía

⁶ Escuela de Historia

⁷ Posgrado en Historia

Grupos de Trabajo

G1- Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

G2- Giras y Red de Estaciones de CORBANA

G3- Información Meteorológica e Hidrometeorológica Nacional y Regional

G4- Rescate de Datos Históricos

G5- Hidrometeorología

G6- Modelos Dinámicos

G7- Aspectos Administrativos



Universidad de Costa Rica
Escuela de Física, Facultad de Ciencias y
Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Tels. (506) 2511 5096 / 2511 2551
Fax. (506) 2234 2703
Email: cigefi@cigefi.ucr.ac.cr, jorge.amador@ucr.ac.cr

Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera

Informe Primero

presentado a

Corporación Bananera Nacional (CORBANA)

**Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Universidad de Costa Rica**

Febrero-Setiembre 2011

Contenidos

Resumen Ejecutivo del Proyecto	3
Resumen Ejecutivo del Informe Primero	4
I. Introducción General	9
II. Fundamentación Científica del Informe Primero	9
III. Avances, Actividades y Productos	10
1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA	10
2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA	20
3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional	31
4. Rescate de Datos Históricos	36
5. Hidro-meteorología	37
6. Modelos Dinámicos	41
7. Aspectos Académicos y Administrativos	51
IV. Conclusiones y Recomendaciones	51
V. Recomendación Especial	56
VI. Agradecimientos	56
VII. Referencias	57
VIII. Cronograma de Actividades Actualizado	59
IX. Personal Científico Responsable en la Universidad de Costa Rica	60

*“no scientist who has self esteem and moral integrity
will ever attempt to forecast the weather”
Anonymous, 1850*



Resumen Ejecutivo del Proyecto

Se describen en este proyecto los elementos y las consideraciones técnicas, científicas y económicas para la elaboración de productos de clima, variabilidad climática y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica, en respuesta a requerimientos de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). El objetivo de este trabajo es que esta Corporación pueda identificar, a un nivel de detalle adecuado, las características del clima, de la variabilidad climática y aspectos relativos al cambio climático regional que hayan podido afectar la producción de banano en la región de interés. Los entregables consisten en una serie de productos impresos y digitales conteniendo información cartográfica, estadística y distribuciones espacio-temporales de las variables atmosféricas en la región de interés, de manera que CORBANA pueda tomar decisiones a alto nivel sobre los mecanismos atmosféricos que afectan la producción de banano y los posibles desarrollos futuros relacionados con la adaptación a esos mecanismos. Utilizando un procedimiento de muestreo estadístico de datos dinámicamente inicializados (u observados de estar disponibles) durante un período de aproximadamente 25 años y usando modelos numéricos de la atmósfera de dominio regional (de mesoescala como el MM5V3.7 o el WRF), se prepararán mapas de los diferentes parámetros del clima (mapa anual y mapas mensuales) de la Vertiente Caribe de Costa Rica y zonas costeras cercanas, con una resolución inicial de 2 km usando procedimientos de reducción de escala dinámica y estadística. La meta es elaborar productos del clima, de la variabilidad climática y de posibles descriptores de cambio climático en la región de interés para los períodos de datos disponibles. El cronograma propuesto para la realización de todo el trabajo y las diferentes etapas abarcan un total de dos años a partir del 1 de febrero 2011, fecha de la firma del contrato por parte de las autoridades de CORBANA y la Universidad de Costa Rica (UCR), por medio de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDEVI). La ejecución técnica y científica del proyecto está a cargo del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la UCR.



Resumen Ejecutivo del Informe Primero

Se discuten en este Informe Primero los avances, las consideraciones técnicas y científicas para la elaboración final de productos de clima, variabilidad climática y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica, de acuerdo al Cronograma de Actividades Actualizado (sección VIII, página 59), propuesto a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) y contenido en el contrato firmado entre CORBANA y la Universidad de Costa Rica (UCR) por medio de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDEVI). La ejecución técnica y científica del proyecto está a cargo del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la UCR. Los objetivos asociados a este Informe son los descritos en el documento del proyecto en lo relativo a las Especificaciones y Requisitos Técnicos de CORBANA (ERTC) en la Parte I, punto 7.

Entre las conclusiones y recomendaciones de este Informe Primero están:

1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

1. Los datos de precipitación en las estaciones La Rita y 28 Millas tienen problemas estructurales. Los problemas en La Rita son más graves que en 28 Millas. Se analizaron únicamente estas dos estaciones debido a que el proceso de instalar el “browser” de Oracle tardó tres meses y medio, factor que incidió en que los datos de CORBANA se recibieran hasta el 13 de junio pasado. El análisis del resto de las estaciones será entregado en el Informe Segundo.
2. El porcentaje de datos ausentes en ambas estaciones dificulta la generación y entrega de figuras y tablas de valores medios anuales y mensuales para las variables meteorológicas de interés. Esos valores medios y la información meteorológica de valores extremos podrían ser de baja confiabilidad. De igual manera, este problema dificulta el cálculo de estadísticos y funciones descriptivas que dependen de la distribución en tiempo de los datos (por ejemplo, funciones de auto-correlación y correlación cruzada). Tanto el cálculo de los estadísticos como de las funciones se podría hacer únicamente en los tramos donde los datos cumplan las condiciones de series de tiempo.

Las acciones recomendadas en este aspecto son:

1. Realizar estudios adicionales para evaluar la confiabilidad de los valores registrados en las series de tiempo de las estaciones La Rita y 28 Millas.
2. Acompañar las figuras y tablas de valores medios y de valores extremos con el número de datos presentes utilizados en el cálculo.
3. Como el esquema original para el trasiego de información entre el CIGEFI y CORBANA no funcionó, entregar los productos tabulados en la base de datos MySQL a CORBANA en formato texto con los delimitadores de campo y de registro adecuados para que puedan ser incorporados a BANACLIMA con facilidad.

2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA

En este aspecto se determinó que:

1. No hay homogeneidad en la altura de algunos de los sensores (precipitación, temperatura, humedad relativa y rapidez y dirección del viento) de acuerdo a lo establecido de manera estándar por organismos internacionales, como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que regulan las observaciones de parámetros meteorológicos en estaciones automáticas.
2. En relación con la localización de las estaciones y la altura de los anemómetros, la vegetación (la plantación de banano) es un obstáculo para la medición del viento ya que tiene una altura parecida a la del anemómetro; lo anterior provoca valores turbulentos no deseados e impide la comparación con valores normales a 10 m.

Algunos aspectos que resaltan como recomendaciones son:

1. La gran altura de las torres, alrededor de 30 m, en donde están colocados los instrumentos puede ser un elemento útil para realizar estudios de perfiles de propiedades atmosféricas, por ejemplo, perfiles de temperaturas y velocidad del viento, factores que pueden ofrecer importante información de campo en las plantaciones de banano.
2. La utilización de dos tecnologías diferentes (Campbell y Davis) es otra causa de heterogeneidad en la toma de las mediciones de manera que se debe homogenizar el instrumental.

3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

En especial:

1. Se está en proceso de analizar por parte del equipo de investigadores del CIGEFI, los inventarios suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) para proceder a seleccionar y solicitar la información correspondiente a los registros meteorológicos a fin de complementar la información meteorológica e hidrológica disponible en el país para realizar el estudio propuesto.
2. Algunos aspectos que deberán ser tomados en cuenta en esta selección es la distribución geográfica de las estaciones, la amplitud de sus registros y la cantidad de variables meteorológicas que éstas miden. El proceso anterior debe considerar también su cercanía con las estaciones que maneja CORBANA.
3. Se sugiere validar también las series de tiempo obtenidas de bases de datos de dominio público con datos de estaciones en la región con el fin de identificar posibles sesgos y/o errores sistemáticos de otro tipo antes de incorporarlas al análisis climático.

4. Rescate de Datos Históricos

Es necesario:

1. Identificar mecanismos de coordinación institucional entre el CIGEFI y CORBANA que faciliten el acceso a fuentes de información internas y externas a fin de continuar con la investigación respectiva.
2. Proveer en el caso de datos históricos de otras compañías bananeras la información complementaria de las estaciones (metadatos).

5. Hidro-meteorología

Este componente identificó los siguientes aspectos:

1. Análisis preliminares de datos de precipitación de diversas fuentes confirman que la Vertiente Caribe de Costa Rica tiene un modo de oscilación separado del modo predominante de la costa Pacífica, el cual, se conoce que está relacionado con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Si se confirma que el clima en la Vertiente Caribe costarricense tiene una componente importante relacionada con procesos locales, esto tiene implicaciones para el estudio de la variabilidad y de los efectos del cambio climático en la

región. Por ejemplo, el uso de los datos crudos de los modelos de circulación general (MCG) estarían restringidos, ya que estos modelos tienen una resolución muy gruesa para capturar los rasgos del clima local.

2. La cobertura espacial y temporal de las estaciones de caudal analizadas no es suficiente para hacer un análisis retrospectivo de la hidro-meteorología de la región.

Se recomiendan las siguientes acciones:

1. El cambio de escala de la información de los MCG por medio de modelos de área limitada ya que tiene el potencial de permitir capturar estas características climáticas locales.

2. Utilizar los datos disponibles para calibrar un modelo hidrológico distribuido para estudiar la variabilidad hidrológica de la zona.

6. Modelos Dinámicos

La meta de los experimentos numéricos realizados es determinar las condiciones físicas del modelo MM5 que mejor capturan los detalles observados en las variables atmosféricas sobre la zona. Se determinó que:

1. En algunos experimentos la precipitación simulada en partes de la región Caribe bajo los efectos de un frente frío es buena, indicando que el modelo es capaz de simular adecuadamente la interacción flujo-montaña en esta zona.

2. Fenómenos atmosféricos como el ciclo diurno, la brisa de mar y montaña y la incursión de masas de aire frío en el Caribe de Costa Rica son elementos muy importantes para determinar el clima y variabilidad climática en esta zona, por lo que se sugiere complementar este trabajo con un número mayor de experimentos bajo diferentes mecanismos de forzamiento regional como por ejemplo, ENOS, el veranillo, y el impacto de huracanes en la zona.

3. Un aspecto que se resalta en este componente (y en el de hidro-meteorología discutida arriba) es la conveniencia de usar métodos de reducción de escala para el estudio del clima y la variabilidad climática en la zona de interés.

7. Aspectos Académicos y Administrativos

La fecha oficial de inicio del proyecto es el 1 de febrero de 2011. El primer pago por parte de CORBANA a la UCR se recibió el día 16 de marzo de 2011. El proyecto forma parte de las actividades de investigación del CIGEFI en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR y tiene el número de registro VI-805-B0-402.

Recomendación Especial

Considerando lo encontrado en esta primera fase del proyecto y para iniciar la participación de personal de CORBANA en las actividades del mismo, en el manejo de bases de datos y control de calidad de las observaciones meteorológicas y en el análisis básico de esta información meteorológica, el CIGEFI recomienda y propone a CORBANA la realización de un Taller de Capacitación y Entrenamiento a organizarse en los próximos tres meses de acuerdo a fechas y temario desarrollados de común acuerdo. Es importante comenzar a preparar la información sobre productividad histórica del banano en la región para que sea analizada conjuntamente por personal del CIGEFI y CORBANA durante el Taller.

I. Introducción General

El documento, en adelante denominado “el proyecto”, presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), para realizar una investigación contratada a esta Corporación se organizó en tres partes, la Parte I con la Propuesta Científica, la Parte II con la Propuesta Económica y la Parte III con los detalles del Cronograma de Actividades, Entrega de Productos y Pagos. El presente informe se entrega en cumplimiento de la Parte III del Cronograma de Actividades, el cual ha sido actualizado para que el periodo de ejecución del proyecto corresponda con la firma y fechas legales del contrato por parte de las instituciones participantes (1 de febrero de 2011). El Informe Primero (IP) ha sido organizado de la siguiente manera. En la siguiente sección se presentan algunos detalles de los aspectos que dieron origen científico al proyecto. En la sección III se discuten en orden lógico las actividades, los avances realizados y los productos derivados en cada una de las diferentes componentes que han sido llevadas a cabo durante febrero-setiembre 2011, periodo al que corresponde este informe. Primero, se presentan detalles de la investigación para cada componente o actividad del proyecto, incluyendo acciones y recomendaciones; luego al final de esa sección, aparecen las condiciones académicas y administrativas en que se realiza esta investigación en la Universidad de Costa Rica. La integración e interpretación de los avances del proyecto se detallan en la sección IV de Conclusiones y Recomendaciones seguido de una Recomendación Especial (sección V). Se incluyen luego los Agradecimientos (Sección VI), las Referencias (Sección VII; artículos disponibles en cigefi@cigefi.ucr.ac.cr) y el Cronograma de Actividades Actualizado en la Sección VIII. El Personal Responsable de la investigación asociado al CIGEFI aparece en la Sección IX al final de este IP.

II. Fundamentación Científica del Informe Primero

Los aspectos que determinan la base científica de este IP, como el clima, la variabilidad y el cambio climático regional, la fundamentación teórica del proyecto, los datos y métodos de análisis, el dominio regional de trabajo, los modelos atmosféricos e hidrológicos a utilizar y el proceso de reducción de escala, la infraestructura computacional existente en el CIGEFI y otros aspectos relacionados con las fuentes de referencia e información histórica fueron descritos con gran detalle en el proyecto presentado a la

Corporación y no serán repetidos en este Informe. En los temas mencionados arriba solamente se discuten e incluyen los avances científicos encontrados en cada uno de ellos, desde el momento en que fue presentada la propuesta a CORBANA hasta la fecha de presentación de este IP.

III. Avances, Actividades y Productos

1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

Series de tiempo de precipitación de las estaciones con muestreo semi-horario: La Rita y 28 Millas

i) Introducción

Una de las etapas básicas del proyecto es reproducir la base de datos BANACLIMA a un sistema de base de datos relacionales en el CIGEFI. Para el efecto se escogió MySQL, que es el más usado entre los sistemas de software libre existentes. Para el montaje, inicialmente se diseñó un esquema centrado en la herramienta de migración de MySQL. Esta herramienta puede acceder a bases de datos instaladas en otros sistemas (entre ellos Oracle), transformarlas y almacenarlas como bases de datos en MySQL. En este informe se explica la razón por la que este esquema no funcionó y cómo se logró eventualmente montar BANACLIMA en MySQL. También se dan los resultados del control de calidad básico de las series de precipitación de las dos estaciones con muestreo semi-horario: La Rita y 28 Millas. El análisis del resto de las estaciones será entregado en el Informe Segundo (IS).

ii) Información general de la base de datos BANACLIMA

La base de datos contiene información de once estaciones meteorológicas automáticas que se describen en la tabla CLMMAEST_BK (Tabla 1.1). La tercera columna da la fecha de inicio de ambas estaciones como 2004-10-19, sin embargo el archivo enviado por CORBANA contiene datos desde 2001-01-01 00:00:00 y 2003-09-12 09:31:00 para La Rita y 28 Millas, respectivamente.

iii) Detalles generales del archivo recibido con la información de BANACLIMA

La información meteorológica se recibió en un archivo de formato texto llamado CIGEFI.txt con una extensión de 2,9 GB. Los 5454223 registros ocupan un número variable de líneas de 100 caracteres cada una y vienen separados por una línea de 100 espacios en blanco. Los caracteres CR LF (retorno de carro y nueva línea) marcan el fin de cada línea. Un registro está compuesto de 40 campos separados por comas y las entradas de cada campo están delimitadas por comillas dobles. Los números en punto flotante usan el punto decimal y la coma se utiliza para separar los miles y sus múltiplos. Al final del archivo se detectó una línea con información espuria con el texto “unknowncommandbeginning "where ano<...” - rest of line ignored.”, la cual fue eliminada.

COD_ESTACION	DES_ESTACIÓN	FECHA_INICIO	COD_FINCA INSTALADA	TIPO	ESTADO
1	La Rita	19/10/04	249	D	A
2	28 Millas	19/10/04	250	D	A
9	Pénjamo	16/12/04	1	C	A
8	Las Valquirias	16/12/04	1	C	A
3	Cartagena	16/12/04	1	C	A
4	Siquirres	16/12/04	1	C	A
5	Limofrut B	16/12/04	1	C	A
6	Agrotubérculos	16/12/04	1	C	A
7	PAIS	16/12/04	1	C	A
10	Islas	14/04/08	1	C	A
11	Chirripó	14/04/08	1	C	A

Tabla 1.1 Metadatos de las once estaciones en BANACLIMA con D: tecnología Davis, C: tecnología Campbell y A: activa.

iv) Transformación del archivo CIGEFI.txt

El sistema de base de datos relacional MySQL no puede leer el archivo CIGEFI.txt porque espera que cada registro ocupe una sola línea. Además la presencia de comas en el contenido de algunos campos confunde la separación de los campos por comas. Los delimitadores de campo también causaron problemas porque se usan opcionalmente en MySQL únicamente para identificar los campos cuyo contenido son tiras de caracteres y nunca para campos de punto flotante. Para complicar más las cosas, algunos campos presentaban dos dobles comillas como delimitadores. Después de muchas pruebas finalmente se elaboró el siguiente esquema para transformar el archivo:

1. Sustituir los delimitadores de línea CR LF por LF (programa dos2unix).
2. Cambiar el formato para que los registros ocupen una sola línea (pegasen.pl).
3. Eliminar los nombres de los campos (head).
4. Cambiar los delimitadores de campo de coma a tabulación ('\t').
5. Eliminar las dobles comillas como delimitadores de campo.
6. Sustituir los campos nulos ("") por '\N'.
7. Quitar los espacios en blanco al final de los registros.
8. Prescindir de los espacios en blanco al inicio de los campos.
9. Eliminar las comas como separadores de miles.

Los pasos 4 a 9 se realizaron con el archivo de comandos en PERL quitacom.pl. El archivo final "final.txt" tiene una extensión de 1,1 GB y la forma final de los registros se muestra en la Tabla 1.2. La tabla en MySQL se definió con campos de tipo número entero o de cadena de caracteres. Los campos de punto flotante se pueden obtener luego con el comando:

```
mysql> alter table cpreci30 modify ind_precipitacion float.
```

Los datos de CIGEFI.txt se incorporaron a la tabla corbtextori en MySQL.

Primer registro de CIGEFI.txt										
"1","1","2001-01-12 07:00:00","2001","1","2","22.30","0.00","0","93.00","0",										
"0.28","135.00","0","88.00","0.00","","","0","","","","","","","","","","",										
,"","","2001-01-12 00:00:00"," 88.00","2001","","","","","",""										
Primer registro de final.txt										
1	1	2001-01-12 07:00:00	2001	1	2	22.30	0.00	0		
\N	\N	\N	\N	\N	\N	\N	\N	\N	\N	\N
\N		2001-01-12 00:00:00	88.00	2001	\N	\N	\N	\N	\N	\N

Tabla 1.2 Transformación de un registro a un formato compatible con MySQL

v) Datos generales de corbtextori

La Tabla 1.3 muestra el número de registros y las fechas de inicio y fin de los datos crudos de la base de datos corbtextori.

Estación	No. Registros	Inicio	Fin
1	247988	2001-01-01 00:00:00	2011-02-20 22:00:00
2	313123	2003-09-12 09:31:00	2011-02-18 18:00:00
3	620198	2005-03-16 17:25:00	2011-02-20 23:00:00
4	608771	2005-03-11 15:55:00	2011-02-20 22:50:00
5	613422	2005-03-11 15:45:00	2011-02-20 22:50:00
6	603416	2005-03-31 15:50:00	2011-02-20 22:50:00
7	602454	2005-03-11 16:00:00	2011-02-20 22:55:00
8	622465	2005-03-16 17:25:00	2011-02-20 22:50:00
9	623317	2005-03-16 17:25:00	2011-02-20 22:50:00
10	300318	2008-01-01 12:00:00	2011-02-20 22:50:00
11	298750	2008-01-01 12:00:00	2011-02-20 22:50:00

Tabla 1.3 Número, fecha inicial y fecha final de los registros en corbtextori.

vi) Extracción de las series de tiempo de las dos estaciones con muestreo semi-horario

Se conocen como series de tiempo las secuencias ordenadas en el tiempo de números muestreados a intervalos regulares. Los datos meteorológicos de las estaciones La Rita y 28 Millas tienen interrupciones en la continuidad del registro e intervalos donde el muestro se ha realizado a intervalos menores de 30 minutos. Las series de tiempo depuradas son indispensables para los estudios posteriores.

Descripción del proceso de extracción

El proceso para extraer las dos series de tiempo de precipitación es:

1. Seleccionar la fecha del campo `fecha_lectura` y la precipitación del campo `ind_precipitacion` para cada una de las dos estaciones a una base de datos llamada `preci30` y a tablas individuales.
2. Identificar, almacenar y eliminar los registros muestreados a intervalos que no corresponden a 30 minutos.
3. Incluir, si es necesario, con el código de dato ausente los registros ausentes del primer y último día de las series para que estos días tengan los 48 valores semi-horarios correspondientes.
4. Identificar y almacenar en una tabla las brechas en la continuidad de la información de las dos series.

5. Generar los registros ausentes de acuerdo a las brechas detectadas e incorporarlos en orden cronológico a la serie de tiempo.

Propiedades de las series de tiempo extraídas

Las propiedades de las series extraídas se resumen en la Tabla 1.4. La entrada Registros anómalos, se refiere a los registros cuyo tiempo de muestreo no es semi-horario y fueron eliminados en el Paso 2. La última entrada es Eficiencia y es el porcentaje de la longitud total de la serie de tiempo relativa a la longitud de los datos crudos.

Propiedad	La Rita	28 Millas
Registros anómalos	97222	190532
Duplicados	1046	0
Añadidos en los extremos	5	24
Número de brechas	18760	2555
Rellenado de brechas	29063	7897
Ausentes	28360	7921
Longitud final	177744	130512
Porcentaje ausentes	15,8	6,1
Fecha inicio	2001-01-01	2003-09-12
Fecha fin	2011-02-20	2011-02-20
Eficiencia (%)	71,7	41,7

Tabla 1.4 Propiedades de las series de tiempo extraídas.

En el caso de la estación La Rita la serie de tiempo final obtenida tiene un longitud que es 71,7% de la longitud de los datos crudos. Además, el 15,8 % de la serie de tiempo final son datos ausentes. Una parte de los datos ausentes en La Rita se debe a que en su inicio la serie es horaria y el primer valor semi-horario aparece el 2003-02-26 07:30:00. La eficiencia de la estación 28 Millas es muy baja debido al número alto de valores anómalos aunque el porcentaje de valores ausentes es 6,1%.

vii) Distribución de los datos ausentes

La brecha predominante es la de un dato aislado. De este tipo de brechas hay 18591 en La Rita y 2486 en 28 Millas. La segunda brecha más abundante es de una hora (tres datos ausentes consecutivos). Las Figuras 1.1 y 1.2 muestran la distribución del número de brechas de acuerdo a su magnitud para brechas de dos o más datos consecutivos. En La

Rita la mayor brecha ocurre del 2002-12-31 al 2003-02-26 y no se muestra en la Figura 1.1. Puede observarse también un pico de 24 horas en esta estación. La distribución en 28 Millas es más regular mostrando una mayor abundancia de brechas menores de 10 horas y un pico, relativamente pequeño comparado con La Rita, a las 31 horas. Nótese que las escalas verticales de las Figuras 1.1 y 1.2 son diferentes.

Los histogramas del número de valores ausentes para los 48 tiempos de muestreo diario se muestran en la Figura 1.3. La estación La Rita tiene valores muy altos, cercanos a 1000 y uniformemente distribuidos para las medias horas. Este comportamiento se debe a los aproximadamente 786 días iniciales de la serie en la que no hay información para las medias horas. El resto necesario para alcanzar el valor de 1000 (200 cuentas aproximadamente), es similar a los valores observados para las horas en punto para las dos estaciones. En 28 Millas el número de datos ausentes en las medias horas siempre es menor que el observado para las horas en punto y en ambos casos hay un ligero aumento monótonico que obtiene los valores más altos antes de la media noche. El comportamiento del histograma del número de valores ausentes registrados en las semanas del año (Figura 1.4) es muy diferente para las dos estaciones y difícil de interpretar. En La Rita durante las primeras ocho semanas se observan frecuencias más altas que en el resto del año pero la semana 22 muestra valores parecidos. La causa podría ser las fiestas de fin de año pero entonces se esperaría que 28 Millas tenga el mismo comportamiento y ese no es el caso. Las frecuencias más altas de valores ausentes en 28 Millas ocurren en la semanas 37 a 41 donde alcanzan valores similares a los de La Rita.

viii) Distribución de las fechas de inicio de las brechas

Las brechas se pueden iniciar en cualquiera de las 24 horas del día con igual probabilidad en las dos estaciones como se puede comprobar en la Figura 1.5. En cambio el histograma de inicio de las brechas por mes es irregular y muy diferente para las dos estaciones (Figura 1.6).

De la Figura 1.6 se puede ver que en 28 Millas se inician más brechas en los meses de octubre a enero, alcanzando un máximo en noviembre. El histograma de La Rita es más regular. Durante los tres primeros meses es más probable que ocurra una brecha con probabilidad parecida en los tres meses. En el resto del año la probabilidad baja pero los

valores se mantienen aproximadamente iguales. La diferencia en comportamiento entre las dos estaciones se debe de nuevo a los 786 días iniciales en La Rita en los cuales sólo hay datos para las horas exactas.

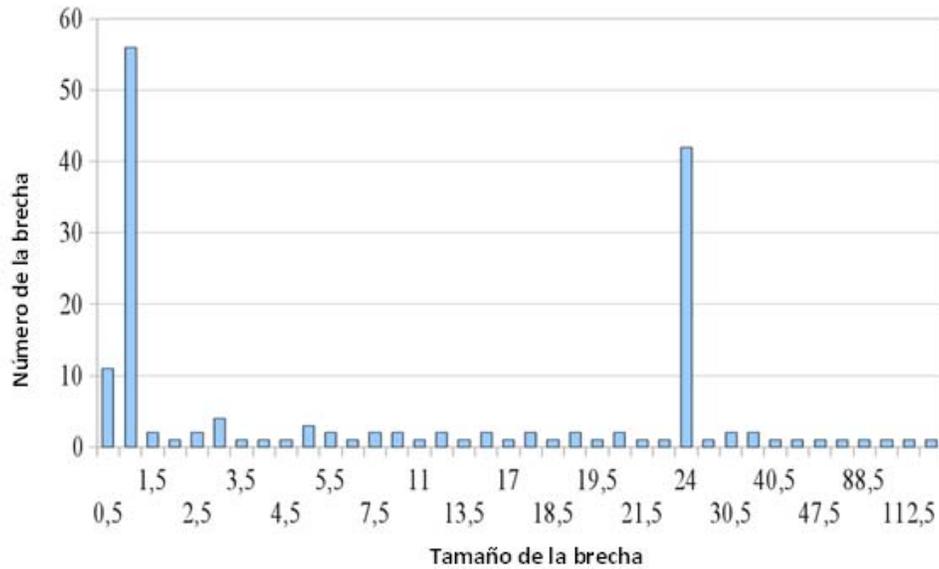


Figura 1.1 Histograma del número de brechas versus el tamaño de la brecha para la estación La Rita.

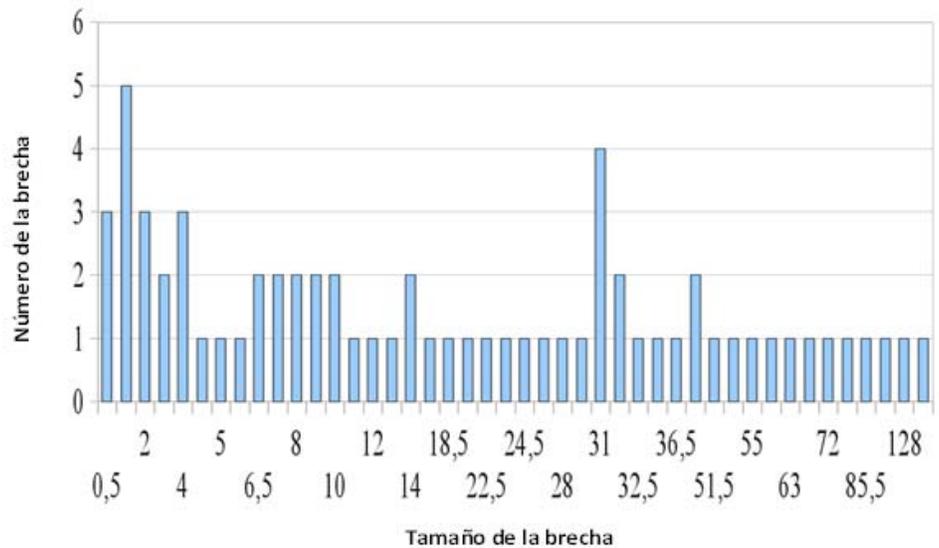


Figura 1.2 Histograma del número de brechas versus el tamaño de la brecha para la estación 28 Millas.

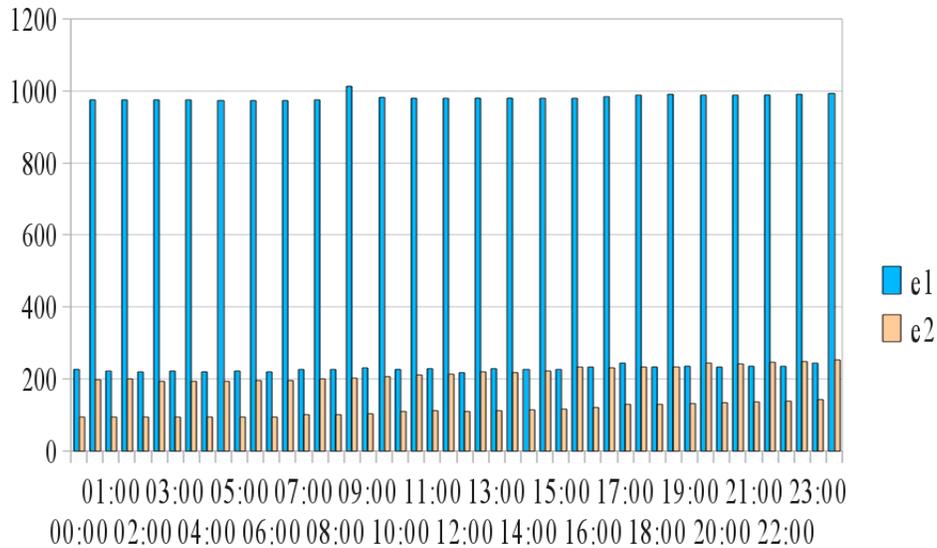


Figura 1.3 Histograma del número de valores ausentes observados en los 48 instantes de muestreo diarios para las estaciones La Rita (e1) y 28 Millas (e2).

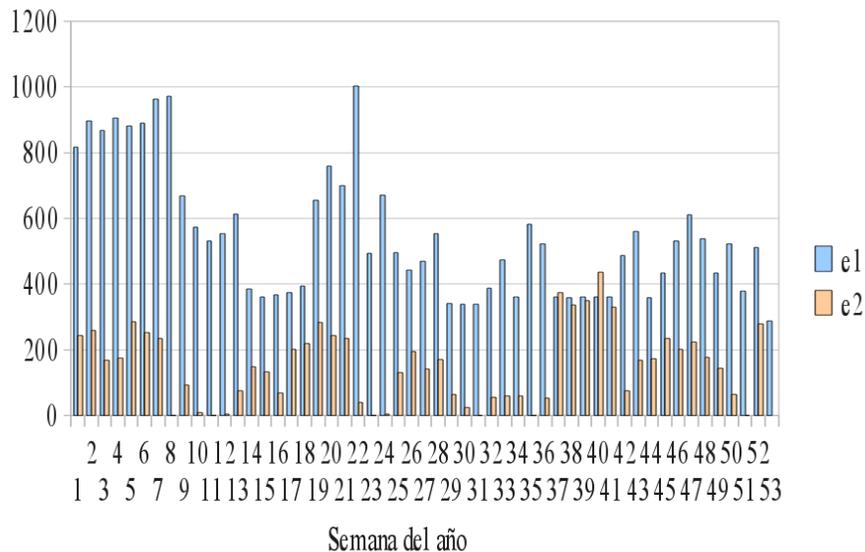


Figura 1.4 Histograma del número de valores ausentes observados en las semanas del año para las estaciones La Rita (e1) y 28 Millas (e2).

ix) Principales problemas encontrados

Inicialmente se había previsto que la migración de la base de datos BANACLIMA al CIGEFI duraría dos semanas pero fueron necesarias ocho semanas para lograrlo. Desde el principio se logró instalar en pocos días el “browser” de Oracle y acceder a BANACLIMA.

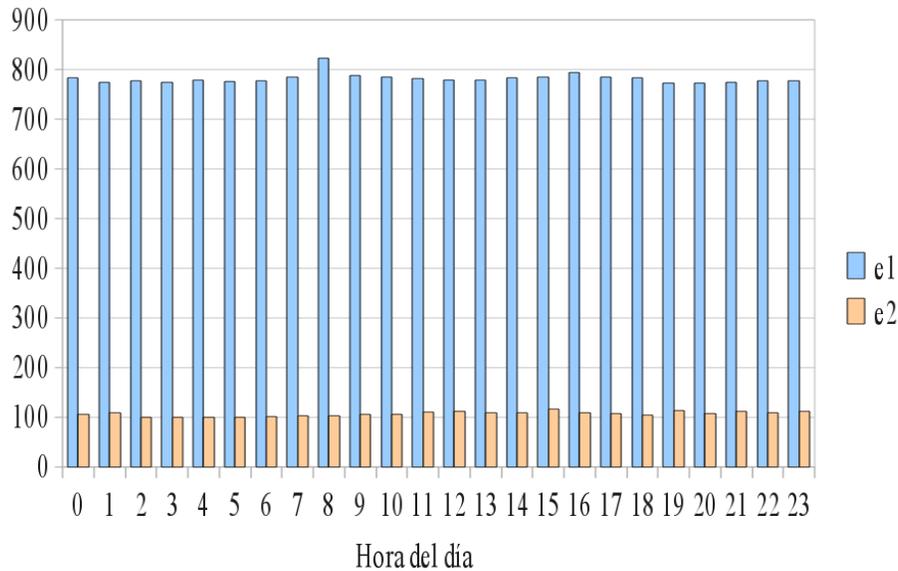


Figura 1.5 Histograma del inicio de las brechas por hora para las estaciones La Rita (e1) y 28 Millas (e2).

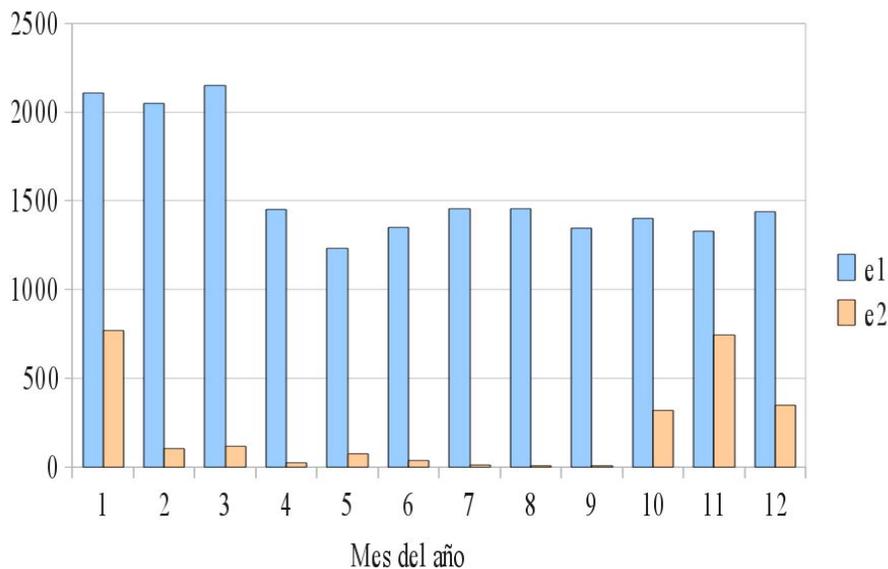


Figura 1.6 Histograma del inicio de las brechas por mes para las estaciones La Rita (e1) y 28 Millas (e2).

Sin embargo, la comunicación vía Internet era muy lenta y poco práctica. Por ejemplo, para bajar una copia texto de la base de datos CLMDETOBS_BK se tardó una hora y quince minutos en una prueba realizada el día 23 de mayo. La herramienta de migración de MySQL no se pudo instalar debido a que la herramienta no aceptó ninguna de

las versiones del Oracle Thin JDBC Driver accesibles en la página web de Oracle. Posiblemente la razón de esto sea que la herramienta de migración de MySQL no ha sido actualizada en los últimos cinco años (este es uno de los pocos problemas que tiene el uso de software libre). Por lo tanto, se abandonó el esquema original planteado para incorporar BANACLIMA a MySQL. Se pidió a CORBANA que proporcionara un archivo texto con la información y este estuvo disponible el 13 de junio. El formato de este archivo resultó incompatible con MySQL y se inició el proceso de transformarlo. Los detalles de la transformación se dan en el cuerpo del informe pero para destacar la dificultad de la tarea basta mencionar que el archivo recibido es de 2,9 GB y el transformado es de 1,1 GB.

x) Conclusiones

1. Los datos de precipitación en las estaciones La Rita y 28 Millas tienen problemas estructurales. Los problemas en La Rita son más graves que en 28 Millas. Se analizaron únicamente estas dos estaciones debido a que el proceso de instalar el “browser” de Oracle tardó tres meses y medio, factor que incidió en que los datos de CORBANA se recibieran hasta el 13 de junio pasado. El análisis del resto de las estaciones será entregado en el Informe Segundo.
2. El porcentaje de datos ausentes en ambas estaciones dificulta la generación y entrega de figuras y tablas de valores medios anuales y mensuales para las variables meteorológicas de interés. Esos valores medios y la información meteorológica de valores extremos podrían ser de baja confiabilidad. De igual manera, este problema dificulta el cálculo de estadísticos y funciones descriptivas que dependen de la distribución en tiempo de los datos (por ejemplo, funciones de auto-correlación y correlación cruzada). Tanto el cálculo de los estadísticos como de las funciones se podría hacer únicamente en los tramos donde los datos cumplan las condiciones de series de tiempo.

xi) Recomendaciones

1. Realizar estudios adicionales para evaluar la confiabilidad de los valores registrados en las series de tiempo de las estaciones La Rita y 28 Millas.
2. Acompañar las figuras y tablas de valores medios y extremos con el número de datos presentes utilizados en el cálculo.

3. Como el esquema original para el trasiego de información entre el CIGEFI y CORBANA no funcionó, entregar los productos tabulados en la base de datos en MySQL a CORBANA en formato texto con los delimitadores de campo y de registro adecuados para que puedan ser incorporados a BANACLIMA con facilidad.

2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA

i) Introducción

El 29 de marzo y el 26-27 de abril de 2011 se realizaron dos giras usando transporte de la Universidad de Costa Rica a las estaciones meteorológicas de CORBANA, en compañía del Ing. Eduardo Soto, funcionario de esta empresa. Primero se visitaron las estaciones Islas, Pénjamo, Las Valquirias, La Rita y Cartagena el 29 de marzo. El 26 y 27 de abril se visitaron PAIS (Proyecto Agroindustrial de Sixaola S. A.), Agrotubérculos, Chirripó, Limofrut B y 28 Millas. El objetivo de estas visitas era observar y recopilar información de los sensores y de la ubicación de la red de estaciones meteorológicas de CORBANA. Para realizar lo anterior se contó con una cámara fotográfica Sony modelo DSC-W170 para tomar fotos y videos de los alrededores de las estaciones meteorológicas para identificar posibles obstáculos, vegetación, edificios, etc., que impidan la libre observación de las propiedades atmosféricas, una cinta métrica para medir la altura de los sensores y un receptor satelital Garmin GPS-V para determinar las coordenadas geográficas y la altitud de las estaciones. Se intentó obtener información de los sensores (por ejemplo, tipo y modelo) pero esta tarea no se pudo realizar debido a la aglomeración de cables en las casetillas y la falta de etiquetas dificultó la identificación del sensor. La manipulación de cables en ese momento pudo haber causado la desconexión de algunos de ellos, provocando problemas en el funcionamiento del instrumental. El Ing. Soto hizo llegar posteriormente vía correo electrónico las especificaciones del instrumental usado en las estaciones.

La mayoría de las estaciones se encuentran ubicadas, al menos visualmente, en zonas de topografía plana, pero no es posible observar la potencial presencia de obstáculos por encima de las plantaciones de banano (por ejemplo, cuerpos de agua, cercanía a la costa, o accidentes topográficos importantes).

El informe de esta parte se basa considerando solamente el sitio o lugar de emplazamiento de cada una de las estaciones meteorológicas. Por el momento no se hace

referencia a otros puntos topográficos que pudieran tener alguna influencia en el dato medido *in situ*. La propuesta al respecto es realizar otras giras en el futuro cercano para determinar todos los aspectos relativos al emplazamiento de las estaciones.

ii) Información relacionada con el equipo y ubicación de las estaciones meteorológicas

El acceso a las estaciones no fue del todo libre porque en algunas de las fincas bananeras se dispone de una casetilla con guarda y portón de aguja, de manera que al entrar hay que identificarse. En las giras realizadas, la participación del Ing. Soto permitió el acceso sin dificultades.

Nombre de la estación (datalogger) /sensor	Lluvia	Temperatura y humedad relativa	Rapidez y dirección viento	Radiación global	Radiación quantum	Temperatura y humedad del suelo	Humedad de la hoja
Islas (CR1000)	x	x	x	x	x	x	x
Pénjamo (CR10X)	x	x	x	x		x	x
Las Valquirias (CR10X)	x	x	x	x		x	x
La Rita (Davis)	x	x	x	x			
Cartagena (CR10X)	x	x	x	x		x	x
PAIS (CR10X)	x	x	x	x		x	x
Agrotubérculos (CR10X)	x	x	x	x		x	x
Chirripó (CR1000)	x	x	x	x	x	x	x
Limofrut B (CR10X)	x	x	x	x		x	x
28 Millas (Davis)	x	x	x	x			x
Siquirres (CR10x)	x	x	x	x		x	x

Tabla 2.1 Nombre de la estación, “datalogger” y sensores que utiliza cada estación.

Instrumental de las estaciones meteorológicas

Casi todas las estaciones utilizan equipo Campbell (<http://www.campbellsci.com>) con dos modelos diferentes de sistemas de adquisición de datos o “datalogger” (CR1000 y CR10X), excepto La Rita y 28 Millas que utilizan tecnología Davis (<http://www.davisnet.com>).

En la Tabla 2.1 se identifica el nombre de la estación, el tipo de “datalogger” y los sensores utilizados por cada una de las estaciones meteorológicas. Una “x” y un espacio en blanco en esa tabla significan la presencia y ausencia del sensor, respectivamente. El equipo Campbell se encuentra instalado en torres que sobrepasan los 10 m (aproximadamente unos 30 m), no así las Davis (2,5 m).

Ubicación de las estaciones y altura de los sensores

En la Tabla 2.2 se muestran las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones según mediciones hechas por CORBANA y el CIGEFI. Los valores de latitud y longitud (positivos hacia el norte del Ecuador y este de Greenwich, respectivamente) son muy similares, es decir, las diferencias no son importantes para efectos de este estudio. Además de lo anterior se midió la altura de cada sensor para cada una de las estaciones meteorológicas (ver Tabla 2.3).

Equipo de comunicación

La red de las estaciones meteorológicas instaladas en las fincas bananeras utiliza un sistema MikroticWiFi para transmisión de datos. La empresa REICO (Redes Inalámbricas de Costa Rica S.A) se encarga de darle mantenimiento a este sistema cuando aparecen problemas y con apoyo de la empresa Campbell le dan también mantenimiento al instrumental meteorológico Campbell (preventivo cada seis meses y correctivo cuando ocurre algún problema en el equipo).

De acuerdo con el Ing. Soto la estación Campbell falla muy poco, por el contrario parece que hay más problemas con la transmisión de datos.

Las cajas que contienen los “datalogger” Campbell son muy herméticas y evitan daños debidos a la humedad. En las cajas que contiene el equipo de transmisión de datos en forma inalámbrica se nota oxidación en el interior y las puertas no cierran herméticamente; lo anterior puede causar daños a equipos electrónicos por exceso de humedad. Informes

verbales del Ing. Soto indican que se planea cambiar estas cajas por unas de material plástico.

Emplazamiento de los sensores y de las estaciones meteorológicas

Como factores comunes, ninguna de las estaciones tiene el sensor para registrar la presión atmosférica. Los sensores para la temperatura del suelo están distanciados cuanto menos 20 metros del resto de los instrumentos y dentro de la plantación de banano; los pluviómetros están separados de la estación de 8 a 10 m; los paneles solares, cuando están disponibles, están instalados de forma completamente horizontal y además de los sensores básicos (lluvia, temperatura, humedad relativa, radiación, velocidad y dirección del viento) todas las estaciones marca Campbell, tienen un sensor extra llamado sensor de humedad de hoja.

A continuación se mencionan algunos detalles de las estaciones siguiendo el mismo orden en que fueron visitadas durante las giras realizadas el 29 de marzo de 2011 (Primera Gira) y el 26-27 de abril pasado (Segunda Gira).

Estación	Latitud	Longitud	Latitud CIGEFI	Longitud CIGEFI	Altitud (m) CIGEFI
Islas	10,5583	-83,9679	10,5583	-83,9679	47,0
Pénjamo	10,4308	-83,9062	10,4308	-83,9061	66,7
Las Valquirias	10,4246	-83,6497	10,4246	-83,6498	38,6
La Rita	10,268	-83,7755	10,2679	-83,7756	106,0
Cartagena	10,2644	-83,6375	10,2644	-83,6374	54,3
PAIS	9,5209	-82,6265	9,5208	-82,6265	16,9
Agrotubérculos	9,6604	-82,797	9,6604	-82,7969	15,3
Chirripó	10,0214	-83,2422	10,0213	-83,2421	22,5
Limofrut B	10,0935	-83,2804	10,0934	-83,2805	14,3
28 Millas	10,0979	-83,3758	10,0972	-83,3764	27,0
Siquirres	10,1155	-83,4912	10,1152	-83,4912	49,1

Tabla 2.2 Coordenadas geográficas de cada una de las estaciones.

Estación/ sensor	Lluvia	Temperatura y humedad relativa	Rapidez y dirección viento	Radiación global	Radiación quantum	Humedad del suelo	Temperatura del suelo	Humedad de la hoja
Islas	1,5	3,6	3,7	3,4	3,4	-0,3	-0,3	3,2
Pénjamo	1,5	2,8	3,5	3,5		-0,3	-0,3	2,8
Las Valquirias	1,5	2,6	3,7	3,7		-0,3	-0,3	2,6
La Rita	2,2	2	2,6	2,2		-0,3		
Cartagena	1,5	2,5	3,5	3,4		-0,3	-0,3	2,5
PAIS	2,4	2,4	3,5	3,3		-0,3	-0,3	3
Agrotubér- culos	1,5	2,5	3,4	3,4		-0,3	-0,3	2,4
Chirripó	1,5	3,6	3,6	3,5	3,4	-0,3	-0,3	3,8
Limofrut B	1,5	2,4	3,4	3,3		-0,3	-0,3	2,3
28 Millas	2,2	2	3,2	2,2				2,1
Siquirres	1,5	2,5	3,3	2,2		-0,3	-0,3	2,5
OMM	0,5 a 1,5	1,2 a 2,0	10	*	*	**	***	1,2 a 2,0

* No hay una altura recomendada

** -0,1 a -1,0 m, y más bajo si hay mucha infiltración

*** - 0,05; -0,1; -0,2; -0,5; -1,0 m, medidas adicionales se pueden incluir

Tabla 2.3 Altura (metros) de cada sensor con respecto al nivel del suelo.

Primera Gira: 29 de marzo 2011

Estación Islas



Situada cerca de una pista de aterrizaje para avionetas, Islas es una de las 2 estaciones más nuevas, colocada en el año 2007. Cuenta con dos sensores de radiación, uno de los cuales se le denomina quantum. Está rodeada al norte, este y oeste por plantaciones de

banano mientras que en el sur hay una bodega – hangar de aproximadamente 6 ó 7 metros de altura. Hacia el sureste hay una especie de laguna con dimensiones aproximadas de 12 x 5 metros y un poco más distanciados un par de tanques de almacenamiento de agua y aceite. El anemómetro está a una altura de 3,7 m y apenas sobrepasa la altura de la plantación de banano, la cual está distanciada como máximo unos 10 metros. La estación no tiene panel solar ya que tiene una instalación eléctrica que la alimenta desde el hangar.

Estación Pénjamo



Localizada cerca de oficinas y casas pequeñas, Pénjamo está rodeada al norte por un pequeño sembradío de yuca, al este y sur por plantaciones y al oeste por una de las oficinas, a una distancia aproximada de 25 metros. Los instrumentos son iguales a los que tienen el resto de estaciones Campbell. Hay algunos árboles altos pero no están demasiado cerca.

Estación Las Valquirias



Ubicada en una planta procesadora, Las Valquirias es una de las estaciones que presenta varios obstáculos muy cerca que incluso superan la altura del anemómetro.

Rodeada al norte por la infraestructura de la planta (cuyo techo tiene una altura similar a la altura de los instrumentos), al noroeste por un grupo de árboles altos, al oeste y sur por la plantación y al este por arbustos que finalizan en árboles altos.

Estación La Rita



Instalada dentro de uno de los complejos de laboratorios de CORBANA, esta es una de las dos estaciones cuyos instrumentos son diferentes al resto, es decir tiene instrumental marca Davis. Todos los sensores están a una altura superior a los dos metros. Hay algunos árboles altos que no están demasiado cerca, sin embargo, se considera que el sensor de viento se ve afectado por estos obstáculos.

Estación Cartagena



Está instalada entre 2 bodegas grandes que se ubican aproximadamente a unos 20 metros al este – oeste de la estación. Las alturas de las bodegas son iguales o superiores a la altura del anemómetro. Al sur de la estación se encuentra una plantación. Al norte, a unos

30 – 40 metros, está la calle pública de lastre donde está ubicado un poste con tendido eléctrico.

Segunda Gira: 26 – 27 de abril 2011

Estación PAIS



Ubicada en la región de Sixaola, esta estación tiene sensores colocados a mayor altura que las demás, por ejemplo, el pluviómetro se encuentra a 2,40 m debido a que el terreno se inunda por las crecidas del río. Alrededor de la estación, por la misma razón, el suelo se observaba pantanoso durante la visita. En el frente norte y este, a unos 50 – 75 metros de la estación, se encuentran unas bodegas y un par de tanques de almacenamiento. Al oeste y sur se encuentran plantaciones de banano y un grupo de árboles con alturas superiores a los 3 metros.

Estación Agrotubérculos



Localizada en una planta empacadora, esta estación tiene en un radio de 50 – 75 metros hacia el norte y oeste, la infraestructura de la planta y hacia el sureste una cancha de

fútbol y un arbusto grande. Hacia el este están las plantaciones y hacia el sur, algunas casas y árboles.

Estación Chirripó



Localizada en una planta empacadora, la estación comparte con Islas dos similitudes, es de las más nuevas y tiene instalado el sensor quantum, anteriormente mencionado. En su frente este, a unos 15 – 20 metros está ubicado un contenedor color blanco y una bodega pequeña. Al finalizar la bodega, hay un grupo de árboles de unos cinco metros de altura. Al sur, a unos 10 metros comienza la plantación. Al noroeste a unos 30 metros se observan unas oficinas y el comienzo de la empacadora al norte a una mayor distancia (al menos 75 metros).

Estación Limofrut B



Ubicada detrás de una planta procesadora, la estación está a unos 20 metros al sureste del edificio principal, el cual tiene una altura de aproximadamente 8 metros. Hacia el este

hay algunas edificaciones pequeñas. Al suroeste a unos 50 – 75 metros hay un tanque de almacenamiento. En todas las direcciones con respecto a la estación, hay árboles o arbustos.

Estación 28 Millas



Situada en un área de investigación de CORBANA, esta estación comparte las mismas características en cuanto a equipo que la estación La Rita (tipo Davis). Hacia el este de la estación, hay un gran espacio compuesto por estanques dedicados a la cría de peces. Al sur, a unos 8 metros aproximadamente están unas oficinas y un árbol grande. Al oeste está una calle de lastre y algunos árboles. Al norte hay algunas bodegas.

Estación Siquirres



Esta estación no cumple con algunas de las recomendaciones hechas por la OMM (1993, 2008a). La estación, en sus frentes norte y oeste prácticamente está abrigada por árboles mucho más altos que la altura del anemómetro y a una distancia de unos 4 metros. Además el terreno en sus alrededores, está cubierto por malezas cuya altura en algunos sectores puede ser similar o mayor a la altura que tiene el pluviómetro.

iii) Principales problemas encontrados

1. No existe una altura estándar para los sensores de temperatura, humedad relativa, precipitación y rapidez y dirección del viento con respecto al nivel del suelo.
2. La altura de los anemómetros y la vegetación están aproximadamente al mismo nivel.
3. En tres de las estaciones, Las Valquirias, Limofrut B y Siquirres hay obstáculos (árboles y estructuras) muy cercanos.
4. Existen dos tecnologías en el instrumental de las estaciones, Campbell y Davis, con características diferentes, lo cual hace necesario un estudio comparativo de sus propiedades.

iv) Conclusiones y recomendaciones

Con relación al punto 1 anterior, en la Tabla 2.3 se nota que no hay homogeneidad en las alturas de los sensores. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM 2008b) el pluviómetro debe colocarse a una altura entre 0,5 y 1,5 m. La mayoría de las estaciones están a 1,5 m, que es lo estándar, excepto PAIS, 28 Millas y La Rita. La recomendación es mantener la altura de 1,5 m en las demás estaciones y para el caso de 28 Millas y La Rita, colocar el pluviómetro a 1,5 m de altura respecto al nivel del suelo. Para PAIS, dejar el instrumental, tal como está por las condiciones del lugar (inundaciones). Según OMM (2008c) el sensor de temperatura y humedad debe colocarse entre 1,2 a 2 m de altura. Las alturas de los sensores de las estaciones CORBANA se encuentran en el rango de 2 a 3,6 m. La recomendación que corresponde es instalar los sensores aproximadamente a 2 m. Sin embargo, dado que en las estaciones Davis, el pluviómetro conforma un sistema integrado con el sensor de temperatura, es mejor atender la indicación dada para la altura del pluviómetro, aunque se modifique la altura del sensor de temperatura y humedad. En cuanto al sensor de radiación no existe una altura específica recomendada, entonces es mejor mantener la altura que tiene en este momento.

Con relación a la altura de los anemómetros, la vegetación (la plantación de banano) es un obstáculo para la medición del viento ya que se encuentra a una altura parecida a la del anemómetro, lo anterior provoca valores turbulentos no deseados e impide la comparación con valores normales a 10 m. Según la OMM (2008d) para esta altura el

sensor de viento debe localizarse sobre un terreno plano y abierto y a una distancia de al menos 10 veces la altura del obstáculo más cercano (edificios, árboles y otros).

Este aspecto se agudiza aún más en las estaciones Las Valquirias (la cual se encuentra muy cerca de la planta procesadora), Limofrut B (en donde hay una bodega de 8 m cercana) y Siquirres (rodeada por árboles que impiden la libre observación del viento). La recomendación en todos estos casos es cambiar la altura del anemómetro y la veleta a 10 m y podar los árboles en Siquirres de manera que permita el paso libre del viento.

Cabe mencionar que la gran altura de las torres puede ser un elemento útil para realizar estudios de perfiles de propiedades atmosféricas, por ejemplo, perfiles de temperaturas y velocidad del viento.

La utilización de dos tecnologías diferentes es otra causa de heterogeneidad en la toma de las mediciones. Los sensores Campbell son independientes, es decir se pueden colocar a diferentes alturas. Por el contrario, las Davis (La Rita y 28 Millas) tienen un sistema integrado de sensores, lo anterior provoca que si se altera la altura del pluviómetro automáticamente se altera la altura del sensor de temperatura y humedad. Además de lo anterior, existe una diferencia en cuanto la precisión de los instrumentos, aspecto que debe ser estudiado con algún detalle para el uso adecuado de la información meteorológica. La recomendación es comprar nuevo equipo más acorde con el de las estaciones Campbell, debido a que el modelo de las estaciones Davis utilizado ya ha excedido su expectativa de vida (más de 5 años) y porque este modelo ya se encuentra fuera del mercado.

3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

i) Introducción

Según Alfaro (2008), es muy importante el contar con registros de datos geofísicos *in situ*, principalmente por dos razones. La primera es que ellos permiten validar los datos obtenidos por medio de otras metodologías (por ejemplo, sensores remotos) y la segunda es que estos son útiles a la hora de realizar análisis de ajuste de escala para estudios de impactos locales usando modelos dinámicos o estadísticos. El uso de estos modelos es importante para trabajos relacionados con el cambio y la variabilidad climática, ya que los datos obtenidos con otras técnicas metodológicas son por lo general de una escala espacial y temporal mayor a la que se puede registrar por medio de una estación meteorológica

emplazada en un lugar. Debido a lo anterior, es que se desea integrar a este proyecto el registro de las estaciones meteorológicas que hay principalmente en la Vertiente Caribe de Costa Rica, pertenecientes al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). También se plantea el obtener datos complementarios a los anteriores, de otras bases de datos de dominio público que se describen en la próxima sección.

ii) Estaciones del IMN y del ICE

Como primer paso se solicitó al IMN y al ICE el inventario de las estaciones que han funcionado en la Zona Norte y el Caribe. Luego de recibir esta información, se homologó a partir de la información suministrada, la nomenclatura del tipo de estaciones que han funcionado en ambas instituciones, debido a que son diferentes. En la Tabla 3.1 se muestra la clasificación realizada. Posteriormente, se estudió cuáles estaciones mostraron registros en diferentes periodos históricos y se graficaron para observar su distribución espacial (Figura 3.1). Este paso ayuda en la selección de las estaciones que posteriormente se adquieran de estas instituciones. La Figura 3.2 muestra los resultados de esta clasificación. De la Figura 3.2 se nota que hay un número creciente de estaciones con registros de información hidro-meteorológica a través de los distintos periodos estudiados, el cual decae para los periodos identificados antes del año 1970.

iii) Otras bases de datos

Respecto a la precipitación, se obtuvieron los registros diarios de precipitación del proyecto "Climate Variability and its Impacts in the Mexican, Central American and Caribbean Region" (ver http://www.iai.int/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=68, última visita 19/07/2011). Estos datos cuentan con una resolución espacial de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$, para el periodo 1958-2000 (mayores detalles sobre esta base de datos pueden ser consultados en Magaña *et al.* 1999 y en <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.v0705/>, última visita 19/07/2011). De este mismo proyecto, se obtuvieron los registros mensuales de la

temperatura superficial del aire, con la misma resolución espacial y para el mismo periodo (Figura 3.3).

Se cuenta también con la base de datos mensual de precipitación elaborada por Xie y Arkin (1996; 1997) con resolución espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de enero de 1979 a octubre de 2010, así como también con los datos de la temperatura superficial del mar (TSM) elaborados por Xue *et al.* (2003) y mejorado por Smith *et al.* (2008), para el periodo de enero de 1854 a mayo de 2011 de una rejilla de $2^\circ \times 2^\circ$. Ambos conjuntos de datos están disponibles en el repositorio del Instituto Internacional para la Investigación del Clima y la Sociedad (IRI <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>, última visita 27/06/2011).

Tipo	Variables	Instrumento
V	Viento	NA
PV	Lluvia	1 pluviómetro
TP	Lluvia, temperatura	1 pluviómetro, 1 termómetro de máxima, 1 termómetro de mínima
E-	Temperatura, humedad, viento	NA
E	Lluvia, temperatura, humedad	NA
D-	Lluvia, temperatura, humedad, viento	NA
D+	Lluvia, temperatura, humedad, evaporación	NA
D	Lluvia, temperatura, humedad, viento, radiación	NA
C-	Lluvia, temperatura, humedad, viento, radiación y evaporación	NA
C+	Lluvia, temperatura, humedad, viento, radiación y horas sol	NA
C	Lluvia, temperatura, humedad, viento, radiación, horas sol y evaporación	NA
B-	Lluvia	1 pluviógrafo (ocasionalmente)
	Temperatura	1 termómetro de máxima, 1 termómetro de mínima, 1 termómetro de bulbo seco, 1 termómetro de bulbo húmedo
	Evaporación	1 evaporímetro piché

B+	Lluvia	1 pluviógrafo (ocasionalmente)
	Temperatura	1 termómetro de máxima, 1 termómetro de mínima, 1 termómetro de bulbo seco, 1 termómetro de bulbo húmedo
	Evaporación	1 evaporímetro piché
	Humedad	1 higrómetro
	Horas sol	1 heliógrafo
B	Contiene todos los instrumentos contemplados en las estaciones tipo B+ y B-, en ciertas ocasiones:	
	Humedad	1 higrómetro
	Horas sol	1 heliógrafo
A	Además de todo lo anterior, consta de :	
	Presión	1 barómetro o barógrafo (o ambos)
	Viento	sensores de viento
	Radiación	1 sensor de radiación
	Evaporación	1 evaporímetro piché

Tabla 3.1 [Viene de página 33] Variables que miden cada una de las estaciones encontradas en los inventarios proporcionados por el IMN y el ICE. Debido a que las nomenclaturas no son las mismas en ambas instituciones, estas se homologaron a partir de la información suministrada (Fuente: Elaboración propia basada en datos de estaciones meteorológicas del IMN y el ICE; NA: no se aportó la información por parte de la institución).

iv) Principales problemas encontrados

La elaboración de los inventarios por parte del IMN e ICE fue muy lenta y no se cuenta con información de estas instituciones acerca del costo de la información meteorológica que se desea adquirir.

v) Conclusiones y recomendaciones

1. Se debe analizar por parte del equipo de investigadores, los inventarios suministrados por el IMN y el ICE para proceder a seleccionar y solicitar la información correspondiente

de los registros meteorológicos.

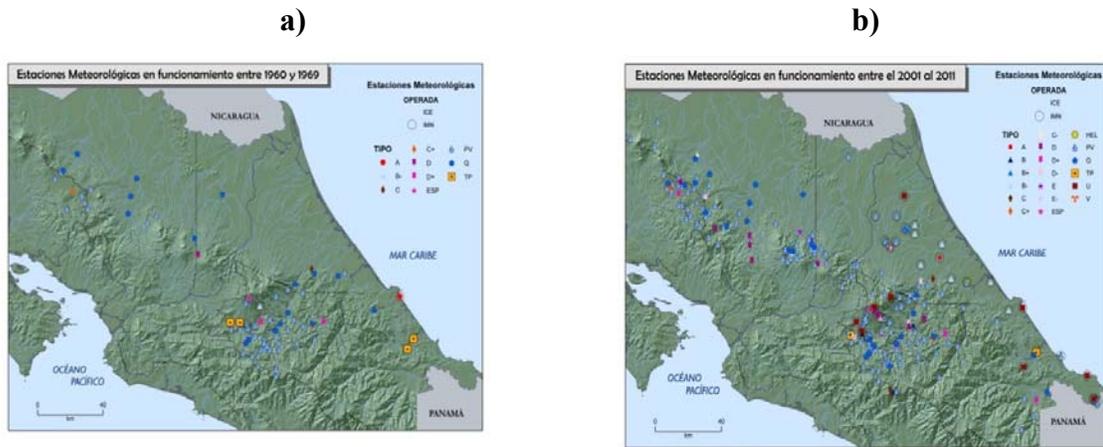


Figura 3.1 Posición geográfica de las distintas estaciones meteorológicas con registros en los periodos a) 1960-1969 y b) 2001-2011. Los símbolos encerrados en un círculo son aquellas operadas por el IMN y las otras por el ICE. Los diferentes símbolos corresponden a los diferentes tipos de estaciones encontradas en los inventarios. Las variables hidro-meteorológicas que miden cada una de ellas se muestran en la Tabla 3.1.

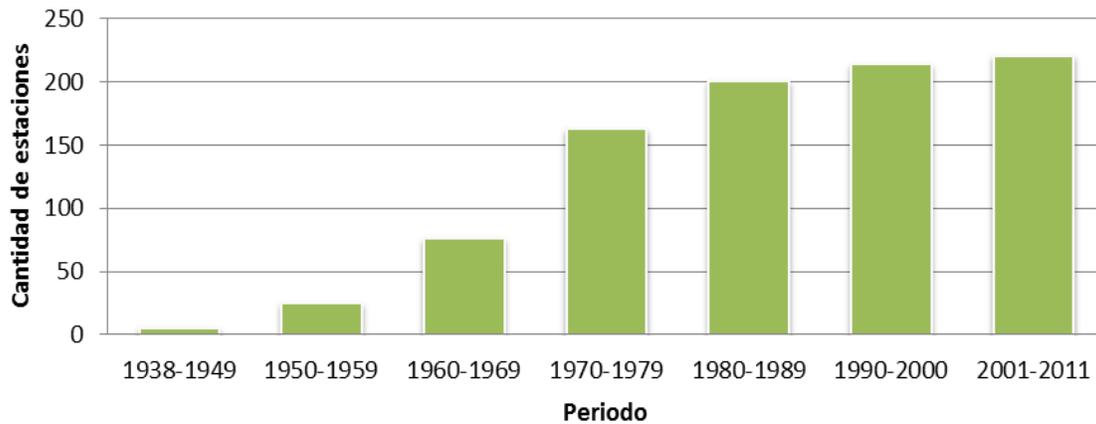


Figura 3.2 Número de estaciones que mostraron registros en los diferentes periodos históricos seleccionados a partir de los inventarios obtenidos del IMN e ICE para la Zona Norte y Caribe de Costa Rica.

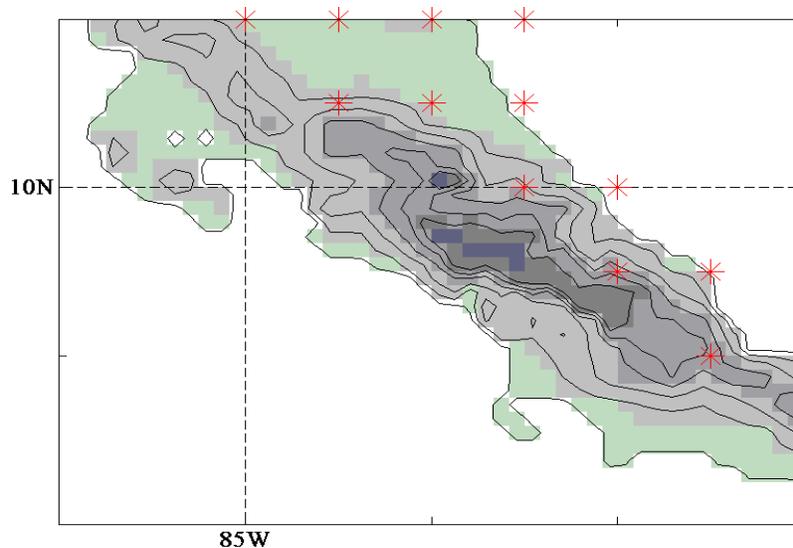


Figura 3.3 Los asteriscos rojos corresponden a la ubicación geográfica de las series de tiempo diarias y mensuales de la Zona Norte y Caribe de Costa Rica, de los conjuntos de datos obtenidos del proyecto CRN073-IAI. Los contornos indican los niveles topográficos de 300, 700, 1100, 1500, 1900 y 3000 m.

2. Algunos aspectos que deberán ser tomados en cuenta en esta selección es la distribución geográfica de las estaciones, la amplitud de sus registros y la cantidad de variables meteorológicas que miden. Debe considerarse también, su cercanía a las estaciones que maneja CORBANA.
3. Se sugiere validar también las series de tiempo obtenidas de bases de datos de dominio público con datos de estaciones en la región con el fin de identificar posibles sesgos y/o errores sistemáticos de otro tipo antes de incorporarlas al análisis climático.

4. Rescate de Datos Históricos

i) Introducción

En el marco del proyecto se ha realizado, en primera instancia, una recopilación de fuentes bibliográficas relacionadas con las observaciones meteorológicas, la actividad bananera y el impacto social de los eventos meteorológicos en la costa caribeña de Costa Rica. La documentación se ubica entre mediados del siglo XIX hasta el presente y estas fuentes incluyen datos proporcionados por periódicos, informes, revistas, libros y publicaciones digitales.

ii) Documentación histórica

En la primera parte del proyecto, el grupo recopiló información de artículos relacionados con las primeras exportaciones de banano del Atlántico, aspectos inherentes al clima y la producción bananera, información de tipo económico, variedades empleadas en el cultivo de banano, investigación científica, protección ambiental, difusión y control de plagas y enfermedades, legislación bananera y documentos referentes a los inicios, al desarrollo y a las actividades de la empresa CORBANA. Además, se recopilaron datos históricos referentes a los antecedentes de las observaciones meteorológicas en la región Caribe de Costa Rica desde mediados del siglo XIX. Estos datos, tanto cualitativos como cuantitativos, fueron registrados en Moín, Puerto Limón, Isla Uvita, Zent, Sipurio, Guápiles, Swamp Mouth, Río Hondo, Dos Novillos y otras localidades de la provincia de Limón donde se habían instalado instrumentos para medir las precipitaciones o la temperatura. También se recuperaron los datos meteorológicos pertenecientes a la Región Caribe que se incluyen en el catastro de estaciones hecho, con ocasión de su centenario, por el IMN (1988).

Se trabaja en la elaboración de un artículo sobre los antecedentes de las observaciones meteorológicas en esta región (1851-1949) basado en la información extraída de las fuentes documentales recuperadas en el transcurso de la investigación.

iii) Principales problemas encontrados

No se ha empezado a investigar fuentes de CORBANA, se requiere la debida autorización para el acceso a fuentes documentales y publicaciones de interés del proyecto.

iv) Conclusiones y recomendaciones

Identificar mecanismos de coordinación institucional entre el CIGEFI y CORBANA para facilitar el acceso a fuentes de información internas y externas a fin de continuar con la investigación respectiva. Proveer en el caso de datos históricos de otras compañías bananeras la información complementaria de las estaciones (metadatos).

5. Hidro-meteorología

Se logró contactar a personal de Estudios Básicos del ICE, el cual proporcionó datos de estaciones de caudal para la Vertiente Caribe de Costa Rica (Tabla 5.1). La

disponibilidad de estos datos se muestra en la Figura 5.1. La localización de estas estaciones se presenta en el mapa de la Figura 3.1.

Número	Nombre	Río	Área km ²	Coordenadas		Elevación m.s.n.m	Fecha de registro (mmyy)	Instrumental
				Latitud	Longitud			
01-01	Bratsi	Sixaola	2120,5	09°33'32"	82°53'26"	35,00	0572-	CR510
01-02	Sixaola	Sixaola	2705,7	09°30'05"	82°36'54"	1,51	0572-0498	Presión
02-02	Pandora	La Estrella	634,5	09°44'12"	82°57'50"	15,00	0673-	CR510
03-01	Asunción	Banano	91,4	09°53'37"	83°10'10"	156,58	0757- 0888	Presión
5-03	Blanco	Blanco	50,0	09°58'49"	83°08'57"	15,00	0876-0495	Presión
6-02	Barbilla	Barbilla	212,0	10°03'58"	83°22'08"	40,00	1068-0498	Presión
6-03	Playa Hermosa	Chirripó	820,6	09°56'06"	83°21'12"	140,00	1181-0491	Presión
08-01	Pacuare	Pacuare	367,4	09°49'41"	83°30'43"	581,94	0858-	CR510
08-03	Dos Montañas	Pacuare	651,8	10°04'45"	83°30'03"	69,50	0663-0497	Presión
09-03	Angostura	Reventazón	1337,1	09°52'58"	83°39'00"	538,00	0653-1000	CR510
09-04	El Humo	Pejibaye	136,5	09°47'36"	83°43'08"	692,00	1153-	Telemétrica
09-05	Montecristo	Macho	64,5	09°44'55"	83°52'00"	1658,57	1055-	Telemétrica
09-08	Belén	Macho	47,4	09°43'54"	83°53'00"	1955,49	0960-	FM
09-09	Oriente	Pejibaye	226,9	09°49'38"	83°41'31"	618,79	0562-	Telemétrica
09-12	Pascua	Reventazón	1673,2	10°01'33"	83°36'29"	247,23	0663-	Telemétrica
09-19	Palomo	Reventazón	371,1	09°46'57"	83°50'23"	1076,56	0771-	Telemétrica
09-22	Tapantí Arriba	Reventazón	187,4	09°41'15"	83°45'20"	1650,00	0170-	A- 35
09-24	La Troya	Navarro	274,6	09°48'43"	83°51'59"	1028,60	0571-	CR510
09-26	Turrialba	Turrialba	76,7	09°54'22"	83°40'17"	570,00	1281-1198	Presión
09-27	Guayabo	Reventazón	1513,4	09°56'14"	83°37'26"	395,00	0883-	Telemétrica
11-02	Carrillo	Sucio	376,3	10°12'56"	83°54'10"	230,00	0887-0895	Presión
12-02	Cariblanco	Sarapiquí	73,0	10°15'16"	84°10'12"	751,82	0564-	Telemétrica
12-03	Puerto Viejo	Sarapiquí	820,9	10°28'27"	84°00'50"	21,87	1168-1198	Presión
12-04	Veracruz	Toro	191,4	10°30'13"	84°13'54"	98,46	01-05-1971	CR510
12-05	Bajos del Toro	Toro	73,1	10°14'42"	84°16'51"	1270,00	0285-0496	Presión
12-07	Río Segundo	Segundo	12,0	10°14'16"	84°18'33"	1416,00	1193-	Telemétrica
12-08	H. Doña Teresa	Cariblanco	21,4	10°16'05"	84°11'01"	800,00	1194-	Telemétrica
12-09	Río Desagüe	Desagüe	12,2	10°14'02"	84°17'02"	1320,00	1095-	Telemétrica
12-13	Río Segundo	Río Segundo	16,2	10°14'00"	84°18'00"	1416,00	0599-	Telemétrica
14-02	Jabillos	San Carlos	551,8	10°22'38"	84°32'27"	123,68	0663-	CR510
14-04	Terrón Colorado	San Carlos	2040,0	10°33'07"	84°29'36"	54,00	1168-	CR510
14-05	Peñas Blancas	Peñas Blancas	292,9	10°27'49"	84°31'34"	65,00	1068-	CR510
14-12	El Cairo	Caño Negro	69,6	10°25'03"	84°46'09"	565,00	0875-	CR510
14-16	Boca Tapada	San Carlos	2998,6	10°40'45"	84°13'58"	22,48	1176-0595	Presión
14-17	Arenal Nuevo	Dos Bocas	12,9	10°32'54"	84°53'01"	580,00	1078-	CR510
14-18	La Argentina	Piedras	12,0	10°33'20"	84°58'35"	556,00	1078-	CR510
14-19	Piedras Negras	Piedras Negras	12,2	10°25'50"	84°44'50"	563,00	1078-1197	FM

14-20	Pocosol	Peñas Blancas	122,6	10°21'10"	84°39'03"	380,00	0880-	Telemétrica
14-25	Río Chiquito	Chiquito	69,1	10°26'35"	84°51'35"	565,00	1175-1199	CR510
16-01	Cote	Cote	16,3	10°35'28"	84°54'14"	647,42	0665-1289	A-35
16-02	Guatuso	Frío	253,4	10°40'27"	84°49'30"	43,89	1068-	CR510
16-04	Venado	La Muerte	53,3	10°33'32"	84°49'30"	210,0	0981-0495	A-35
16-05	Santa Lucía	Frío	33,4	10°36'05"	84°44'46"	240,00	1182-	CR510

Tabla 5.1 [Viene de página 38] Estaciones hidrológicas de la Vertiente Caribe.

Como se puede ver, hay una mayor disponibilidad de datos entre los años 1980 al 2000, aunque es aparente que hay bastantes estaciones (26) en el periodo de 1980 al presente. Esto sería suficiente para establecer climatologías de caudal, pero para estudiar alguna posible señal de cambio climático es necesario revisar las estaciones que tienen los registros más largos. Dentro de las actividades a desarrollar en la obtención de estos datos se debe consultar al ICE acerca de la posible afectación de represas en los caudales de estos ríos. Los represamientos importantes en los ríos hacen que los caudales dejen de mostrar las señales hidro-meteorológicas naturales y más bien muestren el producto de la regulación de los embalses. También, es posible que pequeñas represas afecten los caudales diarios pero tengan un efecto leve sobre los caudales mensuales que son los que se obtendrán para este estudio.

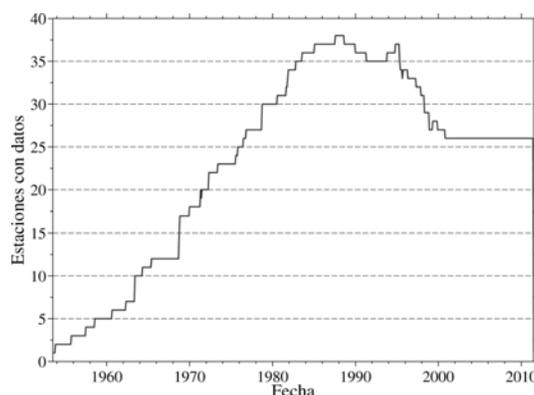


Figura 5.1 Disponibilidad de datos de caudal del Instituto Costarricense de Electricidad (1953-2010).

Con el objetivo de enmarcar la Vertiente Caribe de Costa Rica dentro de la hidrología regional se obtuvieron datos de caudal para Centroamérica de la base de datos “Global River Discharge Database” (GRDD <http://www.rivdis.sr.unh.edu/>, Vörösmarty *et al.* 1996;

1998) y del “Global Runoff Data Centre (GRDC) Streamflow Database” (http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html).

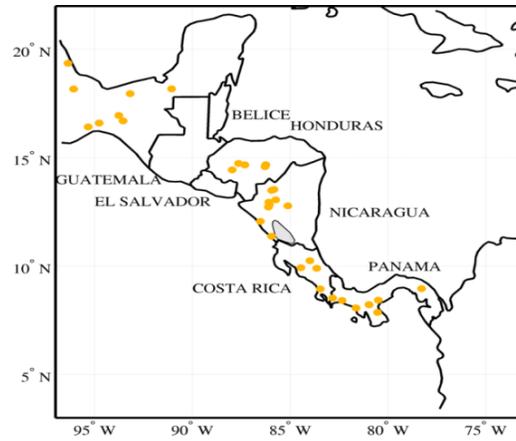


Figura 5.2 Disponibilidad de datos de caudal de GRDD (Global River Discharge Database) y GRDC (Global Runoff Data Centre).

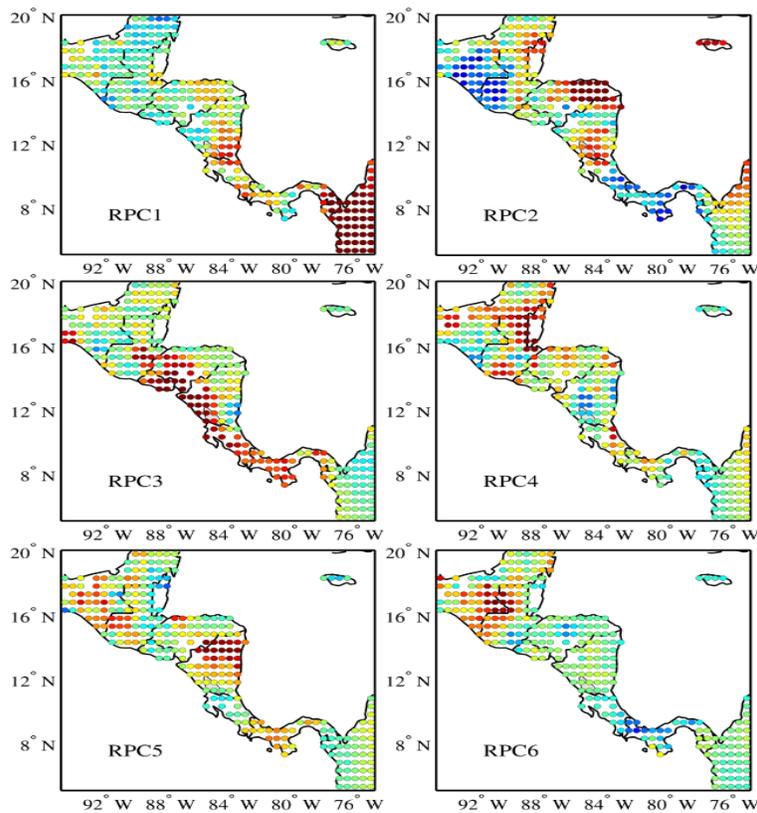


Figura 5.3 Mapa de cargas o “loadings” de análisis de componentes principales rotados a nivel anual de la base de datos CRN073 (Magaña *et al.* 1999).

En la Figura 5.2 se muestran los caudales de estaciones regionales. Como se puede ver en esta figura, la cobertura espacial y temporal de estas estaciones de caudal no es suficiente para hacer un análisis retrospectivo de la hidro-meteorología de la región, así que se planea usar los datos para calibrar un modelo hidrológico distribuido para estudiar la variabilidad hidrológica de la zona.

Si se confirma que el clima en la Vertiente Caribe costarricense tiene una componente importante relacionada con procesos locales, esto tiene implicaciones para el estudio de la variabilidad y de los efectos del cambio climático en la región. Por ejemplo, el uso de los datos crudos de los modelos de circulación general (MCG) estaría restringido, ya que estos modelos tienen una resolución muy gruesa para capturar los rasgos del clima local. El cambio de escala de la información de los MCG por medio de modelos de área limitada tiene el potencial de permitir capturar estas características climáticas locales.

Análisis preliminares de datos de precipitación de diversas fuentes confirman que la Vertiente Caribe de Costa Rica tiene un modo de oscilación separado del modo predominante de la costa Pacífica, el cual se conoce que está relacionado con El Niño-Oscilación del Sur (Figura 5.3). El modo Pacífico es más coherente en signo y más extendido, mientras que el modo Caribe está tele-conectado con otras regiones pero con polos de correlación de diferente signo produciendo focos locales (ver RPC2 y RPC3 en Figura 5.3). El hecho de que las vertientes varíen de diferente forma y de que existan estos modos de variabilidad local implica que puede haber efectos de pequeña escala operando en la región y que las condiciones de cambio climático en zonas aledañas pueden no ser representativas de la zona de estudio. Esto debe confirmarse o descartarse en próximos estudios de la región. Además, es importante determinar si también se da el caso en los caudales (simulados).

6. Modelos Dinámicos

i) Introducción

Los MCG y los modelos de mesoescala (MM) son representaciones matemáticas de los procesos físicos que determinan el comportamiento de la atmósfera y sus interacciones con las otras componentes del sistema climático, en especial, con la parte superior de la litosfera (frontera inferior del modelo), los hielos permanentes (en especial el MCG) y la

hidrosfera (ambos, el MCG y el MM). El MCG y el MM son modelos de dominio global y regional (en la mayor parte de los casos), respectivamente.

Las ecuaciones utilizadas por los modelos, las cuales son derivadas de los principios básicos de conservación de masa, momento y energía, utilizan normalmente variables como el viento (las tres componentes en un sistema cartesiano, “**u**” hacia el este, “**v**” hacia el norte y “**w**” hacia arriba), la presión (**p**), la temperatura (**T**), la densidad del medio (**ρ**) y la humedad (**q**). Rivera y Amador (2008, 2009) describen los sistemas de ecuaciones utilizados generalmente por los MCG (como el ECHAM5.4) y por los MM (el MM5V3.7o el WRF).

En el caso de lo solicitado por CORBANA, el primer paso para el estudio de la distribución espacial de las variables sobre la Vertiente Caribe de Costa Rica, es determinar la climatología de estas variables durante un periodo de muestreo suficientemente largo (25 años aproximadamente) para obtener una mejor estabilidad estadística de sus valores medios (ya sea anuales o mensuales) y medidas robustas de variabilidad espacio-temporal. Como la resolución solicitada por CORBANA es relativamente fina (del orden de 2 km o si es posible menos) y los MCG disponibles tienen normalmente una rejilla de trabajo del orden de varios cientos de km (200-300 km), los métodos propuestos para determinar las variables con la resolución requerida son los de reducción dinámica y reducción estadística de escala (dynamical and statistical downscaling, en inglés).

Amador y Alfaro (2009) discuten en detalle estos métodos y algunas de sus aplicaciones, en especial la manera en que utilizando información con resoluciones espaciales de varios cientos de km y mediante la aplicación de un MM (en este caso se utilizarán el MM5v3.7 y el WRFv3.1) se puede reducir la escala de las variables de interés a 2 km empleando el método dinámico combinado con el método estadístico, según sea conveniente. Rivera y Amador (2008, 2009) presentan aplicaciones y evaluaciones simples del procedimiento de reducción de escala para la región de Centroamérica.

ii) Datos y métodos de análisis

Dominio de trabajo

El dominio de trabajo contempla prácticamente toda la Vertiente Caribe de Costa Rica, así como las regiones marinas cercanas a esta costa del Caribe. Debido a la

continuidad espacial de los sistemas meteorológicos y climáticos que afectan esta zona y a las diversas escalas temporales de estos sistemas, los dominios de trabajo difieren del dominio de interés específico de CORBANA, es decir el relativo a las plantaciones de banano en actividad productiva. El procedimiento a seguir es utilizar un dominio extendido de trabajo (por ejemplo, toda Costa Rica). Lo anterior no es sólo necesario por el método dinámico a emplear, sino que garantiza que los valores obtenidos para el dominio de interés sean físicamente consistentes con la realidad y se disminuyan las incertidumbres asociadas a los datos, las condiciones de frontera y los modelos atmosféricos a utilizar.

Observaciones y datos para análisis e inicialización dinámica

Las observaciones meteorológicas realizadas en los últimos años por CORBANA serán comparadas con datos provenientes de otras estaciones disponibles de la red nacional del IMN, del ICE, o de otra institución que tenga información, hasta donde esto sea posible. Las observaciones empleadas para las evaluaciones de los resultados de los datos de NCEP/NCAR y de los modelos regionales MM5V3.7 o WRF son obtenidas de la base de datos del CIGEFI, conocida como NUMEROSA y que se encuentra en continuo proceso de ampliación y desarrollo. Esta base incluye los siguientes conjuntos de datos (algunos de ellos disponibles en los centros de información global o regional).

1. Estaciones meteorológicas de Centroamérica. Esta información ha sido obtenida por medio de los distintos proyectos de investigación en los que el CIGEFI ha participado, de la base de datos de Global Historical Climatology Network versión 2 (GHCN2, Peterson y Vose 1997) y de diferentes instituciones de la región cuyo personal ha recibido formación académica y profesional en el área de la meteorología en la UCR.
2. Reanálisis (Kalnay *et al.* 1996) de National Center for Environmental Prediction (NCEP) y National Center for Atmospheric Research (NCAR). Este reanálisis brinda información global ordenada en rejillas de 2,5° x 2,5° de resolución horizontal para diferentes variables atmosféricas y a diferentes niveles de altura desde 1947 al presente.
3. Proyecto CRN-073 (IAI, <http://www.iai.int>). Información de precipitación y temperatura media para la región de México, Centroamérica y el Caribe con una resolución de 0,5° x 0,5°.

4. Precipitación de Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP) (Xie y Arkin 1996, 1997). Datos globales mensuales de precipitación ordenados en rejillas de aproximadamente $2,8^{\circ} \times 2,8^{\circ}$.

Para efectos de este trabajo se consideran los datos del Reanálisis de NCEP/NCAR como observaciones, aunque en un sentido estricto esto no es así. Estos datos son un análisis de diferentes campos atmosféricos que se obtienen a partir de la utilización de un modelo global que realiza una asimilación dinámica completa de “todos” los datos obtenidos por medio de redes globales de observación (datos dinámicamente inicializados).

Para complementar las evaluaciones de los resultados y productos se usan además otras bases de información como la del PACS-SONET (Red de Sondeos del Programa para Estudios del Clima Panamericano,

http://www.nssl.noaa.gov/projects/pacs/web/VENEZUELA2005/s_index.html) y en menor grado cerca de las costas del país las del Quikscat (<http://winds.jpl.nasa.gov>; <http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/quikscat/>).

iii) Métodos y actividades

Los procedimientos empleados se pueden dividir en estadísticos, de tipo computacional, los dinámicos (modelos y simulaciones) y finalmente los de información geográfica. Cada método o procedimiento fue descrito en detalle en la propuesta a CORBANA.

iv) Los modelos atmosféricos y el proceso de reducción de escala

El modelo MM5v3.7 y el proceso de reducción de escala

El MM5v3.7 representa la quinta generación del modelo de mesoescala desarrollado en Pennsylvania State University (PSU) y NCAR. Grell *et al.* (1993), al igual que trabajos de Cox *et al.* (1998) y Silva (2000), presentan descripciones generales del modelo MM5v3.7.

El método de ajuste dinámico es un procedimiento para obtener información de alta resolución sobre el tiempo atmosférico o el clima a partir de MCG de relativamente baja resolución. Típicamente, la resolución de estos modelos globales es del orden de 150-300 km de latitud por 150-300 km de longitud. El método de ajuste dinámico utiliza un modelo

de área limitada de alta resolución (modelo climático regional o MCR) con condiciones de frontera como función del tiempo derivadas del MCG. El MCR está dinámicamente inmerso en el modelo global (proceso de anidamiento) para obtener información en escalas menores a las de ese modelo. Los MCR generalmente utilizan dominios de trabajo a nivel regional o sub-regional (por ejemplo $10^6 - 10^7 \text{ km}^2$) con resoluciones de 20 a 50-60 km. Las resoluciones pueden llegar aún a escalas menores, sin embargo, debido a que en estas escalas los procesos físicos no son bien comprendidos, la incertidumbre asociada a los resultados puede aumentar. Este tipo de procedimiento de ajuste dinámico es muy útil y con frecuencia es necesario, cuando se requiere información en escalas locales. Como todo procedimiento en que interviene la incertidumbre o falta de conocimiento sobre la naturaleza de las relaciones entre las distintas componentes del sistema climático, el ajuste dinámico posee algunas ventajas y desventajas. Entre las ventajas más importantes de este método se puede argumentar el hecho de que actualmente los modelos dinámicos incorporan el “estado del arte” en cuanto a la física y dinámica conocida del sistema climático, en especial cuando los resultados provienen de modelos o sistemas acoplados que incluyen los procesos de interacción tierra-océano-atmósfera. Los resultados obtenidos del tiempo o el clima obedecen entonces a relaciones de orden físico y no empírico o estadístico como en el caso de las otras técnicas en que la relación de causalidad no está presente. A pesar de las ventajas de tipo físico y dinámico, la aplicación de este método requiere considerable conocimiento del clima y la variabilidad climática regional, buena experiencia en modelado climático y en general tiene requerimientos altos de uso computacional, en algunos casos, como los necesarios para correr los MCG.

v) Configuración del modelo MM5v3.7

La Figura 6.1 muestra los 5 dominios recomendados para el proceso de ajuste de escala utilizando el MM5v3.7. Las dimensiones horizontales de la rejilla en los 5 dominios son 162 km, 54 km, 18 km, 6 km y 2 km, respectivamente. Las condiciones físicas de este modelo, así como la resolución vertical, serán determinadas durante la investigación para asegurar que las simulaciones numéricas sean lo más realistas posibles.

El MM5v3.7, se ejecutó en el clúster ampliado de Sibú-Ará-Quebé (CIGEFI-UCR) bajo ambiente Linux, utilizando un compilador Fortran 90 de la Portland, con MPI como sistema para la transferencia de mensajes.

vi) Procesos atmosféricos estudiados y experimentos realizados

Ciclo diurno

El objetivo de las labores realizadas ha sido reunir la información necesaria para estudiar el ciclo diurno de algunas variables meteorológicas usando el modelo numérico MM5V3.7. El primer paso fue revisar los datos tomados por la estación meteorológica ubicada en el CIGEFI durante el año 2009, en busca de casos de estudio para simular con el modelo MM5V3.7 y así comparar los datos simulados con los datos observados. Se utilizaron las variables: temperatura, humedad específica, radiación, velocidad del viento y precipitación. Los datos fueron tomados cada 5 minutos pero se usaron promedios cada 15 minutos para eliminar fluctuaciones no deseadas de alta frecuencia. Los casos de estudio fueron seleccionados de la siguiente manera, 1) el día con mayor precipitación dado que el día anterior no precipitara, 2) el día con mayor precipitación dado que el día siguiente no precipitara y 3) los dos días seguidos con mayor precipitación. Los casos anteriores ocurrieron en los días 1) 3 y 4 de setiembre; 2) 6 y 7 de junio y 3) 12 y 13 de junio. La simulación fue realizada para el caso del 3 y 4 de setiembre de 2009 en una computadora del Centro (Guayabi, procesador AMD Phenom II X6 1055T, 6 núcleos), duró aproximadamente 8 horas y los datos de entrada fueron tomados del Reanálisis. Los dominios usados son semejantes a los descritos en la Figura 6.1. Las parametrizaciones empleadas fueron para el caso de convección Grell en los dominios 1, 2 y 3 y MRF para capa límite en todos los dominios.

Actualmente, las labores están enfocadas a comparar los datos producidos por el modelo con los observados para las variables: precipitación, viento, temperatura y humedad específica. Lo anterior para un caso de estudio ocurrido en los días 3 y 4 de setiembre de 2009. El método empleado para la comparación ha sido el siguiente: extraer las series de tiempo de cada variable en cada uno de los 5 puntos de rejilla más cercanos, graficar estas series de tiempo y comparar visualmente con las gráficas realizadas para las series de tiempo observadas. También se ha reunido, revisado y clasificado bibliografía pertinente al

estudio del ciclo diurno de diferentes variables meteorológicas, tanto en los trópicos como en latitudes medias.

Brisa de mar y montaña

La región de estudio en el Caribe tiene fronteras marinas y montañosas, de manera que el estudio de la brisa de mar y montaña es pertinente al estudio del clima y variabilidad climática en esta zona. La poca información que se posee de perfiles observacionales en las áreas descritas hace que este sea un problema que requiere atención y el uso de datos disponibles aunque estos estén en una diferente cuenca oceánica.

Durante el verano del año 2004 se llevó a cabo un programa intensivo para sondear la atmósfera de Centroamérica. En Costa Rica este programa de observación meteorológica es conocido como Ticosonde-NAME 2004 y es resultado de la colaboración entre la NASA, el Experimento del Monzón en América del Norte (NAME, por sus siglas en inglés), el IMN y cuatro instituciones académicas y científicas de nuestro país. Bajo este esquema se cuenta con información de nueve estaciones meteorológicas automáticas, que permiten establecer un perfil de datos continuos desde la orilla del mar en el Pacífico hasta el Valle Central.

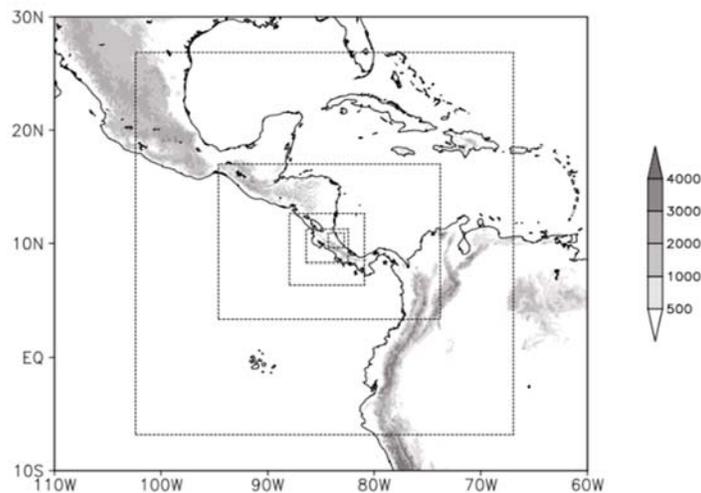


Figura 6.1 Área de estudio mostrando el relieve y los pasos topográficos, así como la configuración aproximada de los dominios que se utilizan para las simulaciones con el MM5v3.7 (Grell *et al.* 1993).

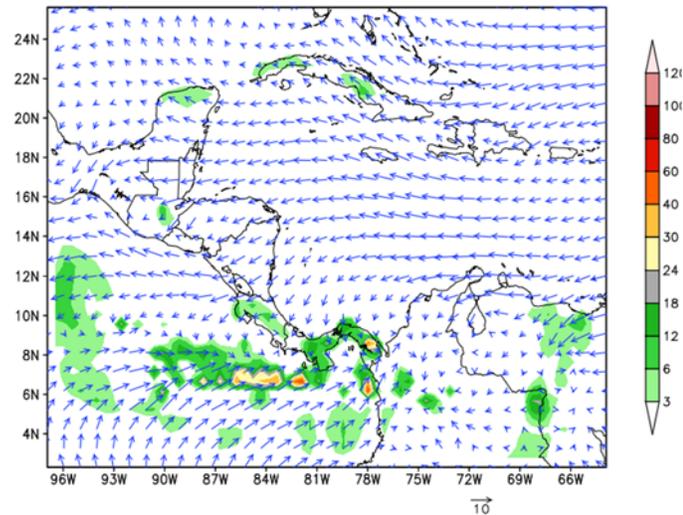


Figura 6.2 Campo de viento a 925 hPa y lluvia acumulada para el día 27 de julio de 2004, con una resolución de 54 km.

Esta información puede usarse para comprender el ciclo diario de diferentes variables meteorológicas, así como los mecanismos físicos predominantes en diferentes tipos de terreno. Este perfil de estaciones nos brinda una cantidad significativa de datos tanto en el espacio como en el tiempo que permite evaluar el desempeño de modelos de predicción numérica. En este caso se planea utilizar el modelo de mesoescala MM5V3.7, con datos fundamentalmente del Reanálisis (Kalnay *et al.* 1996), con el fin de reproducir diferentes aspectos del clima que permitan comparar los datos de las estaciones con las salidas del modelo (Rivera y Amador 2009). El objetivo principal es investigar la estructura y características de la brisa marina en Costa Rica así como la influencia de la corriente en chorro de bajo nivel del Caribe y el veranillo en el desarrollo de la brisa de mar.

La configuración del modelo es semejante a la utilizada en el estudio del ciclo diario. Se utiliza esta configuración debido a que diferentes estudios muestran mejores resultados bajo esta combinación, lo cual quiere decir que se cuenta con más experiencia al utilizarla (Rivera y Amador 2009). Es necesario, sin embargo, tomar en cuenta factores como la geografía del lugar y otras condiciones meteorológicas a la hora de realizar estas combinaciones. Como ejemplo se presenta la Figura 6.2 que muestra un campo de viento a 925 hPa (1 km aproximadamente de altura), así como la lluvia acumulada para el día 27 de julio de 2004 con una resolución de 54 km. Se observan sobre Costa Rica, vientos provenientes de la parte Caribe, además de precipitación escasa sobre la costa Pacífica.

Frentes fríos

El principal objetivo es investigar el impacto de los frentes fríos en la región Caribe de Costa Rica, mediante el uso de MCG y MM. El caso de estudio se seleccionó debido a la sugerencia de personal de CORBANA, quienes indican que uno de estos eventos causó daños importantes en las diferentes fincas de la Compañía en el 2008. Algunos aspectos de este caso fueron presentados en el 3^{er} Congreso Científico-Técnico Bananero Nacional realizado por CORBANA en noviembre de 2009. Los datos usados para inicializar el modelo fueron los del Reanálisis (Kalnay *et al.* 1996) y las comparaciones están siendo realizadas usando la base de datos BANACLIMA de CORBANA (http://www.corbana.co.cr/intro_banaclima.shtml).

Se realizaron múltiples experimentos para simular el frente frío que afectó la zona del Caribe los días 2 y 3 de diciembre de 2008, utilizando el modelo regional de mesoescala MM5V3.7. Rivera y Amador (2009) presentan una aplicación de este MM en Centroamérica. En total se llevaron a cabo 8 simulaciones con diferentes parametrizaciones, con el fin de encontrar la combinación que mejor representa el comportamiento de los frentes fríos en el Caribe, así como cuáles son más eficientes desde el punto de vista computacional. Todas estas simulaciones se realizaron en el clúster Sibú-Ará con 40 procesadores de la línea AMD Opteron con almacenamiento de 4,95 TB y una memoria RAM de 40 GB. En la Tabla 6.1 se muestran las características de algunos experimentos numéricos actualmente en desarrollo.

Algunos de los resultados obtenidos hasta la fecha se presentan en la Figura 6.3. En esta figura se simuló las condiciones de movimiento hacia el Caribe de Costa Rica de un frente frío típico de la época invernal del Hemisferio Norte (2 de diciembre de 2008). Este frente frío es del interés de CORBANA ya que produjo impactos en las plantaciones bananeras de la región del Caribe.

La meta de estos experimentos es determinar las condiciones físicas del modelo MM5V3.7 que mejor capturan los detalles observados en las variables atmosféricas sobre la zona. En las Figuras 6.3a y 6.3b se observan las distribuciones de precipitación para los experimentos 1 y 2 de la Tabla 6.1. Nótese que la precipitación cubre parte de la región Caribe y su interacción con la topografía de la zona es buena, indicando que el modelo es capaz de simular adecuadamente la interacción flujo-montaña y la precipitación asociada.

Experimento	1	2	3	4	5	6
Configuración	Grell/MRF	Grell/GS	KF/MRF	KF/GS	KF2/MRF	KF2/GS
Tiempo de Cómputo (horas - minutos)	20 - 40	22 - 6	20 - 30	22 - 58	21 - 2	23 - 26
Dominio 1 (#puntos) (Tamaño MB)	40 x 49 22,0	40 x 49 23,7	40 x 49 22,0	40 x 49 19,8	40 x 49 18,5	40 x 49 20,0
Dominio 2 (#puntos) (Tamaño MB)	70 x 76 59,2	70 x 76 64,1	70 x 76 59,2	70 x 76 53,4	70 x 76 49,8	70 x 76 53,8
Dominio 3 (#puntos) (Tamaño MB)	109 x 136 164,6	109 x 136 178,1	109 x 136 164,6	109 x 136 148,4	109 x 136 137,2	109 x 136 148,4
Dominio 4 (#puntos) (Tamaño MB)	202 x 262 587,1	202 x 262 635,3	202 x 262 587,1	202 x 262 529,4	202 x 262 489,2	202 x 262 529,4
Dominio 5 (#puntos) (Tamaño MB)	211 x 211 493,9	211 x 211 534,5	211 x 211 493,9	211 x 211 445,4	211 x 211 411,6	211 x 211 445,4

Tabla 6.1 Experimentos numéricos, sus características, tiempo de cómputo y tamaño de los archivos generados. El tiempo de simulación fue de 54 horas y el número de procesadores usados fue 40.

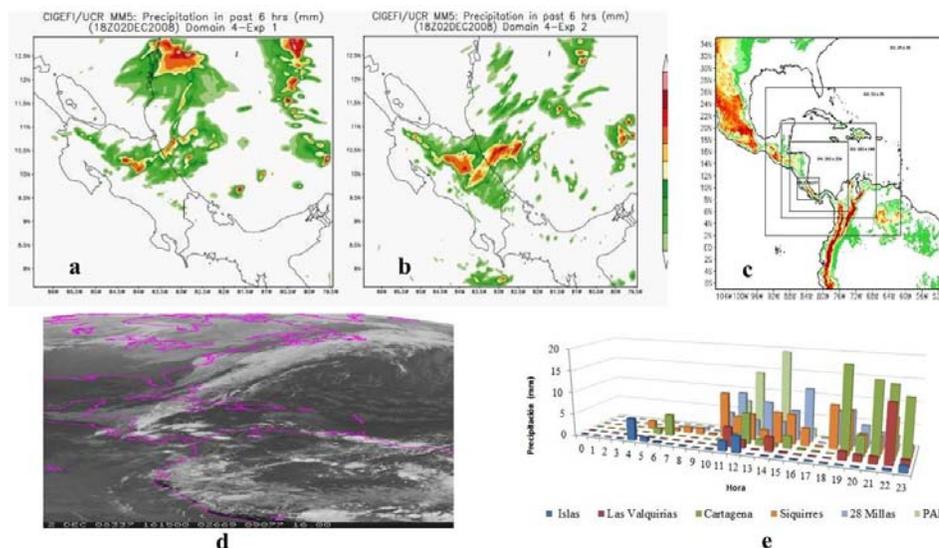


Figura 6.3 a) Resultados del primer experimento con el modelo MM5V3.7 para el dominio número 4 (2 km de resolución), que muestra la precipitación acumulada entre las 6 am y las 12 m hora local. En b) se presentan resultados análogos a los de la parte a) pero para el segundo experimento (Tabla 6.1); c) configuración de los dominios con los que se corrió el modelo MM5V3.7; d) imagen de satélite del GOES 12 del día 2 de diciembre de 2008 a las 10 am hora de Costa Rica (<http://weather.msfc.nasa.gov/GOES/goeseastconus.html>) y e) precipitación horaria para el día 2 de diciembre de 2008 con los datos de algunas de las estaciones de BANACLIMA de CORBANA.

Los dominios usados para esta simulación se presentan en la Figura 6.3c y la imagen de satélite a las 12 GMT para el día y hora simulada se observa en la Figura 6.3d. Para este caso se utilizan observaciones de BANACLIMA para comparación con los resultados del modelo (Figura 6.3e). Un aspecto que se resalta en esta componente y en la de hidro-meteorología es la conveniencia de usar métodos de reducción de escala para el estudio del clima y la variabilidad climática en la zona de interés.

7. Aspectos Académicos y Administrativos

La fecha oficial de inicio del proyecto es el 1 de febrero de 2011. El primer pago por parte de CORBANA a la UCR se recibió el día 16 de marzo de 2011. El proyecto forma parte de las actividades de investigación del CIGEFI en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR y tiene el número de registro VI-805-B0-402.

IV. Conclusiones y Recomendaciones

Se discuten en este Informe Primero los avances, las consideraciones técnicas y científicas para la elaboración final de productos de Clima, Variabilidad Climática y Cambio Climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica, de acuerdo al Cronograma de Actividades Actualizado (sección VIII), propuesto a CORBANA y contenido en el contrato firmado entre CORBANA y la UCR por medio de FUNDEVI. La ejecución técnica y científica del proyecto está a cargo del CIGEFI, UCR. Los objetivos asociados a este Informe son los descritos en el documento del proyecto en lo relativo a las ERTC de CORBANA en la Parte I, punto 7.

Entre las conclusiones y recomendaciones de este Informe Primero están:

1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

1. Los datos de precipitación en las estaciones La Rita y 28 Millas tienen problemas estructurales. Los problemas en La Rita son más graves que en 28 Millas. Se analizaron únicamente estas dos estaciones debido a que el proceso de instalar el “browser” de Oracle tardó tres meses y medio, factor que incidió en que los datos de CORBANA se recibieran hasta el 13 de junio pasado. El análisis del resto de las estaciones será entregado en el Informe Segundo.

2. El porcentaje de datos ausentes en ambas estaciones dificulta la generación y entrega de figuras y tablas de valores medios anuales y mensuales para las variables meteorológicas de interés. Esos valores medios y la información meteorológica de valores extremos podrían ser de baja confiabilidad. De igual manera, este problema dificulta el cálculo de estadísticos y funciones descriptivas que dependen de la distribución en tiempo de los datos (por ejemplo, funciones de auto-correlación y correlación cruzada). Tanto el cálculo de los estadísticos como de las funciones se podría hacer únicamente en los tramos donde los datos cumplan las condiciones de series de tiempo. No se incluyen en este IP todas las tablas de datos faltantes pero pueden ser suministradas más adelante si se requieren. Información parcial sobre este aspecto aparece en la Tabla 1.3 (el porcentaje de ausentes para la Rita es 15,8% y para 28 Millas es 6,1%).

Nótese que estos porcentajes no son los mismos que los de datos válidos para los tiempos de muestreo semi-horarios, los cuales son menores en los dos casos. Debe considerarse que para calcular los estadísticos de la series los datos deben ser válidos a intervalos de tiempo iguales en toda la serie.

Las acciones recomendadas en este aspecto son:

1. Realizar estudios adicionales para evaluar la confiabilidad de los valores registrados en las series de tiempo de las estaciones La Rita y 28 Millas.
2. Acompañar las figuras y tablas de valores medios y de valores extremos con el número de datos presentes utilizados en el cálculo.
3. Como el esquema original para el trasiego de información entre el CIGEFI y CORBANA no funcionó, entregar los productos tabulados en la base de datos en MySQL a CORBANA en formato texto con los delimitadores de campo y de registro adecuados para que puedan ser incorporados a BANACLIMA con facilidad.

2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA

En este aspecto se determinó que:

1. No hay homogeneidad en la altura de algunos de los sensores (precipitación, temperatura, humedad relativa y rapidez y dirección del viento) de acuerdo a lo establecido de manera estándar por organismos internacionales, como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que regulan las observaciones de parámetros meteorológicos en

estaciones automáticas. Según la OMM (2008b) el pluviómetro debe colocarse a una altura entre 0,5 y 1,5 m. La mayoría de las estaciones están a 1,5 m, que es lo usual, excepto PAIS, 28 Millas y La Rita. La recomendación es mantener la altura de 1,5 m en las demás estaciones y para el caso de 28 Millas y La Rita, colocar el pluviómetro en 1,5 m de altura respecto al nivel del suelo. Para PAIS, dejar el instrumental tal como está por las condiciones del lugar (inundaciones). De acuerdo a la OMM (2008c) el sensor de temperatura y humedad deben colocarse entre 1,2 a 2 m de altura. Las alturas de los sensores de las estaciones CORBANA se encuentran en el rango de 2 a 3,6 m. La recomendación que corresponde es instalar los sensores aproximadamente a 2 m. Sin embargo, dado que en las estaciones Davis el pluviómetro conforma un sistema integrado con el sensor de temperatura, es mejor atender la indicación dada para la altura del pluviómetro, aunque se modifique la altura del sensor de temperatura y humedad. En cuanto al sensor de radiación no existe una altura específica recomendada por lo que es mejor mantener la altura que tienen en este momento.

2. En relación con la localización de las estaciones y la altura de algunos sensores como los anemómetros, la vegetación (la plantación de banano) es un obstáculo para la medición del viento ya que este tiene una altura parecida a la del anemómetro; lo anterior provoca valores turbulentos no deseados e impide la comparación con valores normales a 10 m. Según la OMM (2008d) para esta altura los sensores de viento deben localizarse sobre un terreno plano y abierto y a una distancia de al menos 10 veces la altura del obstáculo más cercano (edificios, árboles). Este aspecto se agudiza aún más en las estaciones Las Valquirias (la cual se encuentra muy cerca de la planta procesadora), Limofrut B (en donde hay una bodega cercana de 8 m de altura aproximadamente) y Siquirres (rodeada por árboles que impiden la libre medición del viento).

Algunos aspectos que resaltan como recomendaciones son:

1. La gran altura de las torres, alrededor de 30 m, en donde están colocados los instrumentos puede ser un elemento útil para realizar estudios de perfiles de propiedades atmosféricas, por ejemplo, perfiles de temperaturas y velocidad del viento, factores que pueden ofrecer importante información de campo en las plantaciones de banano.
2. La utilización de dos tecnológicas diferentes es otra causa de heterogeneidad en la toma de las mediciones. Los sensores Campbell son independientes, es decir se pueden

colocar a diferentes alturas. Por el contrario, las Davis (La Rita y 28 Millas) tienen un sistema integrado de sensores, lo anterior provoca que si se altera la altura del pluviómetro automáticamente se altera la altura del sensor de temperatura y humedad. Además de lo anterior, existe una diferencia en cuanto la precisión de los instrumentos, aspecto que debe ser estudiado con algún detalle para el uso adecuado de la información meteorológica. La recomendación es adquirir equipo más acorde con el de las estaciones Campbell, debido a que el modelo de las estaciones Davis utilizado ya ha excedido su expectativa de vida (más de 5 años) y este modelo ya se encuentra fuera del mercado.

3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

1. Se deben analizar por parte del equipo de investigadores del CIGEFI, los inventarios suministrados por el IMN y el ICE para proceder a seleccionar y solicitar la información correspondiente a los registros meteorológicos a fin de complementar la información meteorológica e hidrológica disponible en el país para realizar el estudio propuesto.
2. Algunos aspectos que deberán ser tomados en cuenta en esta selección es la distribución geográfica de las estaciones, la amplitud de sus registros y la cantidad de variables meteorológicas que estas miden. El proceso anterior debe considerar también su cercanía con las estaciones que maneja CORBANA.
3. Se sugiere validar también las series de tiempo obtenidas de bases de datos de dominio público con datos de estaciones en la región con el fin de identificar posibles sesgos y/o errores sistemáticos de otro tipo antes de incorporarlas al análisis climático.

4. Rescate de Datos Históricos

Es necesario:

1. Identificar mecanismos de coordinación institucional entre el CIGEFI y CORBANA para facilitar el acceso a fuentes de información internas y externas a fin de continuar con la investigación respectiva.
2. Proveer en el caso de datos históricos de otras compañías bananeras la información complementaria de las estaciones (metadatos).

5. Hidro-meteorología

Esta componente identificó los siguientes aspectos:

1. Análisis preliminares de datos de precipitación de diversas fuentes confirman que la Vertiente Caribe de Costa Rica tiene un modo de oscilación separado del modo predominante de la costa Pacífica, el cual, se conoce que está relacionado con El Niño-Oscilación del Sur. Si se confirma que el clima en la Vertiente Caribe costarricense tiene una componente importante relacionada con procesos locales, esto tiene implicaciones para el estudio de la variabilidad y de los efectos del cambio climático en la región. Por ejemplo, el uso de los datos crudos de los MCG estaría restringido, ya que estos modelos tienen una resolución muy gruesa para capturar los rasgos del clima local.
2. La cobertura espacial y temporal de las estaciones de caudal analizadas no es suficiente para hacer un análisis retrospectivo de la hidro-meteorología de la región.

Se recomiendan las siguientes acciones:

1. El cambio de escala de la información de los MCG por medio de modelos de área limitada tiene el potencial de permitir capturar estas características climáticas locales.
2. Utilizar los datos disponibles para calibrar un modelo hidrológico distribuido para estudiar la variabilidad hidrológica de la zona.

6. Modelos Dinámicos

La meta de los experimentos numéricos realizados es determinar las condiciones físicas del modelo MM5V3.7 que mejor capturan los detalles observados en las variables atmosféricas sobre la zona. Se determinó que:

1. En algunos experimentos la precipitación simulada en partes de la región Caribe bajo los efectos de un frente frío es buena, indicando que el modelo es capaz de simular adecuadamente la interacción flujo-montaña en esta zona.
2. Fenómenos atmosféricos como el ciclo diurno, la brisa de mar y montaña y la incursión de masas de aire frío en el Caribe de Costa Rica son elementos muy importantes para determinar el clima y variabilidad climática en esta zona, por lo que se sugiere complementar este trabajo con un número mayor de experimentos bajo diferentes mecanismos de forzamiento regional por ejemplo, ENOS, el veranillo, y el impacto de huracanes en la zona, etc.

3. Un aspecto que se resalta en esta componente (y en la de hidro-meteorología discutida arriba) es la conveniencia de usar métodos de reducción de escala para el estudio del clima y la variabilidad climática en la zona de interés.

7. Aspectos Académicos y Administrativos

La fecha oficial de inicio del proyecto es el 1 de febrero de 2011. El primer pago por parte de CORBANA a la UCR se recibió el día 16 de marzo de 2011. El proyecto forma parte de las actividades de investigación del CIGEFI en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR y tiene el número de registro VI-805-B0-402.

V. Recomendación Especial

Considerando lo encontrado en esta primera fase del proyecto y para iniciar la participación de personal de CORBANA en las actividades del mismo, en el manejo de bases de datos y control de calidad de las observaciones meteorológicas y en el análisis básico de esta información el CIGEFI recomienda y propone a CORBANA la realización de un Taller de Capacitación y Entrenamiento a organizarse en los próximos tres meses de acuerdo a fechas y temario desarrollados de común acuerdo. Es importante comenzar a preparar la información sobre productividad histórica del banano en la región para que sea analizada conjuntamente por personal del CIGEFI y CORBANA durante el Taller.

VI. Agradecimientos

Se agradece al Ing. Mauricio Guzmán y al Ing. Eduardo Soto las discusiones llevadas a cabo sobre aspectos varios del proyecto, así como las facilidades ofrecidas para llevar a cabo esta investigación. Al Ing. Soto por su colaboración en las visitas realizadas a las estaciones meteorológicas de CORBANA. Al personal de informática de la Corporación por su apoyo en lo relativo a las bases de datos de BANACLIMA. A Juan Carlos Fallas, Director del IMN y Sadí Laporte, Enrique Chacón y Berny Fallas del Departamento de Estudios Básicos del Área de Hidrología del ICE, por facilitar los inventarios de las estaciones que han funcionado en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. A Ingrid Rivera por su ayuda en el ordenamiento de documentos para el proyecto.

VII. Referencias

- Alfaro, E., 2008. Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. 56 (Supl.2), 19-29.
- Amador, J. A. y E. J. Alfaro, 2009. Métodos dinámicos y estadísticos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 11, 55-68.
- Cox, R., B. L. Bauer, and T. Smith, 1998. A mesoscale model intercomparison. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 265-283.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1993. A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model. NCAR Tech. Note 398+IA, 122 pp.
- IMN, 1988. Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica, Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, Costa Rica.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Magaña, V., J. A. Amador, and S. Medina, 1999. The Mid-Summer Drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, 12, 1577-1588.
- OMM, 1993. Siting and Exposure of Meteorological Instruments, (J. Ehinger). *Instruments and Observing Methods Report No. 55, WMO/TD-No.589, Geneva.*
- OMM, 2008a. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No.8, Part 1, Geneva, pp. 17-19.*
- OMM, 2008b. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No.8, Part 1, Geneva, pp. 135-155.*
- OMM, 2008c. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No.8, Part 1, Geneva, pp. 43-63.*
- OMM, 2008d. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No.8, Part 1, Geneva, pp. 121-134.*
- Peterson, T. C. and R. S. Vose, 1997. An overview of the Global Historical Climatology Network temperature data base, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2837-2849.

- Rivera, E. y J. A. Amador, 2008. Predicción Estacional del Clima en Centroamérica mediante la reducción de escala dinámica. Parte I: Evaluación de los Modelos de Circulación General CCM3.6 y ECHAM4.5. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 15(2), 131-173.
- Rivera, E. y J. A. Amador, 2009. Predicción Estacional del Clima en Centroamérica mediante la reducción de escala dinámica. Parte II: Aplicación del modelo MM5v3. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 16(1), 76-104.
- Silva, Y., 2000. Descripción del modelo de meso-escala PSU/NCAR MM5. Primer seminario de modelaje numérico, oceánico, atmosférico, hidrológico y biológico, 16 de agosto de 2000, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- 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.
- Vörösmarty, C. J., B. Fekete, and B. A. Tucker, 1996. River Discharge Database, Version 1.0 (RivDIS v1.0), Volumes 0 through 6. A contribution to IHP-V Theme 1. Technical Documents in Hydrology Series. UNESCO, Paris.
- Vörösmarty, C. J., B. Fekete, and B. A. Tucker, 1998. River Discharge Database, Version 1.1 (RivDIS v1.0 supplement). Available through the Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space / University of New Hampshire, Durham NH (USA).
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1996. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions, *J. Climate*, 9, 840-858.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997. Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.
- Xue, Y., T. M. Smith, and R. W. Reynolds, 2003. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871-2000. *J. Climate*, 16, 1601-1612.

VIII. Cronograma de Actividades Actualizado

Universidad de Costa Rica											
Vicerrectoría de Investigación											
Centro de Investigaciones Geofísicas											
Corporación Bananera Nacional											
Actividades, Entrega de Productos y Pagos											
Año	2011			2012			2013				
Meses	F-M-A	M-J-J	A-S	O-N-D	E-F-M	A-M	J-J-A	S-O-N	D-E		
Actividades	7. i. EFBD		7. ii. RE		7. iii. CR		7. iv. / 7. v. VCO / CCO				
					7. vi. FP						
Informes			IP		IS		IF				
Entrega de Productos			IBD EE		RP MC / MC		TP				
Pagos (% de presupuesto)	I Pago (25%)		II Pago (25%)		III Pago (25%)		IV Pago (25%)				
Abreviaturas	EFBD	RE	CR	VCO / CCO	FP	IP / IS / IF	IBDyRE	RP MC	MC	TP	
	Estructura y Funcionalidad de la Base de Datos		Red de Estaciones		Climatología Regional		Variabilidad Climática Observada / Cambio Climático Observado				
	Formación de Personal		Informe Primero / Informe Segundo / Informe Final		Informe Base de Datos y Red de Estaciones		Resultados Preliminares Mapas Climatológicos				
Contenidos de los Informes	Mapas Climatológicos		Total de los Productos								

IX. Personal Científico Responsable del Informe en la Universidad de Costa Rica

Jorge A. Amador^{1,2}, Ph. D., Investigador Principal (Email: jorge.amador@ucr.ac.cr)

Eric J. Alfaro^{1,2}, Ph. D., Asociado, **G1,G3**

Hugo Hidalgo^{1,2}, Ph. D., Asociado, **G3,G5**

Juan José Vargas^{1,3}, Ph. D., Asociado, **G6**

Javier Soley^{1,4}, Ph. D., Asociado, **G1**

Flora Solano^{1,4}, Lic., Investigadora Colaboradora, **G4**

Ronald Díaz^{1,6}, Lic., Investigador Colaborador, **G4**

Blanca Calderón¹, Br., Investigadora Colaboradora, **G6**

José L. Vargas¹, Lic., Investigador Colaborador, **G1, G2**

Jorge Luis Rodríguez¹, Br., Administrador, **G7**

Alberto Salazar^{1,2}, Estudiante, **G2**

Paula M. Pérez⁵, Estudiante, **G3**

Fernán Sáenz^{1,2}, Estudiante, **G6**

Natalie Mora^{1,2}, Estudiante, **G6**

¹ Grupo de Predicción Climática (GPC), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)

² Escuela de Física (EF)

³ Escuela de Ciencias de la Computación e Informática (ECCI)

⁴ Pensionado Escuela de Física

⁵ Escuela de Geografía

⁶ Escuela de Historia

Grupos de Trabajo

G1- Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

G2- Giras y Red de Estaciones de CORBANA

G3- Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

G4- Rescate de Datos Históricos

G5- Hidro-meteorología

G6- Modelos Dinámicos

G7- Aspectos Académicos y Administrativos



Universidad de Costa Rica
Escuela de Física, Facultad de Ciencias y
Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Tels. (506) 2511 5096 / 2511 2551
Fax. (506) 2234 2703
Email: cigefi@cigefi.ucr.ac.cr, jorge.amador@ucr.ac.cr

**Clima, variabilidad y cambio climático
en la Vertiente Caribe de Costa Rica:
Un estudio básico para la actividad bananera**

Informe Segundo

presentado a

Corporación Bananera Nacional (CORBANA)

**Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)
Vicerrectoría de Investigación
Universidad de Costa Rica**

Octubre 2011- Mayo 2012

Contenidos

Resumen Ejecutivo del Informe Segundo	3
I. Introducción General	5
II. Avances, Actividades y Productos	5
1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA	5
2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA	23
3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional	27
4. Rescate de Datos Históricos	54
5. Modelos Dinámicos	55
6. Aspectos Académicos y Administrativos	62
III. Conclusiones y recomendaciones	62
IV. Agradecimientos	62
V. Referencias	63
VI. Personal Científico Responsable en la Universidad de Costa Rica	66

*“no scientist who has self esteem and moral integrity
will ever attempt to forecast the weather”*

Anonymous, 1850



Resumen Ejecutivo del Informe Segundo

Se discuten en este Informe Segundo los avances, las consideraciones técnicas y científicas para la elaboración final de productos de clima, variabilidad climática y cambio climático observado en la Vertiente Caribe de Costa Rica, de acuerdo al cronograma de actividades propuesto a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA) y contenido en el contrato firmado entre CORBANA y la Universidad de Costa Rica (UCR) por medio de la Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación (FUNDEVI). La ejecución técnica y científica del proyecto está a cargo del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la UCR. Los objetivos asociados a este Informe son los descritos en el documento del proyecto en lo relativo a las Especificaciones y Requisitos Técnicos de CORBANA (ERTC) en la Parte I, punto 7.

En el Informe Primero se realizó, entre otras cosas, el análisis de las bases de datos de CORBANA, indicando los problemas y recomendando los aspectos del sistema de observación que deben ser corregidos. En ese informe se entregaron únicamente dos estaciones (La Rita y 28 Millas) completamente analizadas, en el presente informe se entregan los controles de calidad, las pruebas estadísticas realizadas y los resultados del clima regional de todas las once estaciones de la base de datos BANACLIMA.

Se realizaron varias giras a la zona (entre ellas una de todo el grupo de investigación del CIGEFI con la colaboración del personal de CORBANA) para identificar aspectos de interés topográfico, de instrumental y de problemas de observación, entre otros. Una de las giras fue organizada para la preparación e instalación de una torre de observación con instrumental a diferentes niveles, 10, 20 y 30 m. Este aspecto de investigación no había sido contemplado en los términos de referencia del proyecto, de manera que esta iniciativa extiende sus objetivos al estudio de la capa límite en zonas de producción bananera. La torre fue instalada en marzo de 2012 en el mismo sitio de la estación Siquirres para aprovechar los instrumentos *in situ*, ya en fase de operación por CORBANA.

El análisis de la información meteorológica recopilada durante esta etapa del proyecto se presenta en dos partes, la primera con los resultados de una clasificación climática del tipo Thornthwaite y de componentes principales rotados para la Vertiente

Caribe y la segunda con los resultados obtenidos de la información de la base BANACLIMA. En la segunda parte anterior, se discute en detalle el ciclo anual y el ciclo diurno de la precipitación, la radiación, la temperatura y el viento.

En relación con el rescate de datos históricos, se destaca la propuesta hecha a CORBANA por el CIGEFI, de realizar un estudio sobre sus antecedentes históricos, que incluya la identificación de eventos hidro-meteorológicos extremos y su impacto socio-económico en la zona. Se planea la publicación de un documento y/o la creación de una herramienta digital para el uso de los productos y resultados de esta iniciativa, tampoco contemplada en los términos de referencia.

En lo que respecta a la parte de resultados del modelo dinámico usado (MM5v3) y la información climática resultante de esos experimentos numéricos (en desarrollo para la entrega de los productos finales), se entregan los mapas preliminares de clima de la región usando dos dominios de trabajo con resoluciones de 162 km (escala sinóptica) y 2 km (escala local), para las variables precipitación, temperatura y viento.

Algunos de los resultados científicos del proyecto son prometedores y están siendo considerados para publicación en revistas de circulación internacional.

I. Introducción General

El documento, en adelante denominado “el proyecto”, propuesto a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA), para realizar una investigación contratada a esta Corporación fue elaborado a principios de 2010, presentado en octubre de ese mismo año y fue organizado en tres partes, la Parte I con la Propuesta Científica, la Parte II con la Propuesta Económica y la Parte III con los detalles del Cronograma de Actividades, Entrega de Productos y Pagos. El presente informe se entrega en cumplimiento de la Parte III del Cronograma de Actividades, el cual ha sido actualizado para que el periodo de ejecución del proyecto corresponda con la firma y fechas legales del contrato por parte de las instituciones participantes (1 de febrero de 2011).

El Informe Segundo (IS) ha sido organizado de la siguiente manera. En la sección siguiente se discuten en orden lógico las actividades, los avances del proyecto y los productos derivados en cada una de las diferentes líneas de investigación llevadas a cabo durante octubre 2011 - mayo 2012, periodo al que corresponde este informe. En general, se presentan detalles de la investigación para cada componente o actividad del proyecto, incluyendo productos, acciones y recomendaciones (si aplica); luego al final de esa sección, aparecen las condiciones académicas y administrativas en que se realiza esta investigación en la Universidad de Costa Rica. La integración e interpretación de los avances del proyecto se detallan en la sección III de Conclusiones y Recomendaciones. Se incluyen luego los Agradecimientos (Sección IV), las Referencias (Sección V; los artículos se pueden solicitar a cigefi@cigefi.ucr.ac.cr) y el Personal Científico Responsable del Informe en la Universidad de Costa Rica asociado al CIGEFI aparece en la Sección VI al final de este IS.

II. Avances, Actividades y Productos

1. Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

i) Introducción al análisis básico de las estaciones de BANACLIMA

Esta parte del IS incluye los resultados del control de calidad básico de cinco variables meteorológicas en todas las estaciones con muestreo de 5 minutos. En noviembre pasado se inició el control de calidad utilizando los ensayos de cotas, saltos y picos.

El control de calidad básico

A finales de setiembre se terminó el control de calidad básico de cinco variables meteorológicas: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar y viento

(Tabla 1.1). Estas variables se escogieron por ser básicas en la elaboración de productos del clima, de la variabilidad climática y de descriptores de cambio climático en la región de interés. El procedimiento de análisis está suficientemente automatizado que de necesitarse alguna otra variable en el futuro esta se puede analizar en poco tiempo. El control de calidad básico consiste en:

1. Extraer y depurar la serie de tiempo del archivo original enviado por CORBANA.
2. Identificar las brechas en la información y las corridas de datos presentes continuos.
3. Completar el eje de tiempo.
4. Levantar las estadísticas de los datos ausentes o acumular los valores por día y por mes.

Variable	Control básico	Acumulados	Estadísticas básicas
Precipitación 30'	Terminado	Terminado	
Precipitación 5'	Terminado	Terminado	
Temperatura 30'	Terminado		Terminado
Temperatura 5'	Terminado		Terminado
Humedad relativa 30'	Terminado		Terminado
Humedad relativa 5'	Terminado		Terminado
Radiación solar 30'	Terminado		Terminado
Radiación solar 5'	Terminado		Terminado
Viento 30'	Terminado		
Viento 5'	Terminado		

Tabla 1.1 Estado del control de calidad básico y elaboración de valores acumulados o de estadísticas básicas. Los valores se acumulan y las estadísticas se calculan diaria y mensualmente. El descriptivo 30' se refiere a las dos estaciones con muestreo semi-horario mientras que 5' a las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos.

El cálculo de la estadística básica de los datos de viento está en suspenso hasta que se defina por la Corporación cuales son los estadísticos de interés (vector viento promedio, o vector viento predominante, o rosa de vientos, etc.).

Automatización del proceso

Al inicio del control de calidad el análisis se hizo interactivamente desde la línea de comandos hasta encontrar la combinación de instrucciones en SQL adecuados. Luego se escribieron tres archivos de comandos (“script files”) en SQL que realizan el análisis en combinación con dos programas en PERL. Por último se escribió un programa en PERL que combina los tres archivos de comandos (“script files”) en SQL y ejecuta internamente los dos programas en PERL. Como ejemplo se describe la funcionalidad del programa *cocobaradsol.pl* que realiza el control de calidad básico de radiación solar para las estaciones con muestreo de 5 minutos. Este programa se ejecuta desde la línea de comandos digitando:

```
perl cocobaradsol.pl num_estacion
```

Funcionalidad:

1. Se comunica mediante el servidor de NUMEROSA a la base de datos **radsol5** utilizando el nombre de usuario y clave contenidos en la fuente del programa.
2. De la tabla **corbtextori.corbtextori** con la información original enviada por CORBANA extrae la información de la columna **radiacion_solar** para la estación especificada con el argumento *num_estacion*.
3. Ejecuta el programa en PERL *compextrm5.pl* que de ser necesario crea un archivo con los registros ausentes del primer y último día de la serie de tiempo extraída. Se utiliza la bandera de dato ausente '\N'. El archivo creado es incorporado a la tabla con el comando “**load data infile.....**”.
4. Identifica los registros cuyo tiempo de muestreo no corresponde a 5' y sus múltiplos. Crea una tabla auxiliar con los registros encontrados y luego los elimina de la tabla con la serie de tiempo.
5. Crea una tabla con la fecha-hora de inicio y de final de las brechas de datos ausentes y un archivo texto con la misma información. Ejecuta el programa *compejetiv_e3.pl* que crea otro archivo texto con los registros ausentes de las brechas. Ese archivo es incorporado a la tabla con el comando “**load data infile.....**”.
6. En este punto la serie de tiempo está depurada y se calcula el número de datos ausentes por hora, día, tiempo de muestreo y día juliano.

Proceso de acumulación

El programa en PERL *acumpreci.pl* acumula la precipitación por día y por mes y los guarda en la base de datos **acumdiames**. Actúa sobre las series de tiempo de precipitación muestreadas 30' y 5'. Para cada valor acumulado se da el número de

valores válidos que se acumularon. De esta forma, los investigadores pueden escoger para sus trabajos aquellos valores que cumplen con sus requerimientos de significación estadística propios y desechar los que no. La Tabla 1.2 muestra unos pocos registros de precipitación acumulada por día para dos estaciones.

Cálculo de estadísticas básicas

Los estadísticos valor medio, mínimo, máximo y desviación estándar, tanto diario como mensual, se calculan con el programa en PERL **estbasradsol.pl** para todas las series de tiempo (Tabla 1.3). Al igual con los valores acumulados, se proporciona el número de valores válidos con el que se realizó el cálculo para que el usuario tome sus decisiones propias sobre la significación estadística del valor calculado. Las tablas resultantes se guardan en la base de datos **estadbas**.

Estación	Día	Válidos	Acumulado diario
1	2006-11-30	48	1,8
1	2006-12-01	48	0,4
1	2006-12-02	42	9
1	2006-12-03	26	0,2
1	2006-12-04	48	5,6
3	2005-03-16	79	0
3	2005-03-17	288	1,2
3	2005-03-18	288	0
3	2005-03-19	288	0,7

Tabla 1.2 Ejemplos de registros con la precipitación acumulada por día.

Estación	Año	Mes	Válidos	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Est.
2	2004	1	1488	84,05	48	94	12,05
2	2004	2	1392	83,24	49	94	12,42
2	2004	3	1487	83,66	48	94	11,27
2	2004	4	1439	83,2	54	94	10,74
5	2006	3	8927	82,08	50,14	94,8	12,05
5	2006	4	8640	79,13	40,63	94,5	13,04
5	2006	5	8928	81,74	49,81	94,6	12,25
5	2006	6	8640	82,26	49,8	94,4	11,81

Tabla 1.3 Ejemplos de registros con los estadísticos básicos de humedad relativa por mes.

Distribución de los datos ausentes de las estaciones con muestro de 5 minutos

Las Tablas 1.4 y 1.5 exhiben las propiedades de las series de tiempo extraídas de las nueve estaciones con muestreo de 5'. Siete de estas estaciones tienen un porcentaje de valores ausentes igual o inferior a 5%. Para las otras dos estaciones, Islas y Chirripó, el porcentaje de datos ausentes es superior a 9%. Un análisis estadístico como el que se hizo para las estaciones La Rita y 28 Millas no es viable para el número de datos ausentes observados. Por lo tanto se optó por hacer un despliegue gráfico del número de datos ausentes por día y mediante inspección visual tratar de detectar algún patrón interesante.

Estación	3	4	5	6	7
Longitud inicial	620198	608771	613422	603416	602454
Registros anómalos	0	31	0	0	0
Añadidos en los extremos	220	204	202	203	204
Número de brechas	58	1189	175	107	3398
Rellenado de brechas	3966	16880	12200	16445	23166
Ausentes	4186	17084	12492	31347	23371
Longitud final	624384	625824	625824	620064	625824
Porcentaje ausentes	0,67	2,73	2	5,06	3,73
Fecha inicio	2005-03-16	2005-03-11	2005-03-11	2005-03-31	2005-03-11
Fecha final	2011-02-20	2011-02-20	2011-02-20	2011-02-20	2011-02-20

Tabla 1.4 Propiedades de las series de tiempo extraídas para las estaciones Cartagena (3), Siquirres (4), Limofrut B (5), Agrotubérculos (6) y PAIS (7).

La Figura 1.1 muestra los datos ausentes por día durante todo el período de registro de la estación Limofrut B. Figuras semejantes se construyeron para las otras 8 estaciones. La escala de tiempo permite detectar tanto períodos largos cuando la estación está inoperante como eventos aislados. La resolución de la escala vertical sólo permite identificar eventos aislados de unos tres tiempos de muestreo (15') y superiores. El examen de las 9 estaciones no reveló un patrón común y más bien parece que cada estación tiene un comportamiento propio. Llama la atención que las estaciones Islas y Chirripó muestran un comportamiento similar al inicio del año 2008. La tabla de brechas de ambas estaciones muestran una brecha idéntica que se extiende de 2008-01-01 12:05:00 a 2008-04-13 23:55:00. Un estudio del archivo original con los datos reveló

que las dos estaciones tienen un registro de valores nulos, al parecer espurio, el 2008-01-01 12:00:00, y que verdaderamente el registro comienza en 2008-04-14 00:00:00 como consta en la tabla CLMMAEST_BK. Al eliminar el registro espurio los porcentajes de datos ausentes bajan a 0,022 y 0,544%, respectivamente, y estos valores se muestran en la Tabla 1.5 entre paréntesis.

Estación	8	9	10	11
Longitud inicial	622465	623317	300318	298750
Registros anómalos	0	0	0	0
Añadidos en los extremos	222	222	157	157
Número de brechas	46	45	14	52
Rellenado de brechas	1697	845	29861	31429
Ausentes	1919	1068	30019	31587
Longitud final	624384	624384	330336	330336
Porcentaje ausentes	0,31	0,17	9,09 (0,02)	9,56 (0,54)
Fecha inicio	2005-03-16	2005-03-16	2008-01-01	2008-01-01
Fecha final	2011-02-20	2011-02-20	2011-02-20	2011-02-20

Tabla 1.5 Propiedades de las series de tiempo extraídas para las estaciones Las Valquirias (8), Pénjamo (9), Islas (10) y Chirripó (11).

La tabla de brechas también define los intervalos con observaciones continuas. Para el relleno de datos y para estudios de variabilidad climática es importante saber la distribución temporal de las observaciones continuas. Para poder visualizar esta distribución se prepararon cuatro gráficas de las cuales una se muestra en la Figura 1.2. Las corridas sin interrupción de observaciones se representan como una línea horizontal a una distancia vertical igual al código de estación. Las cuatro figuras cubren los años 2003 a 2011 y la Figura 1.2 muestra el último segmento empezando en 2009-01-01.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

1. Siete estaciones tienen un número de datos ausentes menor de o cerca de 5% que es aceptable.
2. El porcentaje de datos ausentes calculado para las estaciones Islas y Chirripó cerca de 9% es producto de un registro espurio. Eliminando este registro espurio los porcentajes son 0,022 y 0,544%, respectivamente.

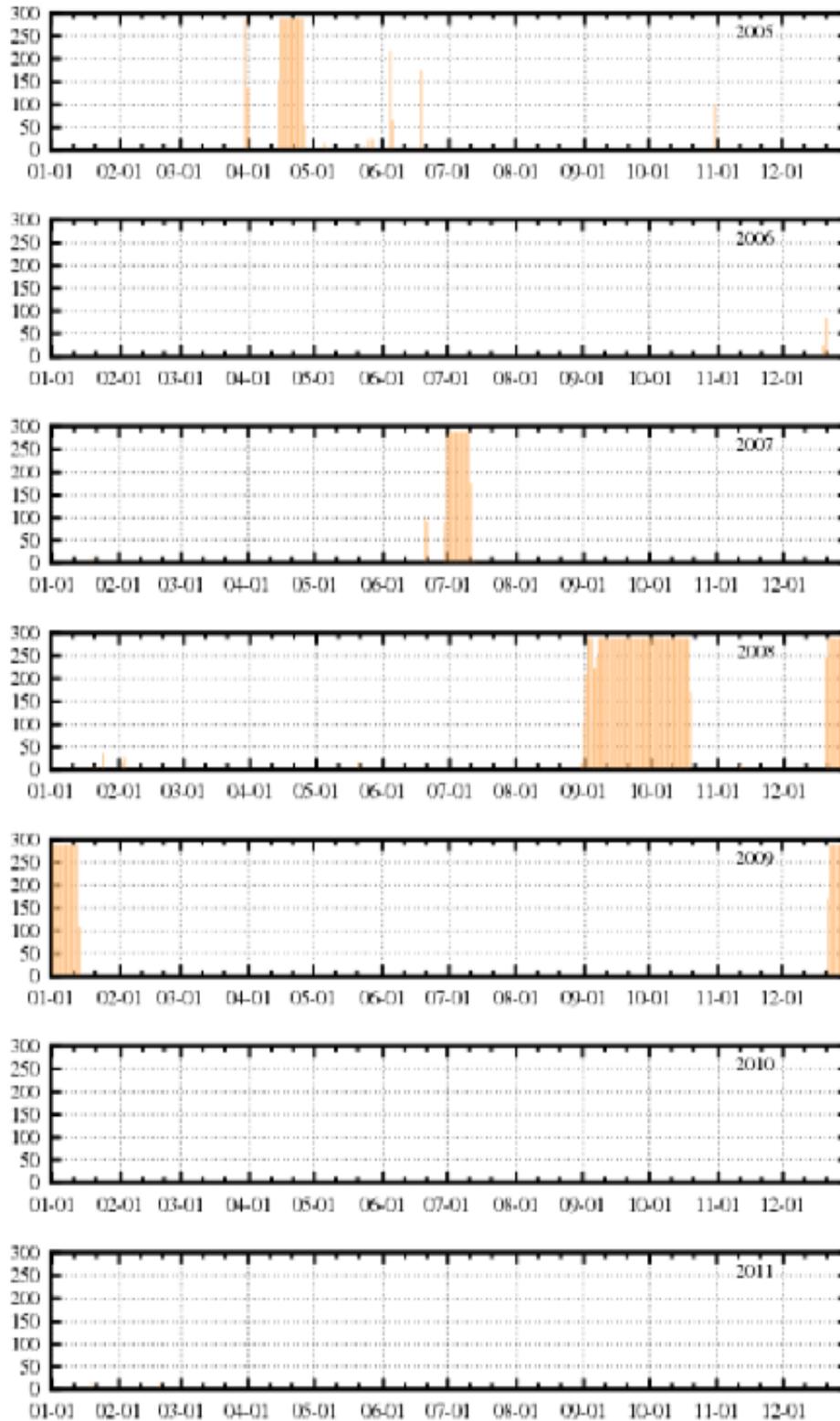


Figura 1.1 Valores ausentes por día en la estación Limofrut B.

3. El patrón temporal de datos ausentes de las nueve estaciones no muestra patrones comunes por lo que cada estación tiene su comportamiento propio.

Se recomienda revisar las bitácoras de las estaciones al inicio de las interrupciones mayores para detectar las causas de las fallas y tomar las medidas administrativas convenientes para prevenir fallas similares en el futuro. En el caso de la estación Agrotubérculos esto implica estudiar lo sucedido en los meses de abril de 2005, julio de 2007, setiembre de 2008 y diciembre de los años 2008 y 2009.

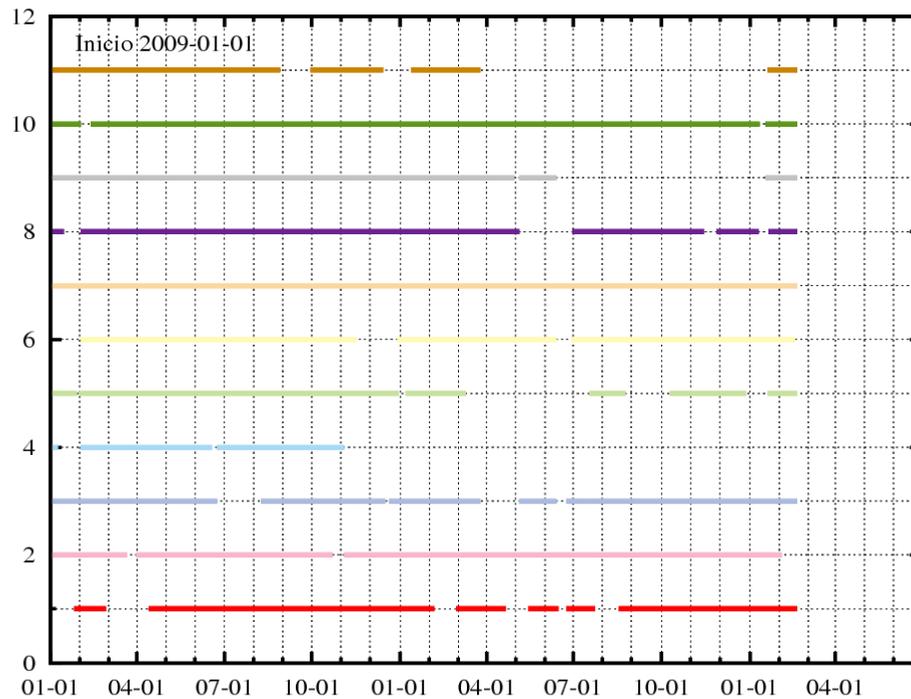


Figura 1.2 Distribución temporal de observaciones continuas de las nueve estaciones con muestreo de 5'.

ii) Ensayos estadísticos de cotas, saltos y picos

Introducción

Continuando con el programa de control de calidad se inició la aplicación de los ensayos de cotas, saltos y picos. Al momento de escribir este informe las macro-instrucciones necesarias están probadas, depuradas y el método de análisis establecido. Para correr los ensayos se utilizó la variable temperatura de las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos.

Se inició la búsqueda de índices para caracterizar la variabilidad climática de interés agro-meteorológico. En este informe se incluyen los resultados obtenidos con la

distribución generalizada de valores extremos DGVE (Distribución Generalizada de Valores Extremos) y la distribución generalizada de Pareto. Se comenzó trabajando con el índice P80 que es el número de días en un mes con precipitaciones mayores a 14 mm y con el número de días en un año que exceden percentiles dados de temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y de precipitación acumulada diaria.

Descripción del método para la inicialización de los modelos dinámicos

Este informe incluye una descripción del método desarrollado para proporcionar fechas aleatorias, para el período 1951-2011, al grupo de Modelos Dinámicos para inicializar los modelos (Sección 6) y los contenidos del taller de introducción a MySQL.

Posible uso de las distribuciones de valores extremos como índices de cambio climático

De estudios agro-meteorológicos como el de Sastry (1988) se sabe que la incidencia de días con temperaturas menores a 18°C inhibe el crecimiento del banano y que temperaturas altas propician el desarrollo de enfermedades. Por otro lado el número de días fríos y cálidos se usan en estudios de cambio climático, como los del Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) de CCI/CLIVAR (<http://www.clivar.org/organization/etccdi>). Desde estos dos puntos de vista las distribuciones de temperaturas diarias máximas y mínimas son de interés para este Proyecto. Al ser valores extremos, se deben describir mediante DGVE [ver por ejemplo, Coles (2001), Castillo *et al.* (2005)].

La distribución de probabilidad acumulada de la DGVE tiene la forma

$$G(z) = \exp\left(-\left\{1 + \left[\xi \left(\frac{z - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}\right)$$

Los tres parámetros μ , ξ , y σ de los que depende reciben los nombres de parámetros de localización, forma y escala, respectivamente. Para este trabajo se utilizó el paquete extRemes de Gilleland y Katz (2011) del programa R (R Development Core Team 2010) para calcular los parámetros y diagnósticos de la DGVE. Como caso de estudio se escogió a la estación 11, Chirripó, que tiene un porcentaje de valores ausentes bajo.

La Figura 1.3 muestra los valores de temperatura mínima diaria de los años 2009 y 2010 donde el ciclo anual es evidente. Esta estacionalidad puede afectar el cálculo de los parámetros de la DGVE y los diagnósticos deben estudiarse cuidadosamente para valorar la bondad del ajuste. Los parámetros de la DGVE calculados se muestran en la Tabla 1.5 para los años 2009 a 2011. El paquete extRemes proporciona por defecto un

diagnóstico compuesto por cuatro gráficos que permiten juzgar la bondad del ajuste. Los dos gráficos en la parte superior de la Figura 1.4 son los gráficos de probabilidad calculada contra probabilidad empírica y de cuantiles empíricos contra cuantiles calculados de las temperaturas diarias mínimas del año 2011. En los dos casos, la línea obtenida cae cerca de la línea trazada a 45° lo que indica que el ajuste es aceptable. El gráfico en la esquina inferior izquierda muestra el nivel de retorno en función del período de retorno. Este diagnóstico es afectado por la estacionalidad y los períodos de retorno calculados no son confiables. Debido a la estacionalidad los eventos extremos se agrupan y el valor medio del intervalo entre eventos sucesivos está distorsionado. El último gráfico muestra la distribución de probabilidad calculada sobrepuesta al histograma de los datos crudos e indica un buen ajuste obtenido. Nótese que los ejes x de los gráficos de la derecha muestran temperaturas negativas. Esto se debe a que los datos de temperatura mínima se introdujeron en las funciones de maximización del paquete multiplicados por “-1”. Este es un artilugio muy utilizado para cambiar un problema de minimización en un problema de maximización y utilizar un sólo tipo de funciones.

Año	Localización	Error	Escala	Error	Forma	Error
2009	-22,87844	0,06007	0,97983	0,04457	0,00548	0,04651
2010	-23,09891	0,06476	1,06265	0,04561	-0,11761	0,03775
2011	-22,82334	0,06210	1,05129	0,04422	-0,08092	0,03800

Tabla 1.6 Valores calculados de los parámetros de localización, escala y forma de la DGVE para los años 2009 a 2010. Las columnas Error se refieren a la desviación estándar del método de estimación de máxima verosimilitud utilizado.

Teniendo los parámetros de la distribución, los niveles de orden p , z_p , se calculan mediante la expresión

$$z_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log(G(z_p))\}^{-\xi}]$$

Las Figuras 1.5 y 1.6 muestran las temperaturas máximas y mínimas correspondientes a los centiles $G(z_p) = 0,9...0,99$. Los años 2009 y 2010 muestran un comportamiento similar. En el año 2011 los diez últimos centiles de las temperaturas máximas y mínimas ocurren a temperaturas más altas que en los dos anteriores. Este hecho no indica necesariamente que el año 2011 es 'más caliente' en el sentido

entendido en cambio climático, ya que puede ser debido a un efecto interanual.

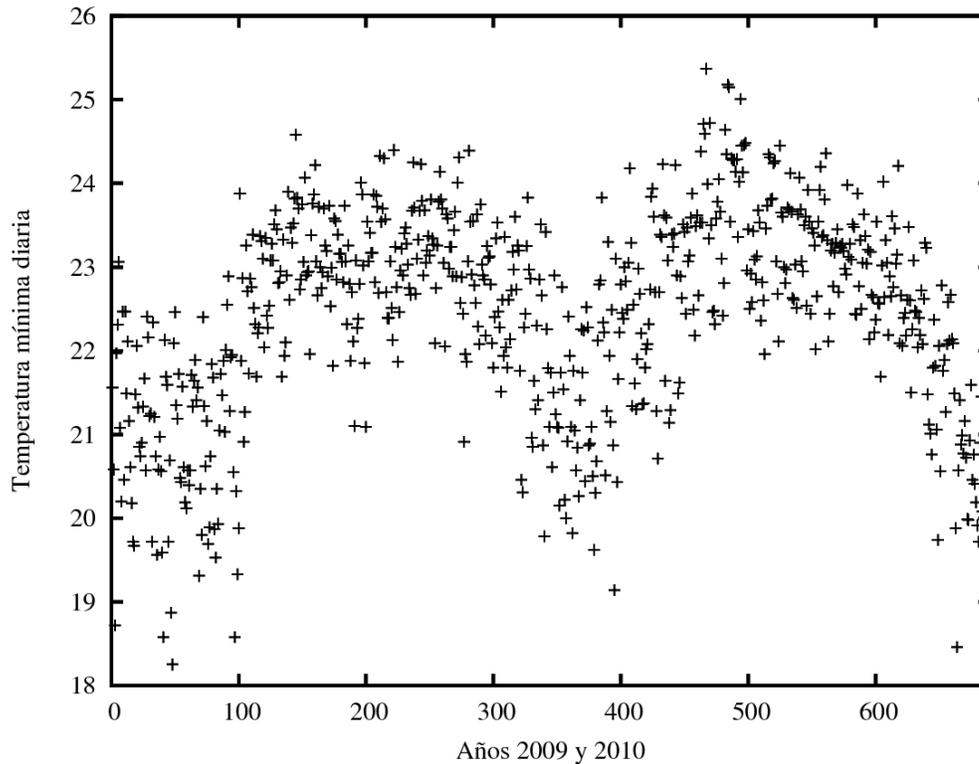


Figura 1.3 Temperatura mínima diaria de la estación 11 (Chirripó) de los años 2009 y 2010. El ciclo anual es evidente e indica que las temperaturas mínimas bajas son más probables en los tres primeros meses del año.

Otra variable de gran importancia en agro-meteorología es la precipitación acumulada diaria ya que numerosos días de baja precipitación afectan el desarrollo del banano y un exceso de días con precipitaciones altas fomentan el desarrollo de enfermedades. Por lo tanto, el número de días con precipitaciones menores o iguales a un umbral dado (déficits) y el número de días mayores o iguales a un umbral dado (excesos) son también de interés para este proyecto. Los excesos se describen con la Distribución Generalizada de Pareto (DGP), (Coles 2001).

$$H(z) = 1 - \left(1 + \frac{\xi z}{\sigma}\right)^{-1/\xi},$$

$$z_p = u + \frac{\sigma}{\xi} \left[\left(\frac{\xi u}{p}\right)^\xi - 1\right].$$

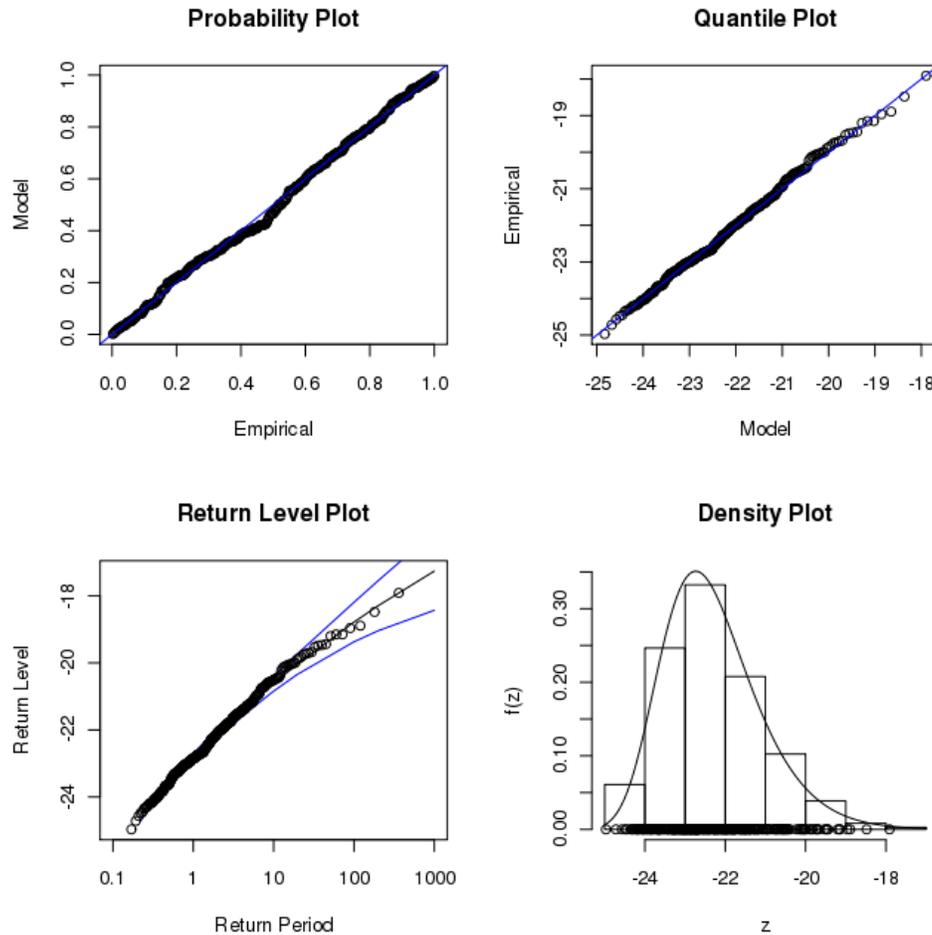


Figura 1.4 Diagnósticos proporcionados por el paquete *extRemes* para juzgar la bondad del ajuste a la DGVE obtenido para las temperaturas mínimas del año 2011 en la estación 11 (Chirripó).

Los parámetros ξ , y σ son parámetros de forma y escala similares a los de la DGVE. En la segunda relación z_p es el nivel correspondiente al percentil $p = \Pr\{Z > z\}$, u es el umbral utilizado y $\zeta_u = \Pr\{Z > u\}$. Los parámetros de la distribución se pueden calcular con el paquete *extRemes* mencionado anteriormente y la bondad del ajuste se puede determinar con los diagnósticos provistos. La determinación del umbral es crucial y el paquete ofrece dos diagnósticos para determinarlo, uno de los cuales se muestra en la Figura 1.7.

El diagnóstico mostrado se basa en una propiedad interesante de la DGP: si una variable sigue la DGP para un umbral determinado, la distribución obtenida con un umbral mayor es también una DGP cuyo parámetro de forma es el mismo de la

distribución original. El parámetro de escala de la nueva distribución está relacionado linealmente con el de la original y mediante una sencilla transformación se vuelve constante. El diagnóstico consiste en ir cambiando el valor del umbral monotónicamente. El umbral adecuado mínimo es aquel donde los parámetros de forma y de escala comienzan a ser constantes dentro de las barras de error. En el ejemplo mostrado el umbral mínimo tiene un valor cercano a 3 mm.

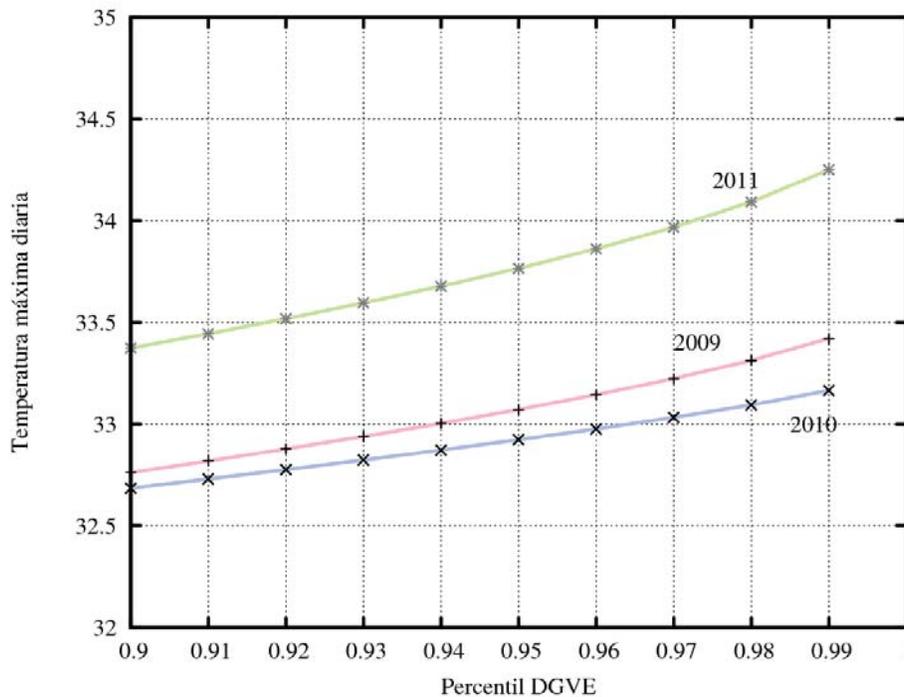


Figura 1.5 Nivel de la temperatura máxima diaria de la estación 11 (Chirripó) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los tres años de registro 2009 a 2011. El año 2011 presenta temperaturas máximas más altas que los dos anteriores.

La Figura 1.8 muestra los niveles de la precipitación acumulada diaria para los centiles 0,9 a 0,99 de la estación 7 (PAIS). Para los primeros centiles, se mantiene el orden de los años respecto a nivel creciente, pero a partir de 0,95 las curvas se cruzan alterando el orden inicial.

Taller de Introducción a MySQL

Se organizó un taller para facilitar a los investigadores el acceso a la base de datos relacional MySQL. El entrenamiento fue personalizado y se realizaron los ejercicios programados bajo la tutela de uno de los tres instructores. Se invitó a los investigadores a que hicieran preguntas y que expusieran sus inquietudes para que el instructor pudiera

variar los ejercicios si lo consideraba pertinente. Para garantizar la seguridad de la base de datos se habilitó un usuario con permiso de únicamente seleccionar información de toda la base de datos instalada pero con permisos amplios en una única base de datos donde podían hacer copias y crear y alterar las tablas.

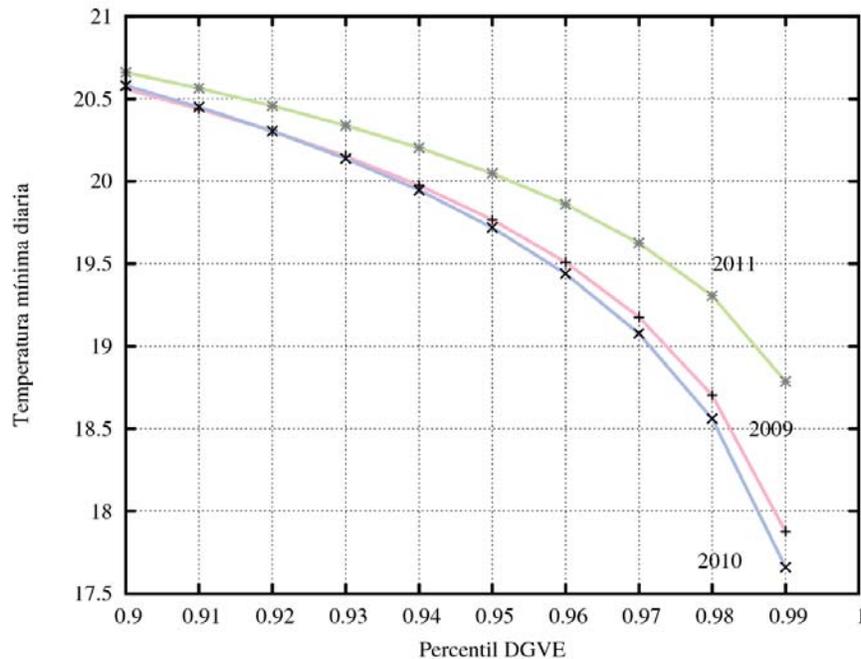


Figura 1.6 Nivel de la temperatura mínima diaria de la estación 11 (Chirripó) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los tres años de registro 2009 a 2011. El año 2011 presenta temperaturas mínimas más altas que los dos anteriores.

El entrenamiento consistió en:

1. inspeccionar la tabla de contenidos del manual de MySQL en formato PDF,
2. activar la ventana de acceso al visualizador (“browser”) de MySQL e introducir los parámetros requeridos para accederlo,
3. explicar la funcionalidad de cada una de las ventanas del visualizador (ver la Figura 1.9),
4. navegar por las diferentes bases de datos y desplegar el contenido de las tablas,
5. introducir diferentes formas del comando de selección y editarlos para adaptarlos a las diferentes tablas,
6. crear una tabla para luego exportarla en formato CSV e introducirla a una hoja electrónica,

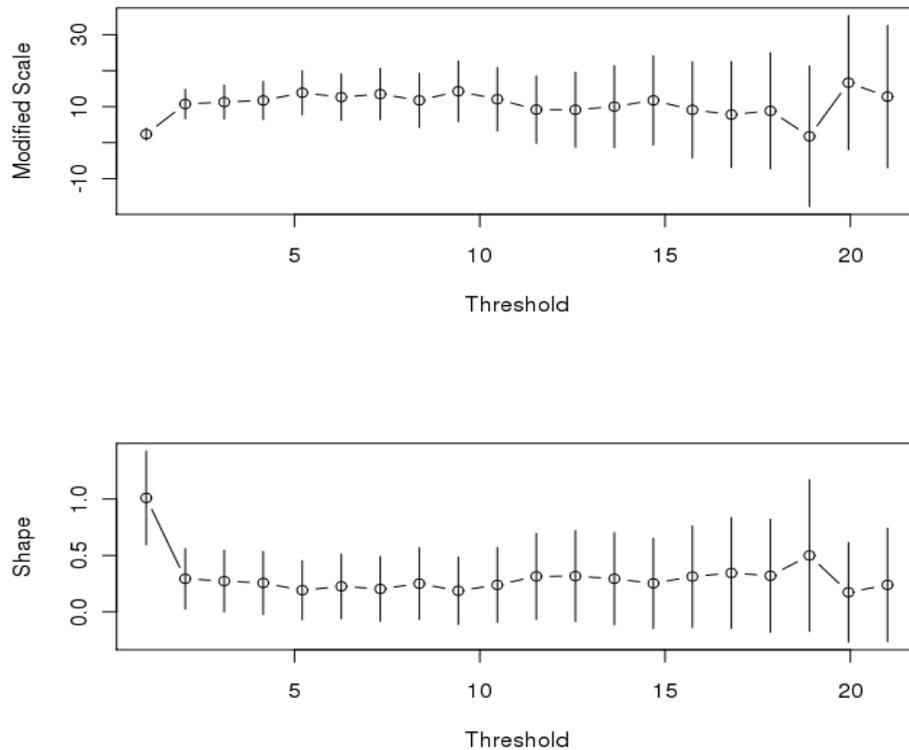


Figura 1.7 Uno de los diagnósticos proporcionados por el paquete extRemes para determinar el umbral adecuado para calcular los excesos de la precipitación acumulada diaria del año 2006 en la estación 7 (PAIS). De la figura se obtiene que el umbral mínimo es cercano a 3 mm.

7. exportar una tabla de una hoja electrónica e introducirla a la base de datos en MySQL.

A los investigadores se les entregó un archivo texto con las direcciones en la red de donde se puede instalar MySQL en Windows o Linux y con un resumen de las diferentes formas del comando de selección que se consideraron de mayor utilidad. El entrenamiento duraba alrededor de una hora y media y se entrenaron cinco investigadores entre la última semana de enero y las dos primeras de febrero.

Ensayos de cotas, saltos y picos.

Los datos que los investigadores utilizan pueden estar corruptos parcialmente por una variedad de problemas que pueden ocurrir en la estación meteorológica misma, durante el proceso de transmisión, en su introducción a la base de datos y en el manejo posterior de los mismos. Los ensayos de cotas, saltos y picos forman parte del complejo proceso de control de calidad que toda base de datos meteorológica debe implementar para garantizar la calidad de la información. Araya (2007) y Araya y Alfaro (2008,

2009) discuten a fondo este proceso de control de calidad. En su trabajo los ensayos mencionados se aplican en tiempo real en las estaciones meteorológicas automáticas y para este proyecto los algoritmos se adaptaron para aplicarlos a las series históricas en una base de datos relacional.

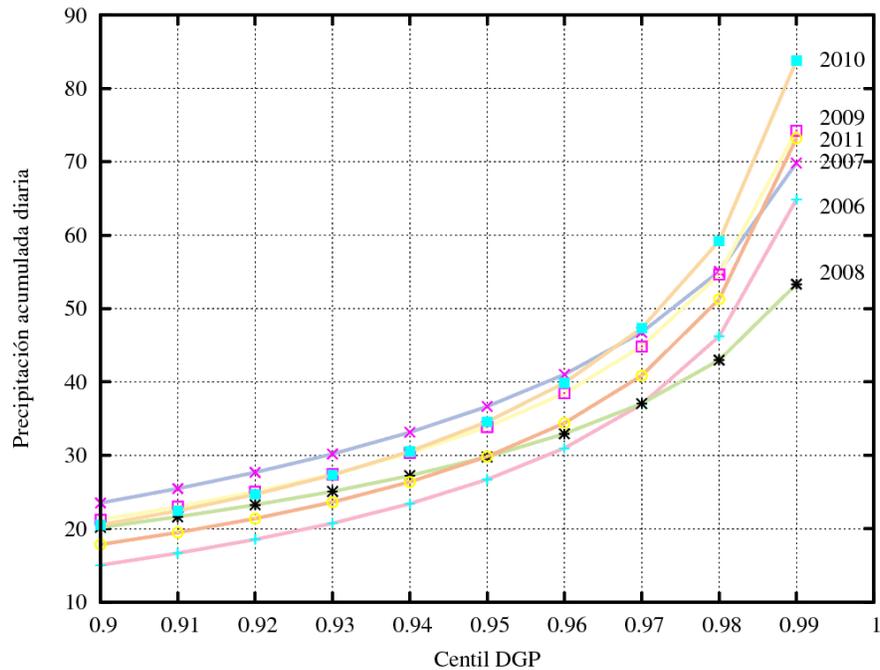


Figura 1.8 Nivel de la precipitación acumulada diaria de la estación 7 (PAIS) correspondientes a los centiles 0,9 a 0,99 durante los años 2006 a 2011.

dia	nval	media	minimo	maximo	sigma
2008-04-14	288	78.3263888756434	43.58	96.6	17.8452762830454
2008-04-15	288	76.7906251086129	47.03	96.7	16.0440019339132
2008-04-16	288	89.7108676698473	61.28	96.7	8.17533371328195
2008-04-17	288	92.7100349002414	70.61	97.1	5.65828085520189
2008-04-18	288	91.900173690584	72.74	96.5	4.71138799788628
2008-04-19	288	86.0038888719347	61.61	95.8	9.6741734640732
2008-04-20	288	87.2933331860436	65.91	95.9	8.30055721482044
2008-04-21	288	91.7221528424157	79.36	96.3	4.81685097571334
2008-04-22	288	90.7653817600674	76.64	97.3	6.15522103211961
2008-04-23	288	82.1941318909327	57.21	96.5	13.4077241071233
2008-04-24	288	81.4341319931878	57.41	96.7	14.2740391436213
2008-04-25	288	78.8236110342874	49.49	97	16.9310420423978
2008-04-26	288	82.0158233645927	57.08	96.3	13.6327059451025
2008-04-27	288	85.657291703754	69.39	95.8	8.98889179447353
2008-04-28	288	82.954895959601	53.49	97	14.0978249128287
2008-04-29	288	89.5176737043593	69.67	96.9	7.50949006828752
2008-04-30	288	90.5758333206177	67.63	96.8	6.93314244019567
2008-05-01	288	81.4771177106433	51.86	96.8	15.4360087026793
2008-05-02	288	80.2426735957464	51.06	96.5	15.3728466908216

Figura 1.9 Visualizador (“browser”) de MySQL para acceder a la base de datos.

El ensayo de cotas consiste en detectar los valores menores de un umbral dado o mayores de un umbral. En SQL su implementación es directa:

```
set @c_max = 6.9, @c_min = 0;
create table preci5cotas select *, if (preci > @c_max, 1, 0) as exced, if (preci <
@c_min, 1, 0) as subexc from preci5.tpe5;
```

El código anterior levanta la bandera **exced** si el valor es mayor al umbral 6.9 o levanta la bandera **subexc** si el valor es menor a 0.

En la prueba de saltos se calculan las diferencias entre valores consecutivos $s_t = x_t - x_{t-1}$ y se levanta una bandera si el valor absoluto de esa diferencia excede un umbral dado.

```
set @m_sal = 4.9 ;
create table preci5saltos select *, if (abs(preci - @prev) > @m_sal, 1,0) as salto,
@prev := prec as ahora from preci5.tpe5;
```

Para detectar picos se multiplican los saltos adyacentes a un valor central $p_t = -s_t s_{t+1}$. El signo menos se incluye para obtener un valor positivo ya que un pico se caracteriza por una subida ($s_t > 0$) seguida de una bajada ($s_{t+1} < 0$). Nótese que también para un valle $p_t > 0$ porque un valle es una bajada seguida de una subida. Las distribuciones de picos y valles pueden ser diferentes por lo que para fijar los umbrales correspondientes se debe distinguir entre ellos comparando el valor central con cualquiera de las adyacentes. Si $x_t > x_{t-1}$ es un pico y si $x_t < x_{t-1}$ es un valle. Habiendo clasificado los picos y valles se levantan sendas banderas si p_t excede el umbral fijado para los picos y los valles. La Figura 1.10 muestra un ejemplo del pico detectado. Los ensayos se aplicaron a la tabla de temperatura. A pedido de los investigadores se correrán sobre las otras variables para lo cual ellos deberán especificar los umbrales que les interesan.

Principales problemas encontrados

1. Durante la etapa de planificación del Taller de Introducción a MySQL se encontraron problemas de comunicación en la red local del CIGEFI. Estos problemas impedían que todos los investigadores pudieran acceder al servidor de MySQL instalado en Uhuru desde las computadoras que utilizan regularmente. Por lo tanto se desistió de entrenarlos en la instalación del cliente de MySQL en sus computadoras y de realizar prácticas de acceso remoto. Oportunamente se informó de este inconveniente y está en vías de solución.
2. Durante el III Ciclo de 2011, el estudiante André Ståhl construyó la matriz de

datos de temperatura de las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos, instaló los programas para el rellenado de datos y estudió la información pertinente al método de componentes principales. Se espera retomar esta actividad en la próxima fase del proyecto.

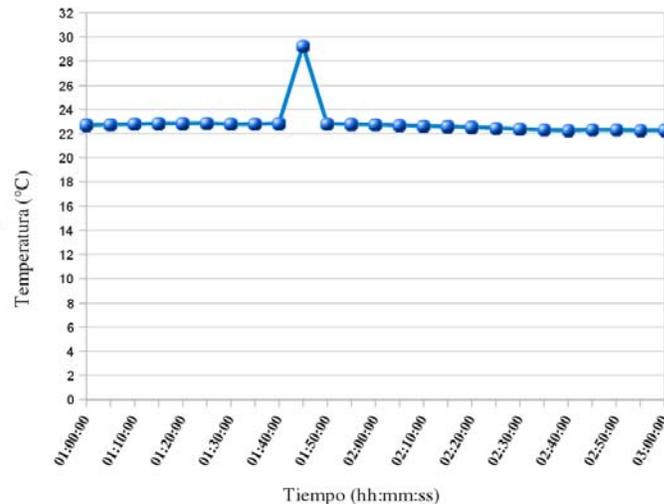


Figura 1.10 El ensayo de picos detectó un pico de más de 6°C en la base de datos en el registro correspondiente a 2011-01-01 01:45:00 de la estación Agrotubérculos. Los valores involucrados son 22,85; 29,27 y 22,83 °C.

Conclusiones y recomendaciones

1. Se desarrolló un método para proporcionar fechas aleatorias al Grupo de Modelos Dinámicos con las cuales se pueden inicializar los modelos numéricos para la obtención de una estadística anual. Las fechas reflejan la distribución temporal de los principales agentes forzadores de la región de interés.
2. La distribución generalizada de valores extremos DGVE y distribución generalizada de Pareto permiten calcular los niveles correspondientes a percentiles dados de variables como temperatura diaria mínima, temperatura diaria máxima y precipitación acumulada diaria que caracterizan adecuadamente la variabilidad interanual.

Se recomienda continuar con la búsqueda de índices apropiados para caracterizar la variabilidad climática. Tres índices prometedores son: a) el número de días en un mes con precipitaciones mayores a un valor dado, b) el número de días en un año que exceden percentiles dados y c) número de días seguidos en un mes que exceden un percentil de temperatura dado.

3. Se realizó con éxito un Taller de Introducción a MySQL para facilitarle a los investigadores el acceso a la base de datos.
4. Se escribieron las macro-instrucciones para realizar los ensayos de cotas, saltos y picos y se depuraron utilizando la variable temperatura en las nueve estaciones con muestreo de cinco minutos.

Se recomienda posponer la realización de los ensayos de cotas, saltos y picos sobre las otras variables meteorológicas de interés hasta que los investigadores y los usuarios lo soliciten y definan los umbrales a utilizar en el análisis.

2. Giras y Red de Estaciones de CORBANA

i) Gira: 2 y 3 febrero de 2012

El 2 y 3 de febrero de 2012 se llevó a cabo la tercera gira a las estaciones CORBANA con los siguientes objetivos:

1. Consolidar el trabajo en grupo de los investigadores del CIGEFI del proyecto CORBANA.
2. Familiarizar al grupo de investigadores con la topografía regional para mejorar la interpretación de los resultados del proyecto.
3. Visitar la zona en que se encuentran algunas de las estaciones de esta Corporación y que hayan sido instaladas en una torre, con al menos 30 m de altura, para identificar el sitio idóneo para ubicar una torre de observación meteorológica.

Participantes, Actividades y Responsabilidades Asignadas

1. Blanca Calderón, presentación de configuración de los modelos para los experimentos numéricos.
2. Fernán Sáenz, breve presentación sobre resultados de la climatología basada en modelos numéricos para enero. Apoyo logístico.
3. Hugo Hidalgo, descripción del instrumental desde el punto de vista hidrológico. Colaboración en la identificación del sitio para instalación de la torre de observación.
4. Ingrid Rivera, manejo de bitácora de la gira y apoyo logístico.
5. Javier Soley, toma de fotografías de los aspectos técnicos (torres, posición de sensores, entorno de las torres, etc.). (Se solicita prestar atención a los paisajes regionales para la toma de una o varias imágenes que serían usadas para ilustrar la presentación del grupo en el Congreso Bananero Internacional a mediados de febrero).
6. Jorge Amador, coordinación general de la gira, explicaciones sobre los objetivos del trabajo de campo y descripción de la torre de observación.

7. José Luis Vargas y Alberto Salazar, observaciones técnicas sobre el estado actual de la instrumentación meteorológica en las estaciones visitadas y colaboración en la identificación del sitio adecuado para la instalación de una torre de observación con instrumental meteorológico del CIGEFI.
8. Juan José Vargas y Esteban Pérez, apoyo logístico y toma de información meteorológica durante la gira.
9. Natalie Mora, preparación, presentación y verificación, en la medida de lo posible, del pronóstico meteorológico para los días de la gira.
10. Paula M. Pérez, presentación de resultados preliminares sobre clasificación climática de la zona.
11. Ronald Díaz, apoyo fotográfico. Charla sobre las principales compañías bananeras y CORBANA.

Ruta de trabajo

El 2 de febrero se visitaron las siguientes estaciones de acuerdo al orden en que aparecen: Islas, Pénjamo, Las Valquirias y La Rita. Debido a que el camino a Las Valquirias se encontraba en mal estado, no se llevó a cabo la visita a esta estación. El 3 de febrero se visitaron Chirripó, Limofrut B, 28 Millas, Siquirres y Cartagena. Las estaciones que tenían un “datalogger” Campbell CR1000 (Islas y Chirripó) permitieron la comunicación con la computadora portátil que se llevó a la gira, por lo que se pudo comprobar el funcionamiento de los sensores *in situ*.

En contraste, no se logró comunicación con los “datalogger” Campbell CR10X en las estaciones Pénjamo, Cartagena, Limofrut B y Siquirres. El Ing. Eduardo Soto indicó que para poder visualizar los datos, hay que conectarse más bien con la interfase de red (Campbell NL100 Network Link Interfase) por lo que se requiere conocer el IP relativo a cada estación.

Se detectó un problema de configuración en la estación Davis, modelo GroWeather, ubicada en 28 Millas, en relación con el registro de la dirección de viento. La inspección mostró que la veleta está con un desfase de aproximadamente 180 grados.

Después de comparar las alturas de las diferentes torres en que se encontraban instaladas las estaciones meteorológicas, se consideró que Siquirres reunía los requisitos en cuanto altura para la instalación de la torre de observación meteorológica; en los alrededores de la estación había mucha vegetación que obstaculizaba la medición del viento y otros parámetros, por lo que se le solicitó colaboración al Ing. Eduardo Soto para coordinar la eliminación de algunos árboles.

ii) Gira: 25 de abril de 2012 (instalación de torre de observación meteorológica)

El objetivo de instalar esta torre es generar datos, que permitan conocer las variaciones de temperatura, precipitación y viento en la capa límite de la atmósfera.

El CIGEFI compró a la empresa Campbell Scientific Centro del Caribe S.A, el siguiente equipo para ser instalado junto a la estación meteorológica en la misma torre que CORBANA tiene en Siquirres:

1. 3 sensores de temperatura y humedad relativa, modelo HMP60-L, con longitudes de cable de 30, 20 y 10 m.
2. 2 sensores de viento modelo 03002, con longitudes de cable de 30 y 20 m. Queda pendiente un sensor de viento a 10 m, que fue adquirido ya y será instalado pronto.
3. 3 sensores de lluvia modelo TE525MM, con longitudes de cable de 30, 20 y 10 m.
4. 1 sensor de contenido volumétrico de agua del suelo, modelo CS616.
5. 1 termómetro de temperatura del suelo modelo CS107.
6. 1 “datalogger” Campbell modelo CR1000, un panel solar de 20 Watts y una batería recargable con regulador de voltaje CS-PS100.

Estos sensores fueron instalados por personal contratado de Campbell los días 13 y 15 de marzo de 2012; a partir de ésta última fecha la estación comenzó a generar datos en la Estación Siquirres de CORBANA, denominada en el proyecto como CIGEFI_et (et, uno en bribri).

El 25 de abril de 2012, personal del Centro (el Dr. Jorge Amador, el Lic. José Luis Vargas y el estudiante Alberto Salazar) realizó una visita a la torre de observación meteorológica en Siquirres con el fin de revisar el estado de los sensores y el funcionamiento del equipo. Se encontró a personal de la finca con gran deseo de colaboración y se eliminaron algunos árboles que se encontraban hacia el norte de la estación, mejorando con esto el paso del viento y por consiguiente adquiriendo mejores condiciones de observación. Se descargó, *in situ*, la información registrada por los sensores en el “datalogger” utilizando una computadora portátil. La Figura 2.1 muestra los detalles de la instalación instrumental (a) y algunas de las observaciones iniciales recopiladas para esta torre durante esta gira (b).

iii) Principales problemas encontrados

1. No fue posible comunicarse con las estaciones que poseen un “datalogger” CR10X debido a que se necesitaba la dirección IP de la estación en la red, lo anterior, provocó que no se pudiera comprobar el funcionamiento de los sensores *in situ*.
2. La veleta de la estación Davis ubicada en 28 Millas, marcaba una dirección desfasada 180 grados con respecto a la dirección verdadera.
3. El emplazamiento o el lugar donde se encuentra ubicada la estación de Siquirres, se llena de vegetación baja por lo que se recomienda un mantenimiento adecuado.

iv) Conclusiones y recomendaciones

1. Con relación al punto iii) es importante comunicarse con la “estación” *in situ* porque esto permite hacer una verificación del funcionamiento de los sensores, cada vez que se visite la estación. Esta es una actividad que se puede realizar en unos minutos, por ejemplo se puede comprobar que el sensor de lluvia está funcionando correctamente, girando la balanza del pluviómetro una vez e inmediatamente observar si el valor marcado en la computadora conectada al “datalogger” reporta algún valor (para el sensor TE525MM, este valor debería ser de 0,1 mm). En el caso de la dirección del viento, se observa la veleta para ver si coincide con lo esperado y se procede de forma similar con los otros sensores.

Se recomienda suministrar los IP de cada estación, para realizar un control del funcionamiento de los sensores.

2. Aunque el sensor de dirección del viento en 28 Millas está desfasado 180 grados con respecto a lo real, se recomienda mantenerlo en estas condiciones hasta que se realice un estudio de los datos de dirección del viento para identificar en qué momento ocurrió el problema.

Se recomienda colocar el sensor correctamente, una vez que se hayan corregidos los datos de dirección anteriores.

3. La maleza favorece la presencia de insectos que pueden afectar el equipo meteorológico. También puede afectar la forma en que la tierra absorbe y libera la radiación solar, provocando alteraciones en las mediciones de la temperatura. Según la OMM el terreno sobre el cual se están realizando las medidas debe estar cubierto con hierba corta.

Se recomienda mantener el área que rodea la estación meteorológica limpia de malezas.

3. Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

i) Análisis de las observaciones de BANACLIMA

El ciclo diurno atmosférico es la respuesta, en el período solar de 24 horas, a los procesos físicos de interacción atmósfera-océano-tierra. Este ciclo está influenciado por factores astronómicos, físicos y dinámicos asociados a aspectos topográficos, de vegetación, etc., que regulan la energía disponible para los procesos atmosféricos, en especial en la capa límite. El estudio de su estructura media así como su variabilidad espacio-temporal es vital para conocer el clima de una zona determinada, ya que brinda información sobre las circulaciones locales y el tipo predominante de precipitación en dicha región (Trenberth 2003). Es de fundamental interés científico además, para la preparación del pronóstico meteorológico a corto plazo.

El estudio del ciclo diurno de algunos parámetros atmosféricos sobre el Caribe de Costa Rica se presenta con el propósito de determinar la estructura y variabilidad espacial del ciclo diurno en esa región, desde la perspectiva estacional y climática, de algunos parámetros como la precipitación, la temperatura y el viento usando datos de estaciones meteorológicas automáticas para un conjunto de 11 sitios de observación en el Caribe de Costa Rica (BANACLIMA).

Un aspecto importante de la zona Caribe de Costa Rica es la forma de la costa, prácticamente una línea recta con muy pocas irregularidades, lo que es una ventaja para la interpretación de los flujos asociados a las brisas de tierra-mar. Los objetivos principales de esta parte son, estimar para el período de datos disponible, el ciclo diurno medio mensual para las variables atmosféricas mencionadas, de manera que puedan identificarse sus características estacionales y anuales, estudiar la dependencia del ciclo diurno de la precipitación con respecto a la topografía y la influencia marina, e identificar zonas climáticas en el Caribe de acuerdo a la estructura del ciclo diurno.

Esta investigación utilizó datos de estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el Caribe de Costa Rica de la base BANACLIMA de la Corporación Bananera Nacional, CORBANA (http://www.corbana.co.cr/intro_banaclima.shtml), con el objetivo inicial de identificar un periodo de varios años común para el estudio, de manera que los datos atmosféricos tuvieran una resolución temporal mínima de una hora. El período de datos disponible es relativamente corto (seis años, 2006-2011) por lo que algunas señales no están presentes en los datos, de manera que no se pueden resolver problemas de variabilidad interanual. El interés de CORBANA de conocer aspectos y detalles de la región donde posee sus plantaciones bananeras motivó e

impulsó varias actividades de este trabajo.

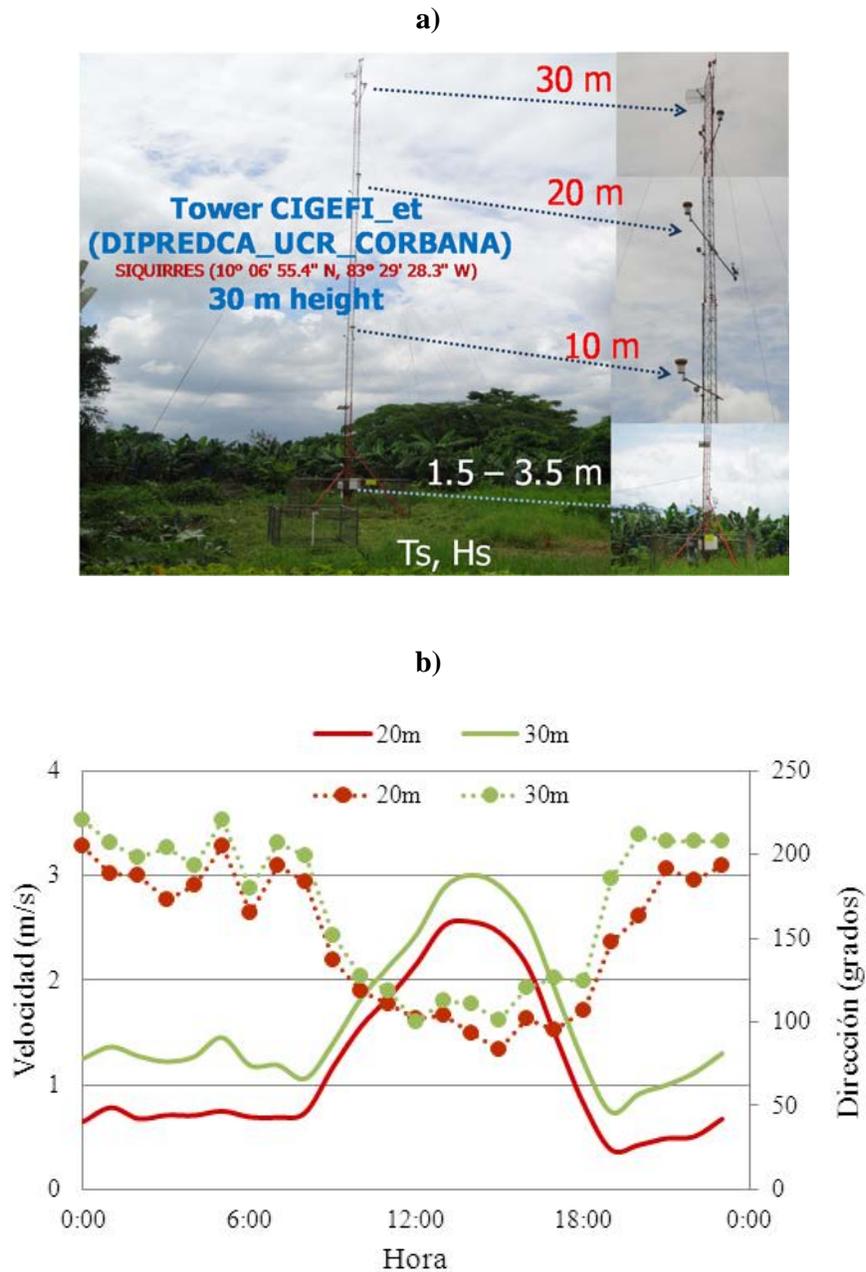


Figura 2.1 a) Emplazamiento y detalles del instrumental de CIGEFI_et y b) distribución temporal diaria media del viento para el periodo 15 marzo – 25 abril de 2012.

Al principio, se realizó un análisis exploratorio de los datos para obtener las características del ciclo diurno, esto se complementa con la estimación de los

estadísticos básicos de las variables usadas, precipitación, temperatura, viento y humedad específica.

Resultados

El análisis de resultados de las 11 estaciones de BANACLIMA se realiza por grupos, considerando su localización con respecto a las montañas al oeste de la región y a su distancia a la costa. La Figura 3.1 muestra la localización de las estaciones, los metadatos de éstas fueron incorporados al Informe Primero. El primer grupo de estaciones está localizado en una zona plana al norte de la vertiente; tres de ellas, Islas, Pénjamo y La Rita están a unos 50 km al oeste de la costa, mientras que Las Valquirias y Cartagena se localizan a una distancia de 25 km, aproximadamente. El segundo grupo, en el centro de la vertiente, lo forman Siquirres, 28 Millas, Chirripó (conocida también como Finca Chirripó) y Limofrut B, las primeras tres cercanas a las montañas al oeste o sur de su localización y la última cerca de la costa en una zona plana a menos de 10 km. del mar. El tercer grupo lo forman dos estaciones al sur de la vertiente, Agrotubérculos y PAIS, ambas cerca de la costa, la primera de ellas en una región con estribaciones montañosas y la segunda en una zona plana cerca de la frontera con Panamá. La información completa de todo el análisis se presenta en DVD adjunto, además, estos resultados serán instalados en el formato que corresponda en el Sistema de Información Geográfica (software ArcGIS) en La Rita.

El ciclo anual

Todas las estaciones en el primer grupo (zona norte) muestran un máximo estacional de precipitación en los meses de noviembre, diciembre y enero (Figura 3.2), época del año de frecuentes incursiones de masas de aire frío desde el norte y de intensificación de la componente invernal de la Corriente en Chorro del Caribe, CCC (Amador 1998, 2008). En esta zona, el mes de julio se destaca como un máximo secundario, el cual está posiblemente asociado a la región convergente en bajos niveles de la salida de la CCC (Amador 1998, 2008; entre otros). Abril y setiembre compiten por el mínimo de precipitación en la zona, mientras que las estaciones cercanas a la costa, incluyendo las de la zona central y sur, presentan otro máximo relativo en mayo (aún no explicado) que tiene el mismo orden de magnitud del máximo relativo de julio.

En contraste con el Pacífico de Costa Rica, la vertiente Caribe no muestra, a nivel mensual, ningún periodo seco. Los meses con mínima precipitación están en el rango 50-100 mm, en casi todas las estaciones, lo que indica una región con una buena capacidad hídrica. La precipitación anual acumulada disminuye, en términos generales,

de noroeste a sureste a lo largo de la costa. Los valores mayores de precipitación, arriba de 4000 mm anuales, se encuentran hacia la región de Tortuguero. Al oeste y sur de Las Valquirias, la precipitación es del orden de los 3500 mm anuales, disminuyendo hacia el suroeste de la región alcanzando valores de 3000 o menos cerca de la frontera con Panamá. La alta precipitación en toda la región favorece la saturación de los suelos y el potencial de deslizamientos e inundaciones en las zonas montañosas y planas de la vertiente, respectivamente. Con el propósito de complementar el análisis de la precipitación estacional, la Figura 3.3 muestra una comparación, mes a mes en términos de porcentaje, con respecto a la precipitación de Limofrut B en la zona central. Como se observa en esta figura, hay un periodo de alrededor de cinco meses (de junio a octubre) en el que la precipitación en la zona norte excede la de la zona central, mientras que al sur, casi todo el año, la precipitación mensual es inferior a la de la zona central.



Figura 3.1 Localización de las estaciones de BANACLIMA

Como era de esperar, los valores máximos de radiación (W/m^2) se observan durante los periodos de mínima precipitación (Figura 3.4). La Rita presenta los valores máximos de radiación, casi del orden de $300 W/m^2$. Las estaciones más alejadas de la costa en la zona norte y la sur reciben menos radiación, en este aspecto la nubosidad puede ser un elemento importante para explicarlo, en especial en esta última, donde la interacción del flujo con el sistema montañoso puede producir nubosidad estratiforme.

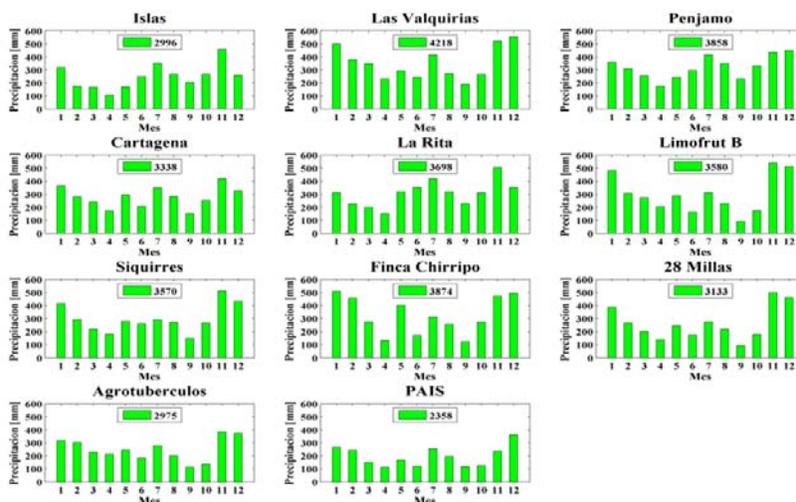


Figura 3.2 Ciclo anual de la precipitación en las estaciones de BANACLIMA.

El ciclo de temperatura anual a nivel regional es bastante consistente con lo observado en la precipitación y la radiación, excepto en La Rita, donde las temperaturas parecen ser bastante inferiores a lo esperado si se asocian a las observaciones de radiación en esta misma zona (Figura 3.5). Nótese los valores menores de esta variable durante los meses del invierno boreal y el ligero descenso en la temperatura durante el mes de julio, lo que es consistente con el máximo secundario de precipitación en esta época.

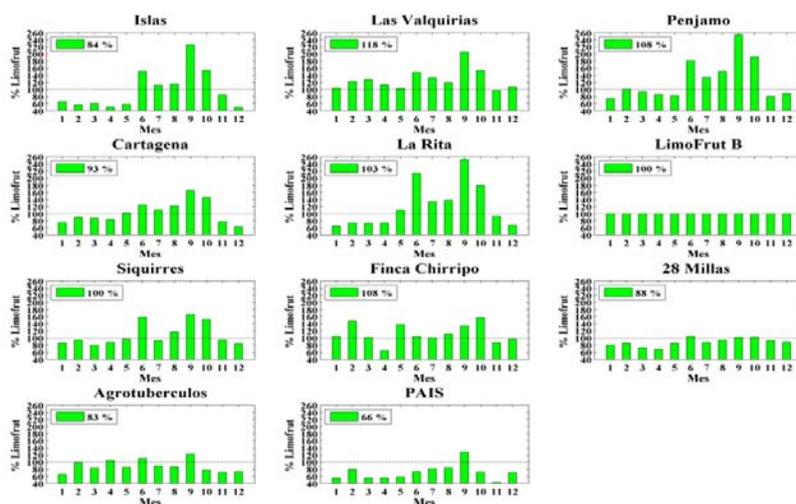


Figura 3.3 Comparación de la precipitación de cada estación con respecto a Limofrut B.

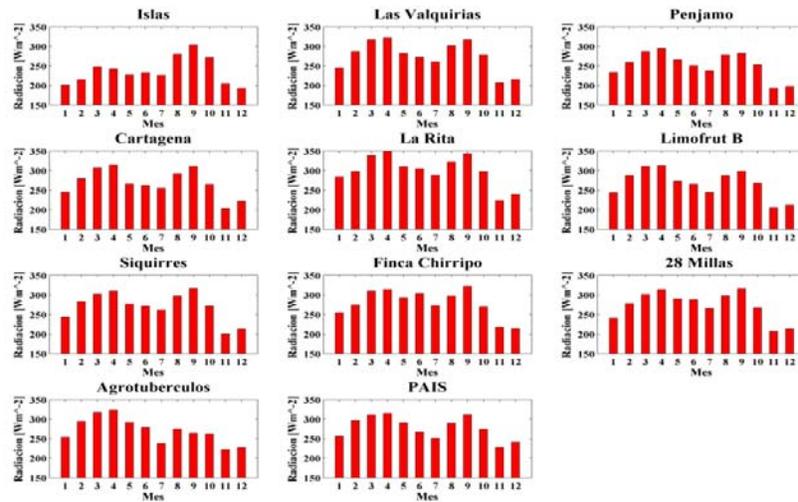


Figura 3.4 Ciclo anual de la radiación en las estaciones de BANACLIMA.

El viento medio mensual para todas las estaciones se observa en la Figura 3.6. En general el viento es débil, menor de 2 m/s, lo que podría ser una consecuencia de la fricción de la vegetación en razón de la altura a la que está instalado el sensor de viento de alrededor de 3,5 m. A pesar de esto, los máximos se observan casi siempre de diciembre a febrero-marzo. La Rita no muestra consistencia espacial con ninguna de las otras estaciones, lo que pone en tela de duda las observaciones de esta variable en esta estación.

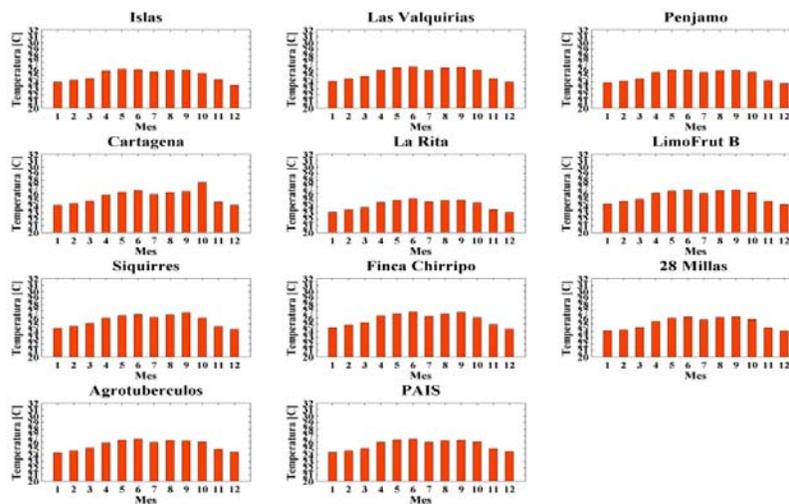


Figura 3.5 Ciclo anual de la temperatura en las estaciones de BANACLIMA.

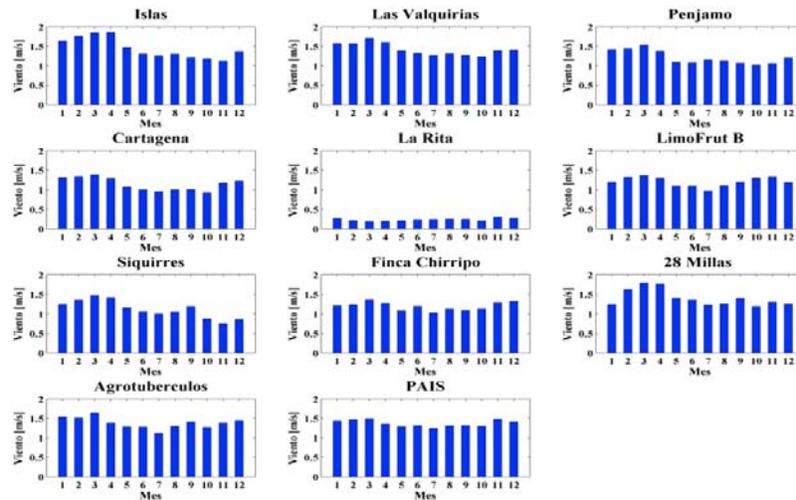


Figura 3.6 Ciclo anual del viento en las estaciones de BANACLIMA.

El ciclo diurno

Para visualizar mejor el ciclo diurno y sus características estacionales, se ha repetido información al principio y al final de los ejes verticales y horizontales (las horas y los meses, respectivamente) para crear las imágenes o figuras. En el eje vertical, se agregaron dos horas al principio y dos al final para observar mejor el ciclo diurno, en tanto en el eje de los meses se agregaron tres meses al principio y tres al final para observar mejor el aspecto estacional. Este sencillo procedimiento permite distinguir mejor las características del ciclo diurno y la parte estacional sin los problemas de borde en las figuras.

El ciclo diurno de la precipitación a nivel estacional presenta varios atributos importantes; entre ellos, que los máximos estacionales del invierno boreal, en todas las estaciones, están caracterizados por lluvias cuasi-continuas durante todo el día. La intensidad de las lluvias durante el ciclo diurno es más notable en las que están localizadas cerca de la costa y disminuye hacia el sureste de la vertiente (Figura 3.7). En este sentido, al parecer las incursiones de masas desde el norte asociadas a los frentes no penetran con mucha intensidad a las regiones que están a unos 50 km de la costa. Las estaciones más alejadas de la costa en la zona norte (Islas, Pénjamo y La Rita) presentan un máximo importante de lluvia entre las 14 y las 17-18 horas de mayo a octubre en esta última y con menor extensión estacional en las otras dos. Cartagena y Siquirres muestran también este máximo diurno, poco definido en las otras estaciones que presentan lluvias poco intensas a otras horas del día y la noche. Julio es un mes importante en la

distribución de la lluvia, pues ésta puede aparecer en casi todo el día. Ésta distribución está posiblemente asociada a los cambios en la intensidad del viento debido a la presencia de la CCC, pero que a nivel del ciclo anual no son bien observados por su carácter más sinóptico que local (Figura 3.7).

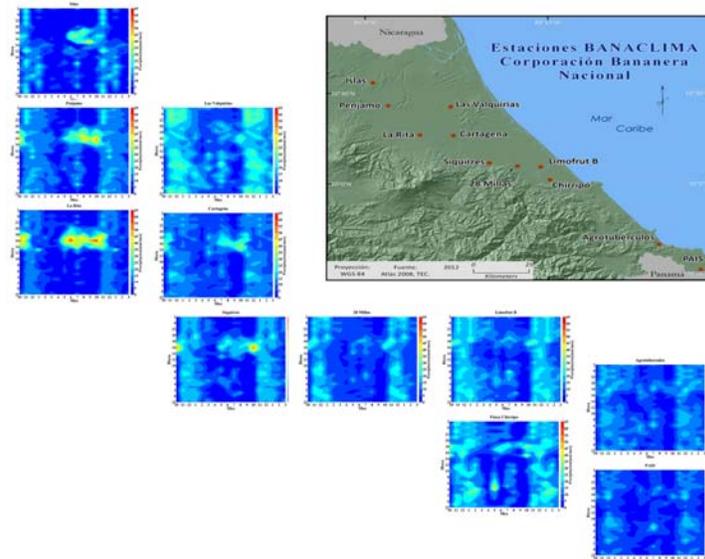


Figura 3.7 Ciclo diario mensual de la precipitación en las estaciones de BANACLIMA.

El ciclo diurno del viento está bien definido en todas las estaciones, en las cuales predomina la dinámica de la brisa tierra-mar (Figura 3.8). Durante la noche, por contraste térmico, el viento es débil de la tierra hacia mar y durante el día la dirección es la opuesta. Los valores máximos de viento se presentan de las 9 a las 17 horas alcanzando valores del orden de los 4 m/s o ligeramente mayor en algunas estaciones (ver Las Valquirias, por ejemplo). La Rita y 28 Millas muestran distribuciones complejas con intensidades de viento muy bajas debidas posiblemente a aspectos muy locales de observación, lo que dificulta su interpretación. Islas está sometida a un flujo sinóptico del este (los alisios) durante todo el año con muy pocas excepciones y la intensidad aumenta durante el día como consecuencia del efecto de la brisa de mar. Un aspecto importante observado en estas figuras del viento es la claridad con que esta brisa penetra tierra adentro hasta posiblemente más de 50 km, favorecida por la baja topografía de la zona norte.

La radiación a que está sometida la región tiene dos máximos estacionales

centrados en marzo-abril y setiembre (Figura 3.9). La intensidad de la radiación es máxima entre las 10 y la 12 horas, aspecto que no explica los máximos de precipitación observados en la zona norte en algunas estaciones (Figura 3.7). Julio es un mes de mínima radiación estacional, lo que está de acuerdo con la distribución observada de precipitación en la región. La Rita presenta los valores más altos de todas las estaciones (del orden de 600 W/m^2 durante las mañanas), sin embargo, esta distribución no parece estar de acuerdo con la de temperatura (Figura 3.10) y precipitación (Figura 3.7), lo que requiere una revisión del instrumental en este sitio. Las demás estaciones presentan distribuciones de temperatura consistentes, en general, con las de precipitación y radiación.

ii) Clasificación Climática de la Vertiente Caribe de Costa Rica

Introducción

Se describen las actividades del grupo relacionadas con el estudio de la clasificación climática, la variabilidad climática y el estudio de las series de tiempo de la región del Caribe costarricense, principalmente dentro del proyecto “Clima, Variabilidad y Cambio Climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: un estudio básico para la actividad bananera”, Proyecto V.I. 805-B0-402, CIGEFI-UCR y apoyado por CORBANA. Lo anterior con miras a ser incorporado dentro del segundo informe de avance que se presentará a la corporación. Dichas contribuciones fueron parte del material aportado por el grupo al primer taller de capacitación, llevado a cabo en el CIGEFI el 12 de abril de 2012.

Generalidades

Se podría definir el “Clima” como una descripción generalizada del “tiempo atmosférico” para un periodo de referencia dado, el cual generalmente es igual o mayor a 30 años; el tiempo atmosférico es la sucesión de los estados reales de la atmósfera, el cual es instantáneo y no se repite nunca exactamente. Se considera entonces que el término "Variabilidad Climática" es la variación entre un número de estados climáticos de la misma clase. En otras palabras fluctuaciones en las propiedades estadísticas sobre períodos de días, semanas, meses o años. El “Cambio Climático” se refiere a una variación estadísticamente significativa del estado global del clima o de su variación durante un largo período de tiempo (generalmente, décadas o más). El Cambio Climático puede deberse a procesos naturales internos, a presiones externas o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra.

De esa manera se determinan límites dentro de los cuales los valores medios, varianzas o frecuencias de valores entre los límites establecidos, pueden ser aceptados como normales. Los eventos fuera de estos límites, pueden ser vistos como anómalos a un cierto nivel de significación estadística (mayores detalles pueden ser consultados en: <http://www.flexpma.com/FWS/Archivos/Variabilidad%20Climatica.html>, última visita 30/08/2006, y <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico/cambio-climatico.html>, última visita 14/02/2008).

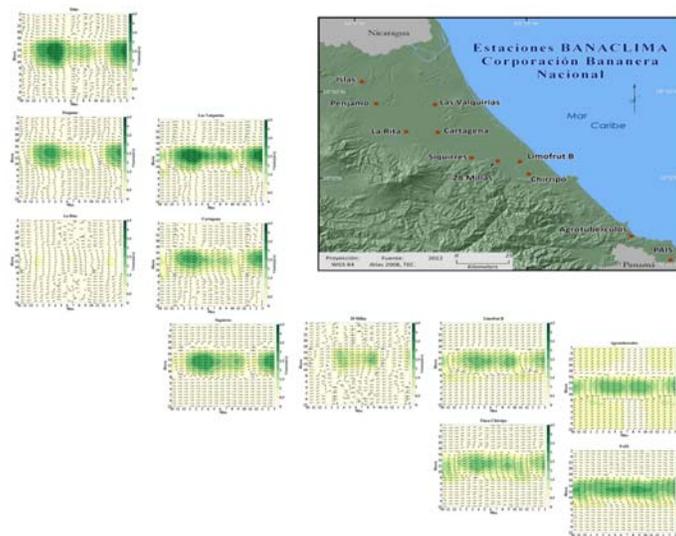


Figura 3.8 Ciclo diario mensual del viento en las estaciones de BANACLIMA.

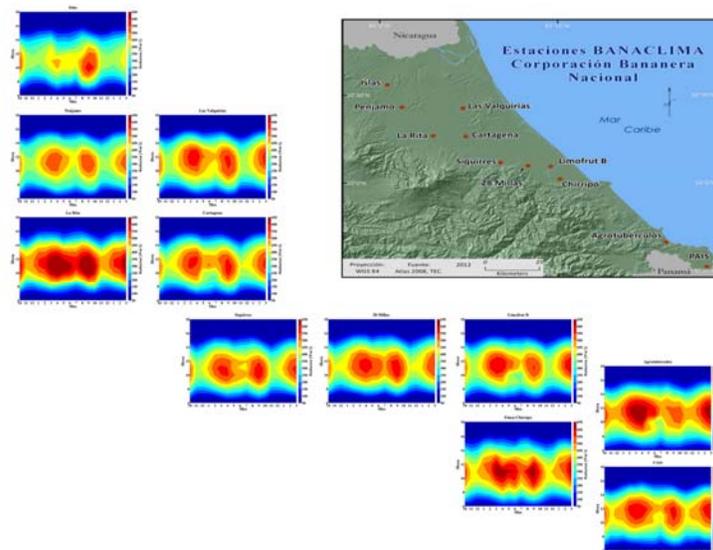


Figura 3.9 Ciclo diario mensual de la radiación en las estaciones de BANACLIMA.

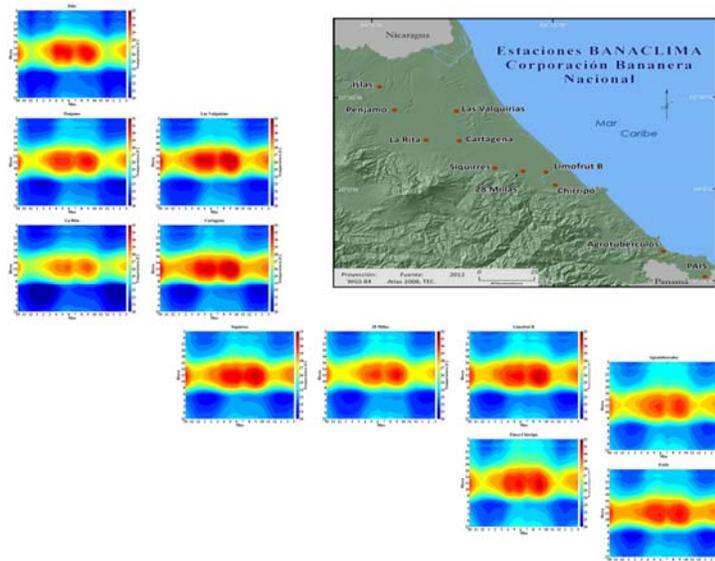


Figura 3.10 Ciclo diario mensual de la temperatura en las estaciones de BANACLIMA.

El sistema climático está integrado por 5 componentes a saber: a) la atmósfera terrestre; b) los océanos; c) la biosfera terrestre y marina; d) la criosfera (hielos marinos, cubiertas de nieve, glaciares continentales y las cubiertas de hielo continental) y; e) la litosfera o superficie terrestre. A lo largo del año, el clima en un lugar determinado varía debido a que la Tierra rota alrededor del Sol inclinada en su eje aproximadamente 23° . Esto provoca que los diferentes sitios de la Tierra reciban diferentes cantidades de radiación. Lo anterior es conocido como “estaciones climáticas” y también causa que la presión superficial en las diferentes localidades varíe, lo que se asocia con movimientos de masas de aire, más conocidas como “viento” (Fallas y Oviedo 2003).

Sobre América Central, el viento dominante a lo largo del año son los conocidos vientos alisios, asociados al sistema de alta presión del Atlántico Norte, con una dirección predominante del Noreste. Este viento tiene una magnitud máxima durante el invierno boreal y disminuye su intensidad entre mayo y octubre, observándose una intensificación secundaria durante el mes de julio, mes durante el cual se observa la máxima intensidad de una corriente en chorro en niveles bajos de la atmósfera sobre el Mar Caribe, cerca de América Central (Alfaro 2002).

Costa Rica cuenta con una alta diversidad en topografía, exposición, distancia a la costa, patrones de circulación atmosférica, lo cual resulta en grandes variaciones temporales y espaciales de precipitación y en una relativa abundancia de microclimas

contrastantes. Además, dentro de los factores que pueden influenciar el clima en Costa Rica se encuentran El Niño-Oscilación del Sur, movimientos latitudinales de la Zona de Convergencia Intertropical, la CCC, el veranillo, las tormentas tropicales, la influencia del Atlántico y los frentes fríos (Amador *et al.* 2006).

Debido a lo anterior, es que en este informe se describen las actividades del grupo relacionadas con el estudio de la clasificación climática, la variabilidad climática y el estudio de las series de tiempo de la región del Caribe costarricense, principalmente.

Datos

En esta parte del trabajo, se usaron varias bases de datos ya descritas en el informe anterior, a saber: 1) el conjunto de estaciones meteorológicas del CIGEFI, llamado también NUMEROSA, 2) los datos en grilla (2 km x 2 km) de Pedreros (2009), 3) los datos en rejilla de CRN073 (0,5 x 0,5 grados, Magaña *et al.* 1999), 4) los datos ERA-interim en una grilla de 0.5 x 0.5 grados, 5) los datos del CRU (rejilla 0,5 x 0,5 grados), 6) la base de datos mensual de precipitación elaborada por Xie y Arkin (1996, 1997) con resolución espacial de 2,5° x 2,5° de enero de 1979 a octubre de 2010, así como también con 7) los datos de la temperatura superficial del mar (TSM) elaborados por Xue *et al.* (2003) y mejorado por Smith *et al.* (2008), para el período de enero de 1854 a mayo de 2011 de una rejilla de 2° x 2°. La inspección inicial, recomendada en el informe anterior, mostró que con la excepción de los conjuntos CRU y Xie y Arkin (ver por ejemplo Figura 3.11), los resultados de la distribución de precipitación de las rejillas para el punto más cercano a la ciudad de Limón, ajustan bien con la distribución de la estación de Limón con la excepción de la base de datos ERA-Interim (ver por ejemplo Figuras 3.12 y 3.13). En general los datos de Pedreros y CRN073 muestran buena correlación a escalas mensuales y anuales, con excepción de Guatemala y la costa Caribe de Nicaragua (no mostrado). Pedreros mostró una buena correlación con los datos de las estaciones a nivel mensual y anual (no mostrado).

Resultados de la clasificación climática

Esquemas tradicionales de clasificación climática, como el de Köppen, definen la Vertiente del Caribe de América Central como una región de lluvia regular y abundante que excede la evaporación durante todos los meses y en la cual no hay una estación seca bien definida, con una temperatura superficial del aire superior a los 18°C. Nótese que estas clasificaciones no reflejan la variabilidad climática observada en la Vertiente del Caribe de Costa Rica, razón por la cual se deben aplicar modificaciones metodológicas

a los esquemas tradicionales de clasificación, incorporando también el uso de técnicas estadísticas más sofisticadas.

La variabilidad térmica y pluviométrica es una característica del territorio costarricense, verbigracia la diferencia climática entre las dos vertientes, la Pacífica y la Caribe, donde la primera por estar a sotavento posee un régimen de menor humedad en el aire mientras que la ladera de barlovento, sitio por donde ingresan los alisios, recibe los vientos desde el Caribe cargados de humedad que influyen de manera determinante en el clima de la vertiente.

Como se mencionó anteriormente, la vertiente Caribe se caracteriza por ser una región húmeda en donde llueve prácticamente todo el año con dos períodos relativamente secos: el primero de febrero a marzo, mientras que el segundo es de setiembre a octubre, siendo este último periodo un poco más seco que el primer periodo. Dentro de este trabajo, se analizaron variables meteorológicas recolectadas en un período mayor a 10 años y se identificaron patrones climáticos junto a la morfología terrestre y ubicación geográfica en el país. Como resultado de esto a cada estación se asocia a un grupo climático de la clasificación de Herrera (1986), con sus adaptaciones a los datos actuales. A partir de los datos de las estaciones y con la guía de la Clasificación Climática para Costa Rica elaborada por Herrera (1986), se calcula la evapotranspiración potencial (ETP), los índices de: aridez, hídrico y humedad. Luego, se transcribe la información a su respectiva representación espacial creando una base de datos espaciales que se traduce a través de un “software” de Sistema de Información Geográfica (SIG), en donde el método de interpolación rellenará los espacios vacíos entre las estaciones. Se analizan los mapas para crear zonas con un comportamiento climático homogéneo entre sí. Además, la zonificación de zonas de vida, así como el factor altitudinal, son recursos considerables para la delimitación de los grupos climáticos.

Se usaron los datos de 15 estaciones meteorológicas en la vertiente Caribe (Tabla 3.1), las cuales son sometidas a un análisis y discriminación de la información para verificar su calidad. Las estaciones, en su mayoría, se localizan a lo largo del eje costero limitando la información en las partes altas de la región y sesgando la interpolación.

De las 15 estaciones disponibles, 8 estaciones cuentan con datos de precipitación y temperatura, por tanto para el resto que solo tiene el dato de precipitación, se le asigna el valor de temperatura de la estación más cercana (Tabla 3.2), ya que es una zona donde la variación térmica no es significativa.

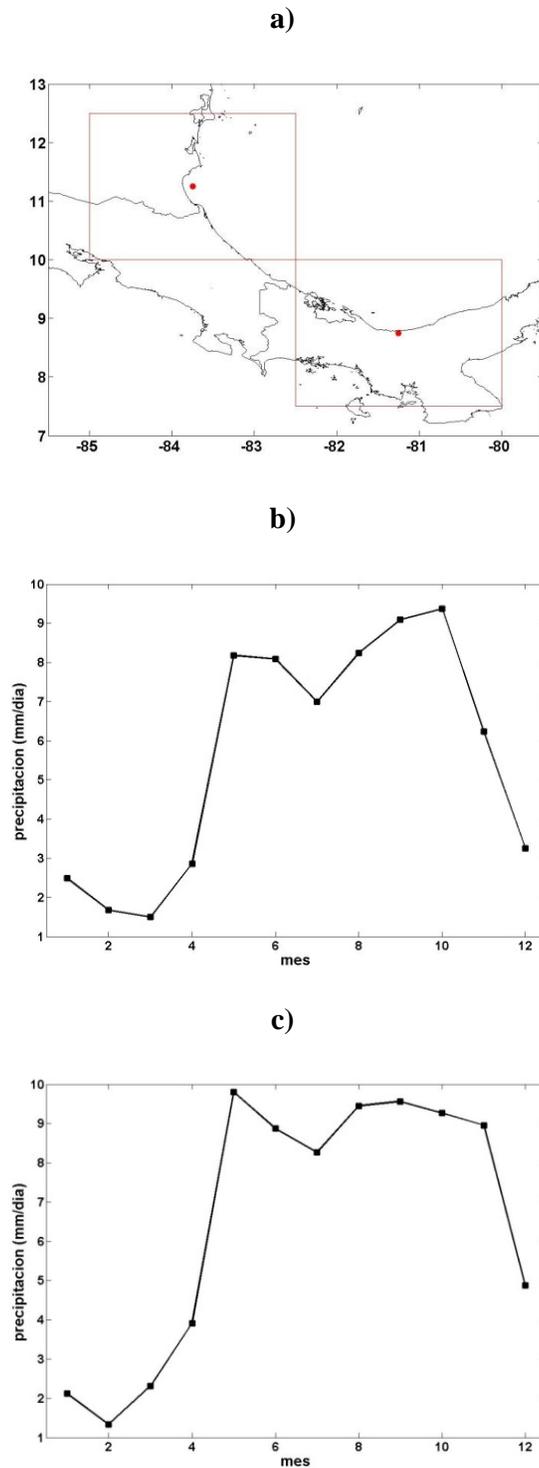


Figura 3.11 a) Área de los puntos de rejilla más cercanos a Puerto Limón del conjunto de datos de precipitación mensual de Xie y Arkin. b) y c) Ciclo anual de los puntos mostrados en a), al Norte y Sur del mapa, respectivamente. Nótese la no correspondencia con el ciclo anual mostrado en la Figura 3.2 a y b.

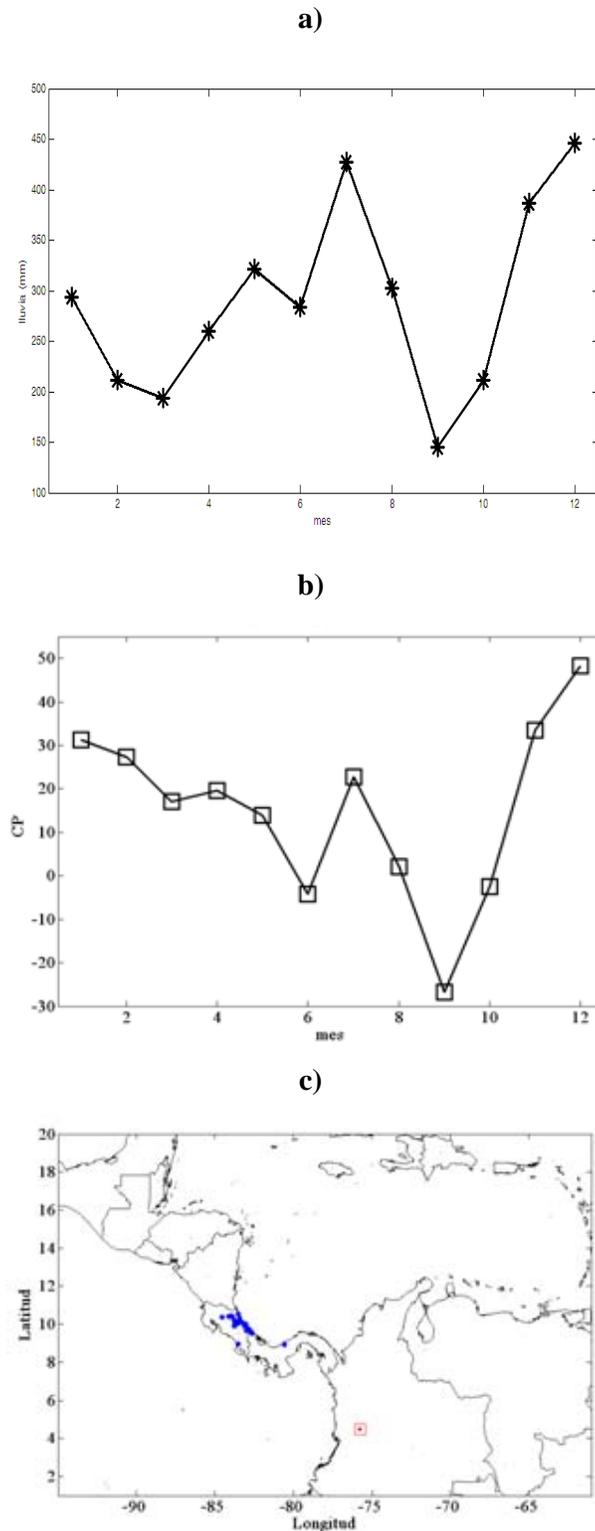


Figura 3.12 a) Ciclo anual de la precipitación en la estación de Limón, 1923-2004, b) ciclo anual de la componente principal asociada con 27 estaciones ubicadas en la vertiente del Caribe de Costa Rica y mostradas como puntos azules en c), a partir de Fallas y Alfaro (2012).

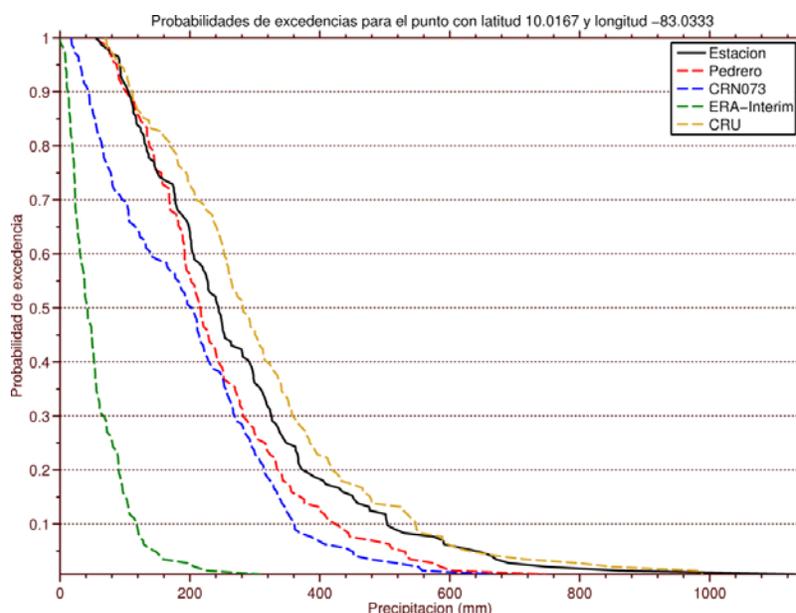


Figura 3.13 Distribución de probabilidades de precipitación para un punto cercano a la ciudad de Limón usando diferentes bases de datos.

Número	Nombre	Lugar	Latitud N	Longitud W	Altitud (m.s.n.m.)
71017	Ticabán	Pocosí	10°24'	83°50'	60
71002	La Mola	Guápiles	10°21'	83°46'	70
73103	Sitio Matas	Turrialba	09°52'	83°37'	900
73049	La Mola 2	Guápiles	10°17'	83°35'	50
73109	Guayabo	Turrialba	09°59'	83°42'	1003
73111	Hacienda Victoria	Guápiles	10°16'	83°46'	80
73091	Hacienda El Carmen	Siquirres	10°12'	83°29'	15
77002	La Lola	Siquirres	10°06'	83°23'	40
81003	Limón	Limón	10°00'	83°03'	3
85006	Puerto Vargas	Limón	09°44'	82°49'	3
87006	Sixaola	Sixaola	09°30'	82°36'	11
87003	Daytonia	Daytonia	09°31'	82°38'	10
69537	La Selva	Sarapiquí	10°25'	83°59'	40
69506	San Miguel	Sarapiquí	10°19'	84°11'	500
73010	CATIE	Turrialba	9°53'	83°38'	602

Tabla 3.1 Estaciones disponibles para la clasificación climática (elaboración del proyecto).

La evapotranspiración es la pérdida de humedad del suelo por la evaporación directa y la transpiración de las plantas (Cuadrat y Pita 2004). Existen dos tipos de evapotranspiración: la real (o actual) y la potencial. La primera es la cantidad de agua que se evapora en una región determinada que responde a las condiciones climáticas

(Merlet y Santibañez 1989); mientras que la potencial es la transferencia máxima de agua posible bajo condiciones ideales de textura del suelo y vegetación (Thornthwaite 1948).

Estación sin datos de temperatura	Estación más cercana
Guayabo	CATIE
Sitios Matas	CATIE
Puerto Vargas	Limón
Daytonia	Limón
Sixaola	Limón
San Miguel	La Selva
Ticabán	La Mola

Tabla 3. 2 Estaciones con los datos faltantes de temperatura (elaboración del proyecto).

Para estimar la evapotranspiración existen varias maneras como los instrumentos meteorológicos, por ejemplo: el evaporímetro Piché o el lisímetro; por métodos analíticos como el balance de energía o la ecuación del balance de humedad; y métodos empíricos como Penman, Turc, Blanney-Cridley y Thornthwaite (Cuadrat y Pita 2004).

En este estudio se utiliza la fórmula empírica de Thornthwaite, que a continuación se detalla. En este esquema la temperatura es el principal controlador de la evapotranspiración, además existe una relación entre este elemento del clima y la evapotranspiración, en los meses de 30 días y con 12 horas de radiación solar (Thornthwaite 1948). Esta relación se expresa como:

$$e = c t^a, \quad (3.1)$$

dónde "e" es la evapotranspiración mensual en centímetros, t es la temperatura mensual en °C, y los coeficientes c y a varían de un lugar a otro. Este método se puede aplicar con relativa confianza en las zonas húmedas de Costa Rica (Villón 2000), por tanto se ha seleccionado para la determinación de este indicador en el Caribe de Costa Rica.

A partir del dato de temperatura media mensual se calcula el índice térmico mensual que varía de 0 a 160, con la ecuación (3.2).

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (3.2)$$

La sumatoria de los 12 meses de i , es el índice de variación térmica anual, I . La relación entre I y a es muy cercana por la ecuación (3.3), donde este exponente varía de 0 a 4,25

$$a = (0,6751) 10^{-6}I^3 - (0,771) 10^{-4}I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad (3.3)$$

Por tanto, la evapotranspiración potencial está dada por la ecuación (3.4), según Thornthwaite (1948):

$$e = 1,6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a \quad (3.4)$$

donde a está dado en la ecuación (3.3). Luego, se aplica un valor de corrección según la latitud y el mes a considerar, ecuación (3.5)

$$e_c = f e, \quad (3.5)$$

donde:

e_c = Evapotranspiración mensual corregida, en mm

f = Factor de corrección (Tabla 3.3)

e = Evaporación mensual sin corregir, en mm

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,769	0,70
45	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
25	0,93	0,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	0,99	0,91	0,91
20	0,95	0,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	0,93	0,94
15	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5	1,00	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,02	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04

Tabla 2.3 Factor de corrección f , por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una para la latitud norte. En negrita los coeficientes para el área de interés. Fuente: Villón 2000.

Seguidamente, siguiendo a Herrera (1986) para la clasificación climática de Costa Rica, se determinan los índices de: aridez, hídrico y humedad, los cuales indican las provincias de humedad para cada estación meteorológica.

Índice de aridez:

Este índice es la relación entre el déficit de agua anual y la necesidad de agua anual (ecuación 3.6).

$$I_a = \frac{\text{Déficit de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de Agua anual (mm)}} \quad (100) \quad (3.6)$$

Índice hídrico:

Indica la relación entre el exceso de agua y la necesidad, ecuación (3.7)

$$I_h = \frac{\text{Exceso de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de Agua anual (mm)}} \quad (100) \quad (3.7)$$

Índice de humedad:

Es la relación entre el índice hídrico y el de aridez; por tanto, cuando el índice de humedad es positivo, el clima es húmedo; mientras que si el índice es negativo el clima de la región es seco (Thornthwaite 1948). Se calcula utilizando la ecuación (3.8).

$$I_m = I_h - I_a \quad (3.8)$$

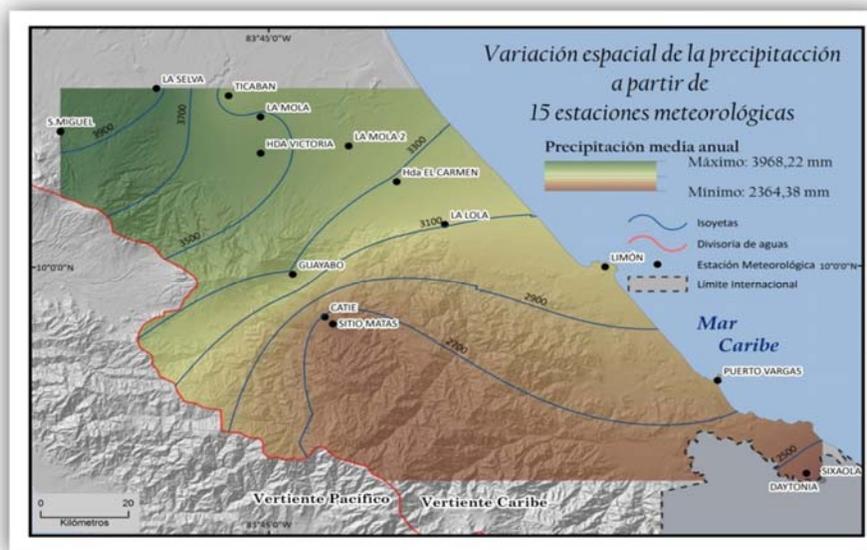


Figura 3.14 Distribución anual de la precipitación (elaboración del proyecto).

Como herramienta para la clasificación, a continuación se presenta la distribución espacial de las variables utilizadas y los índices explicados anteriormente. La Figura 3.14 muestra un patrón de mayor precipitación anual hacia el norte oeste del área, con valores de precipitación cercanos a los 4000 mm anuales de lluvia, mientras que hacia el sur en la costa, la precipitación disminuye paulatinamente hasta los 2500 mm anuales.

En cuanto a la distribución temporal anual, hay un máximo de días con precipitación en las estaciones: La Mola y Hacienda El Carmen, localizadas en la zona

de llanura; mientras que en las partes altas hay otro máximo en las estaciones de Sitio Matas y CATIE (Figura 3.15).

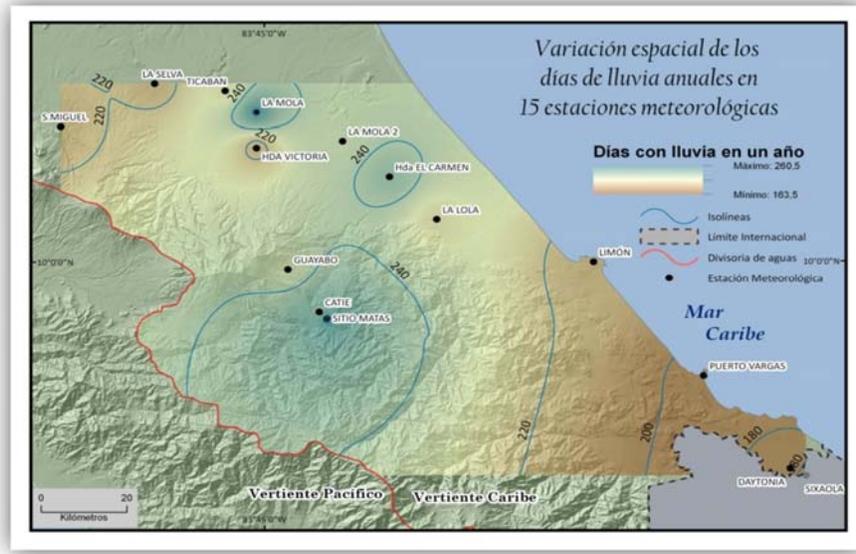


Figura 3.15 Días con lluvia en un año (elaboración del proyecto).

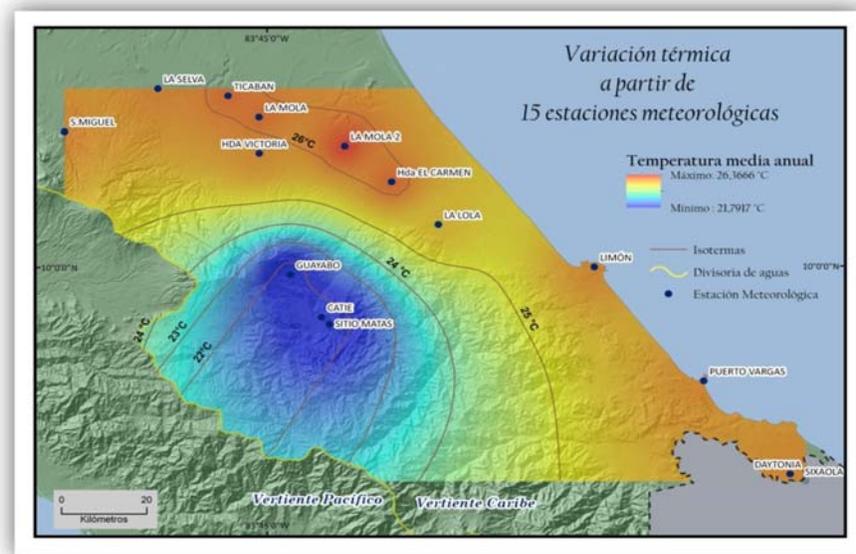


Figura 3.16 Distribución espacial de la temperatura (elaboración del proyecto).

En el caso de la temperatura, los datos de las estaciones alineadas a la costa no indican una amplitud térmica significativa, como se observa en la Figura 3.16, se

mantienen entre los 25 y 26 °C. En el caso de las estaciones a barlovento la temperatura desciende a un mínimo de 22 °C en la media mensual.

Nombre	Temperatura (°C)	ETP (mm)
Ticabán	26,11	1568,21
La Mola	26,11	1568,21
Sitio Matas	21,79	1028,94
La Mola 2	26,37	1617,86
Guayabo	21,79	1028,94
Hda Victoria	25,85	1516,32
Hda El Carmen	26,16	1576,56
La Lola	25,44	1448,40
Limón	25,86	1518,57
Puerto Vargas	25,86	1518,57
Sixaola	25,86	1518,57
Daytonia	25,86	1518,57
La Selva	25,93	1533,18
San Miguel	25,90	1533,18
CATIE	21,79	1028,94

Tabla 3.3 Resultado de la ETP y los valores de temperatura media mensual para cada estación (elaboración del proyecto).

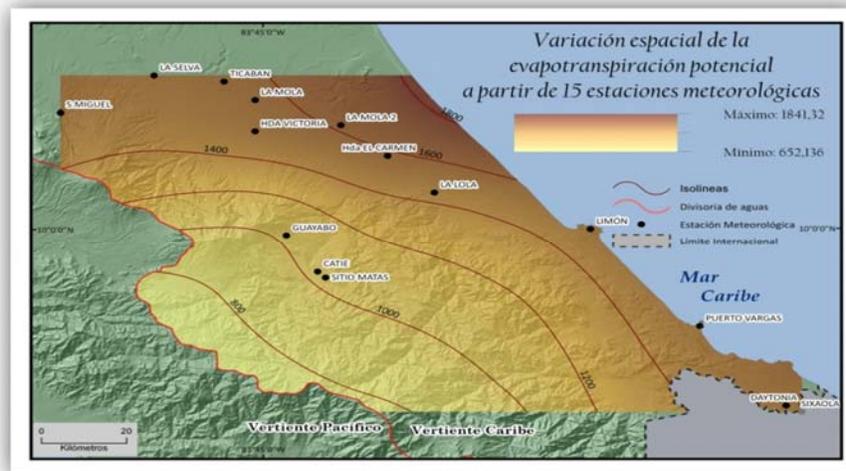


Figura 3.17 Evapotranspiración Potencial (elaboración del proyecto).

Luego fue necesario calcular la ETP y los índices anteriormente explicados. La Tabla 3.4 contiene la relación entre la temperatura y la ETP calculada por el método de Thornthwaite. La Figura 3.17 ejemplifica la ETP en la región.

Grupo Climático	Características	Estaciones meteorológicas
D6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua	Daytona y Sixaola
	Precipitación media anual (mm) = 2200-2740	
	Temperatura media anual= 24-27 °C	
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1656 - 1710	
	Índice de aridez (%) = < 3	
	Índice hídrico (%) = 40-60	
F6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit	Limón y Puerto Vargas
	Precipitación media anual (mm) = 2800-3420	
	Temperatura media anual= 24-26 °C	
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1656 - 1710	
	Índice de aridez (%) = < 3	
	Índice hídrico (%) = 80-100	
G4	Clima muy húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit	La Selva y San Miguel
	Precipitación media anual (mm) = 3130-4700	
	Temperatura media anual= 21-26 °C	
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1530-1710	
	Índice de aridez (%) = 0-10	
	Índice hídrico (%) =100-300	
G7a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua	Ticabán, La Mola, La Mola 2, Hacienda Victoria, Hacienda El Carmen, La Lola
	Precipitación media anual (mm) = 2840-4800	
	Temperatura media anual= 24-26 °C	
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1420-1656	
	Índice de aridez (%) = 0-10	
	Índice hídrico (%) =100-300	
G7b	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua	Guayabo, Sitios Matas, CATIE
	Precipitación media anual (mm) = 2100-5600	
	Temperatura media anual= 18-22 °C	
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1020-1656	
	Índice de aridez (%) = 0-10	
	Índice hídrico (%) =100-300	

Tabla 3.6 Grupos climáticos (elaboración del proyecto).

A continuación, se presenta la clasificación climática con sus respectivas características (Tabla 3.5) y la Figura 3.18 muestra la delimitación de los grupos

climáticos. Como guía para trazar los grupos climáticos, se usaron las curvas de nivel a escala 1:50000 y las zonas de vida del atlas (2008).

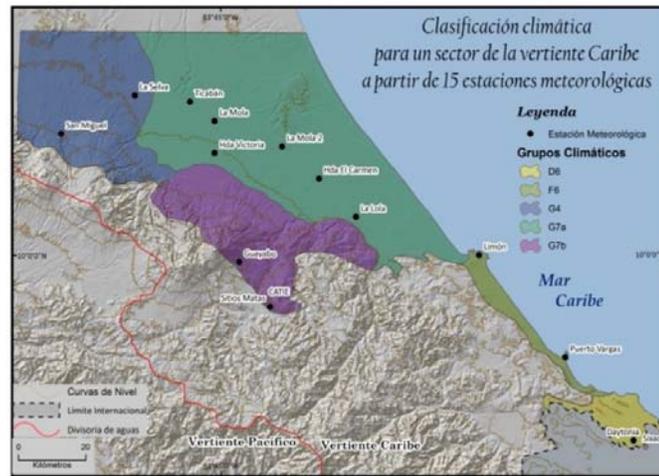


Figura 3.18 Delimitación de los grupos climáticos.

iii) Análisis de componentes principales

Introducción

En la segunda parte se hizo un análisis de componentes principales rotados (CPR). El CPR es un método de reducción que sirve para descomponer las señales de precipitación de las estaciones a componentes principales. Los componentes principales corresponden a las regiones en las cuales hay una covariación en la precipitación y por lo tanto forman una región climática. Los componentes principales son ortogonales (intercorrelación cercana a cero). La rotación es un procedimiento para ayudar a la identificación de las regiones con más precisión. Resultados del análisis de CPR usando las estaciones de precipitación en la zona caribeña de Costa Rica mostró que existen 3 subregiones importantes en orden de varianza explicada: 1) la región central-sur, que incluye a Limón y Sixaola, 2) la región norte y 3) la región montañosa (no mostrado). Análisis de CPR de los datos de precipitación de Pedrero para la zona Caribe confirmó esta regionalización (Figura 3.19). Cabe destacar que la identificación de estos modos de variación en la Vertiente Caribe de Costa Rica, puede ser usada en esquemas de predicción climática, al estar algunas veces estas asociadas con fuentes de variabilidad climática que influyen el clima de la región descritas anteriormente.

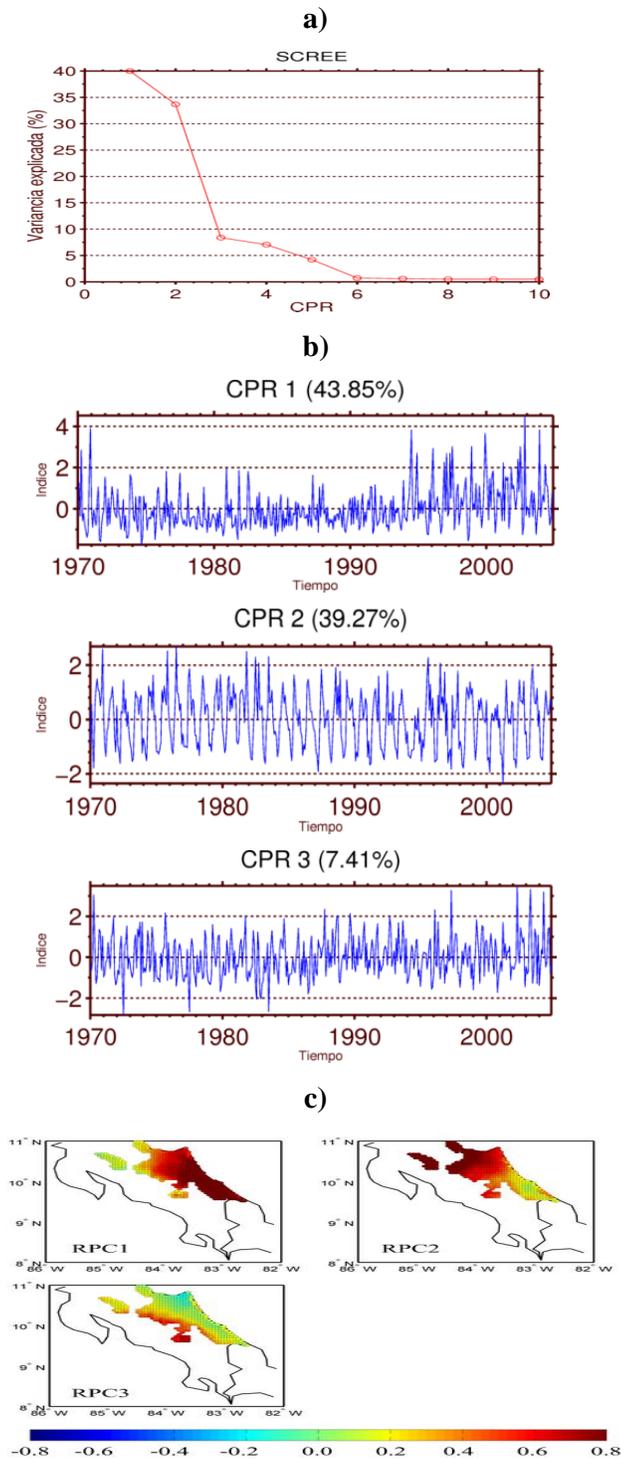


Figura 3.19 Resultados del análisis de componentes principales rotados con los valores de precipitación mensual de la base de datos de Pedreros. Se muestra a) el gráfico de scree, b) las series de tiempo de los componentes principales y c) el mapa de cargas (correlación entre los componentes principales y los datos originales usados en el análisis).

Variación de la escorrentía

En la tercera parte del análisis, se investigó la variación de la escorrentía en Limón. Usando un modelo hidrológico (el Modelo de Capacidad de Infiltración Variable) se logró generar una simulación retrospectiva de 1960 a 1991 (Figura 3.20). Se encontró que en los datos de precipitación y de escorrentía existe una periodicidad típica con un período de retorno de alrededor de 8 años (no mostrado). Esta periodicidad empezó a notarse alrededor de 1986 (no mostrado).

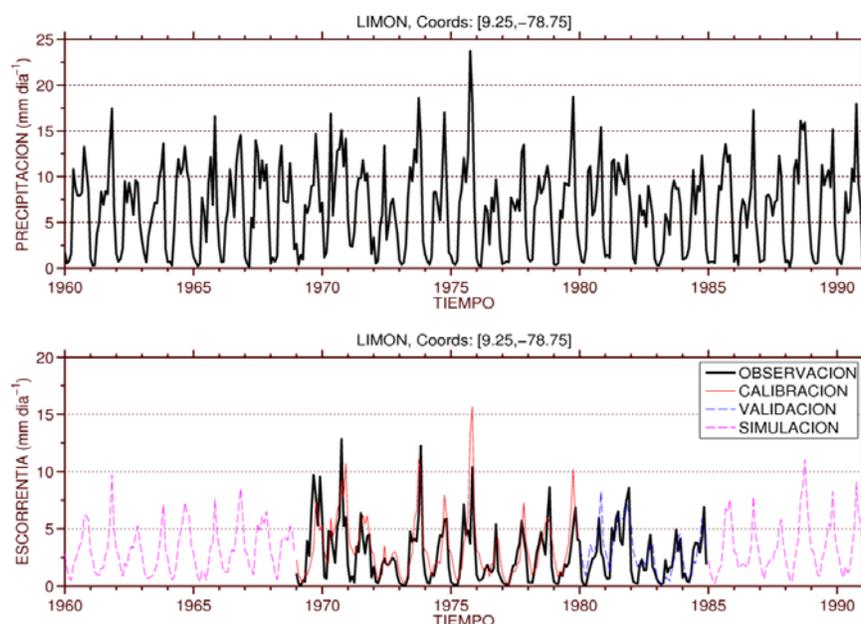


Figura 3.20 Precipitación observada y escorrentía modelada para un punto cercano a la ciudad de Limón.

Análisis de tendencias presentes en las series de tiempo

Por último, el análisis de las tendencias presentes en las series de tiempo de la región del Caribe de Costa Rica, mostró que no es posible identificar con un nivel de significación estadística apropiado, una tendencia, ya sea positiva o negativa en la precipitación (Figura 3.21).

Por otra parte, la temperatura media superficial del aire y del mar, muestra una tendencia positiva durante las últimas décadas en dicha región (Figura 3.22).

Principales problemas encontrados

Si bien es cierto se contó con los inventarios por parte del IMN e ICE de las estaciones ubicadas en la vertiente del Caribe, el precio que significaba la adquisición de dicha información estaba fuera del presupuesto del presente proyecto. Debido a lo

anterior, se debió recurrir a los archivos existentes en la base de datos NUMEROSA y de otras fuentes descritas en la sección ii), lo que consumió un tiempo apreciable del cronograma propuesto inicialmente.

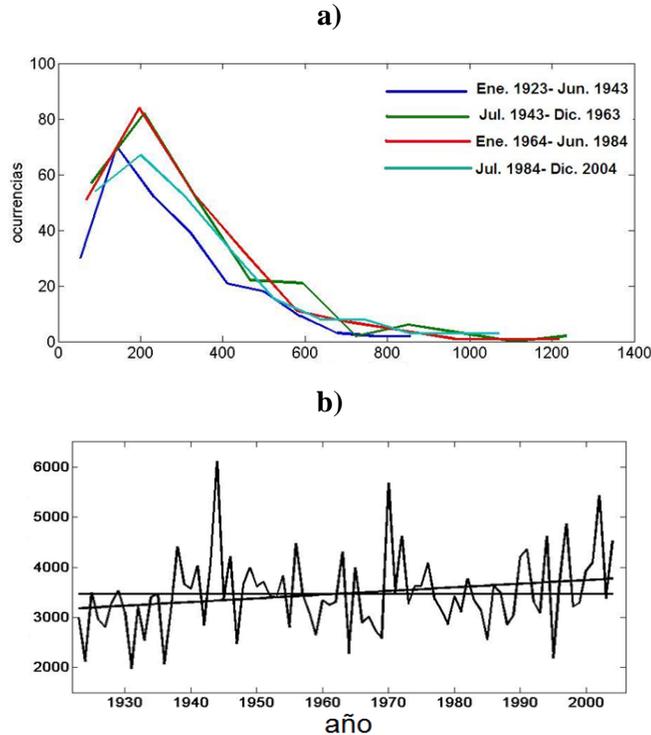


Figura 3.21 a) Distribución de probabilidad empírica y b) tendencia de la serie de tiempo en la estación de Limón, a partir de los valores de acumulados mensuales (mm) del periodo 1923-2004. La tendencia mostrada en b) tiene un valor de 7,32 mm/año y un valor-p asociado de 0,0385.

Conclusiones y recomendaciones

1. Costa Rica cuenta con una alta diversidad en topografía, exposición, distancia a la costa, patrones de circulación atmosférica, lo cual resulta en grandes variaciones temporales y espaciales de precipitación y en una relativa abundancia de microclimas contrastantes. Además, dentro de los factores que pueden influenciar el clima en Costa Rica se encuentran El Niño-Oscilación del Sur, movimientos latitudinales del Centro de Convergencia Intertropical, CCC, el veranillo, las tormentas tropicales, la influencia del Atlántico y los frentes fríos.
2. Se deben aplicar modificaciones metodológicas a los esquemas tradicionales de clasificación climática, para incorporar el uso de técnicas estadísticas más sofisticadas.

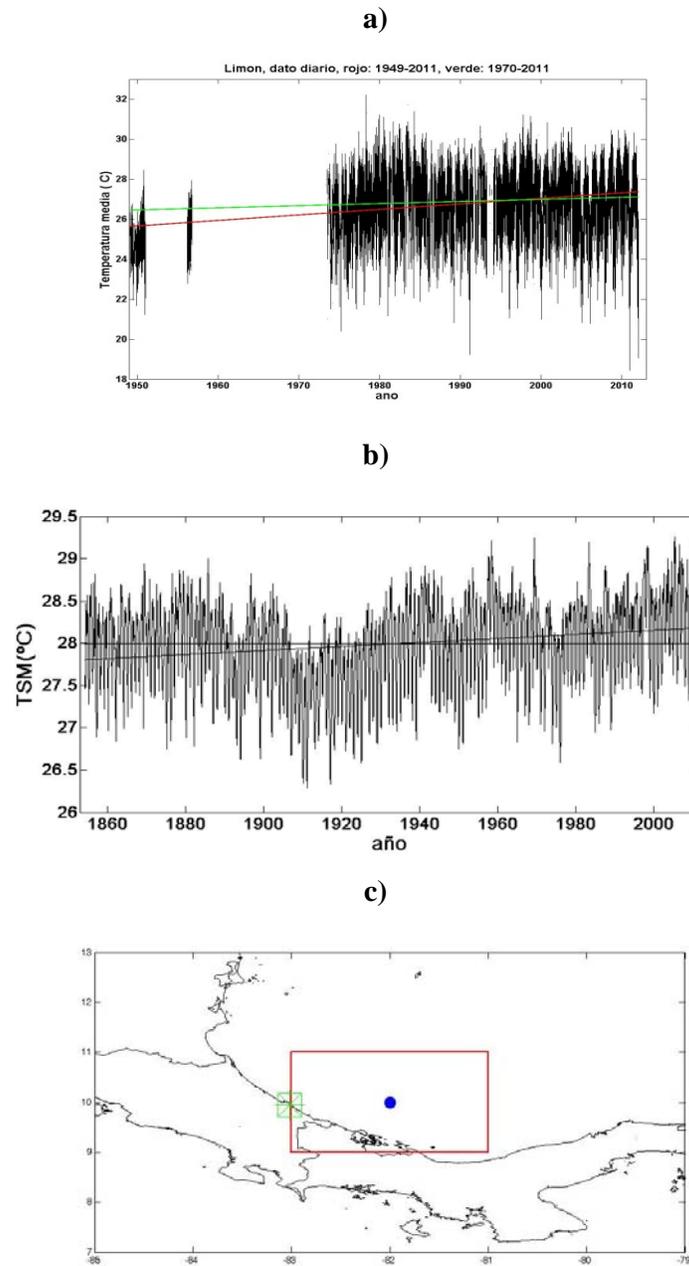


Figura 3.22 Series de tiempo para a) la temperatura media superficial del aire de la estación de Limón y b) del mar del punto de rejilla más cercano a la estación de Limón y mostrado en c) a partir de los datos de Smith *et al.* (2008). Las tendencias tienen un valor de $0,01^{\circ}\text{C}/\text{día}$ (línea verde, 1970-2011) y $0,0024^{\circ}\text{C}/\text{mes}$, 1854 a mayo de 2011, respectivamente, con un *valor-p* de 0,0.

3. Los resultados del análisis de CPR usando las estaciones de precipitación en la zona caribeña de Costa Rica mostró que existen 3 subregiones importantes en orden de

varianza explicada: 1) la región central-sur, que incluye a Limón y Sixaola, 2) la región norte y 3) la región montañosa. Análisis de CPR de los datos de precipitación de Pedrero para la zona Caribe confirmó esta regionalización.

4. Usando un modelo hidrológico (el Modelo de Capacidad de Infiltración Variable) se logró generar una simulación retrospectiva de 1960 a 1991. Se encontró que en los datos de precipitación y de escorrentía existe una periodicidad típica con un período de retorno de alrededor de 8 años. Esta periodicidad empezó a notarse alrededor de 1986.

5. El análisis de las tendencias presentes en las series de tiempo de la región del Caribe de Costa Rica, mostró que no es posible identificar con un nivel de significación estadística apropiado, una tendencia, ya sea positiva o negativa en la precipitación, sin embargo, la temperatura media superficial del aire y del mar, muestra una tendencia positiva durante la últimas décadas en dicha región.

6. Se notan algunas diferencias en los valores climáticos (precipitación por ejemplo) entre la clasificación realizada y los datos de las estaciones de la base BANACLIMA. Los periodos tan diferentes de análisis probablemente sean la principal razón de esas diferencias.

4. Rescate de Datos Históricos

i) Introducción

El Grupo de Datos Históricos hace un recuento de las principales actividades efectuadas entre setiembre de 2011 y mayo de 2012.

ii) Documentación histórica

El grupo concluyó con la digitalización de datos meteorológicos extraídos del registro catastral de observaciones del IMN (1988) y de otras publicaciones meteorológicas. Estos datos fueron enviados al Grupo de Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional para su respectivo procesamiento y análisis. También se ha concluido el artículo sobre los antecedentes de las observaciones meteorológicas en el Caribe costarricense y la información recopilada permitió extender el período de estudio de 1833 a 1949.

iii) Taller CORBANA

En el marco del Proyecto CORBANA, el grupo de Rescate de Datos Históricos participó en el taller impartido a los funcionarios de la Corporación que asistieron al CIGEFI el 12 de abril de 2012. En dicho taller se les explicó la importancia del enfoque de la historia social de la ciencia para la recuperación de datos e información meteorológica en las fuentes históricas relacionadas con la región caribeña de Costa Rica, así como la relación existente entre el clima, la actividad bananera y los procesos políticos, económicos, sociales y culturales experimentados por esta región del país en los siglos XIX y XX.

iv) Reuniones

Como resultado de varias reuniones con personal de CORBANA, la Junta Directiva de la Corporación y el Consejo Asesor de Investigaciones, el proyecto va a desarrollar en la próxima etapa una iniciativa ya propuesta a CORBANA por el CIGEFI de realizar un estudio sobre sus antecedentes históricos, que incluya la identificación de eventos hidro-meteorológicos extremos y su impacto socio-económico en la zona. Se planea la publicación de un documento y/o la creación de una herramienta digital para el uso de los productos y resultados de esta iniciativa, tampoco contemplada en los términos de referencia.

v) Conclusiones y recomendaciones

Identificar las fechas de coordinación institucional entre el CIGEFI y CORBANA para hacer uso de la autorización por parte de CORBANA de tener acceso a las fuentes de información internas y externas a fin de continuar con la investigación respectiva.

Para la ejecución de la propuesta a CORBANA (punto iv anterior), se planea la inclusión de nuevos investigadores y los objetivos de investigación para impulsar el avance en los estudios que analicen la relación entre clima y actividad bananera.

5. Modelos Dinámicos

i) Introducción

Los mapas de clima, anuales y mensuales, para la precipitación, viento y temperatura son el resultado de simulaciones de las condiciones atmosféricas regionales, usando datos de NCEP/NCAR (Kalnay *et al.* 1996) para inicializar el modelo de mesoescala MM5v3. En la presente parte escrita del IS se muestran, debido a su gran

número, solo algunas imágenes de estos resultados. La información completa de todo el análisis se presenta en el DVD adjunto. Además, estos resultados serán instalados en el formato que corresponda en el Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.3) en La Rita.

Para calcular los estadísticos se usan los productos numéricos de esas variables para un año compuesto de 365 días elegidos al azar durante el periodo 1971-2010. Las condiciones para el estimado de los días a simular incluyen diferentes condiciones climáticas bajo la influencia de señales y teleconexiones a nivel global regional.

ii) Escogencia al azar de fechas para la estadística diaria

Para la elaboración del primer ciclo de simulaciones se obtuvo cinco realizaciones de 365 fechas cada uno, que se utilizan en la inicialización de los modelos numéricos en los cálculos conducentes a la obtención de una estadística anual. Para evitar sesgos en la estadística anual, las fechas deben ser escogidas aleatoriamente pero a la vez, deben reflejar la distribución temporal de los principales agentes forzadores de la región de interés. Para ilustrar este requisito se tomó como ejemplo el mes de abril y tres agentes forzadores. Para cumplir con el requisito solicitado las 30 fechas correspondientes al mes de abril deben ser repartidas proporcionalmente de acuerdo la prevalencia durante el mes de abril de cada agente forzador. De esta forma, si los agentes forzadores están presentes en 50, 30 y 20% de los meses de abril, se deben escoger 15, 9 y 6 días, respectivamente, durante el mes de abril en años en que esos agentes forzadores estuvieron presentes.

De los estudios de Alfaro *et al.* (1998), Enfield y Alfaro (1999) y Alfaro y Cid (1999), se observa que el clima en la región de Centroamérica está influenciado por las variaciones de la temperatura superficial del mar (TSM) existentes en las dos cuencas oceánicas que la rodean, es decir Mar Caribe - océano Atlántico y el océano Pacífico. Los estudios citados anteriormente, notaron que la mayor respuesta del clima en el istmo se da especialmente cuando el Atlántico Tropical Norte adquiere una configuración de tipo dipolo meridional, que es antisimétrico a través de la ZCIT, con respecto al Pacífico Tropical del Este, es decir que las anomalías de la TSM sean de signo opuesto en ambos océanos. Se encontró por ejemplo que cuando en Centroamérica el Atlántico está más cálido al compararlo con el Pacífico, el viento alisio se debilita y es más probable tener condiciones anómalamente más lluviosas sobre la vertiente del Pacífico de Centroamérica y menos lluviosas sobre la del Mar Caribe.

Mientras que cuando el Atlántico está relativamente más frío que el Pacífico, el escenario opuesto es el más probable, debido a que el viento alisio tiende a ser más fuerte.

En la práctica se utilizan índices numéricos que cuantifican la presencia e influencia de los agentes forzadores. Básicamente, estos consisten en realizar un promedio de la TSM en una región del océano que se sabe influencia el clima de la región. Un índice muy usado para representar la variación del Pacífico Tropical del Este es el denominado Niño 3.4 o N34 en forma abreviada, específicamente de 120 a 170°O en longitud y de 5°S a 5°N en latitud (Trenberth 1997). Este índice está relacionado con el conocido fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur o ENOS y su influencia sobre el istmo centroamericano ha sido ampliamente estudiada (e. g., Alfaro 2002). Por otra parte, las variaciones de las anomalías de la TSM en el Atlántico tienden a ser de tipo multidecadal, es decir, algunas décadas tienden a mostrar más anomalías positivas o negativas que otras. Enfield *et al.* (2001) presentó un índice que resume esta variabilidad del Atlántico conocido por sus siglas en inglés como AMO u Oscilación Multidecadal del Atlántico en español; y que comprende la mayor parte del norte de esta cuenca oceánica. Su influencia sobre el clima de la región centroamericana ha sido estudiada por Alfaro (2007a, b).

También se acostumbra categorizar los índices para reducir y simplificar su análisis. Por ejemplo, la influencia de un determinado agente forzador se podría categorizar como nula, leve, media, moderadamente alta y alta. El número de agentes forzadores y sus categorías se deben limitar para evitar la atomización de las fechas a escoger. Si se toman tres agentes forzadores y cada uno de ellos con tres categorías, el número de posibles combinaciones es 27. Por lo tanto cada posibilidad como agente A leve, agente B moderado y agente C alto, estaría representada, en promedio, por un solo día en cada mes. Por lo tanto se decidió escoger dos agentes forzadores divididos en tres categorías cada uno que dan 9 combinaciones. En este caso el número aproximado de días para cada categoría en un mes estará cercano a tres.

La categoría 5 con las temperaturas de ambos océanos “neutra” es la más prevalente como es de esperar, seguida por la presencia de la Niña (BN) con un Atlántico frío (BN). La menos prevalente es la combinación de Atlántico frío (BN) y el Pacífico neutro (N).

La Tabla 5.2 da el número de días que se deben escoger para cada categoría de acuerdo al número total de días de los meses. El cálculo con las probabilidades

empíricas da días fraccionarios y cuando estos se redondean a valores enteros el número total de días escogidos no coincide necesariamente con el número total de días del mes. En esos casos se aumentan o reducen los días escogidos en la categoría 5 con ambos agentes forzadores neutros para no preferir un agente forzador respecto al otro.

El escogimiento de las fechas se realiza con el archivo de comandos en SCILAB *estdiaria.sce*. Este programa lee el archivo *mesdesord.bin* que es el archivo *mesorden.bin* desordenado aleatoriamente. Ejecuta las siguientes acciones para cada mes del año y para cada categoría:

1. Busca en el archivo *mesdesord.bin* las entradas correspondientes al mes y categoría.
2. Compara el número de entradas halladas con el número de días que se deben escoger de acuerdo a la Tabla 5.2.
3. Si el número de entradas lo excede, se escogen al azar el número de entradas correspondientes.
4. Si el número de entradas encontradas es igual a las que se deben escoger no se hace nada en especial.
5. Si el número de entradas encontradas es menor, se repiten los años encontrados al azar con días que no se repiten generados al azar.

AMO	Niño 3.4	Categoría	Prob. empírica
BN (1)	BN(1)	1	0,1333
BN (1)	N(2)	2	0,0938
BN (1)	AN(3)	3	0,1000
N(2)	BN(1)	4	0,0938
N(2)	N(2)	5	0,1438
N(2)	AN(3)	6	0,1125
AN(3)	BN(1)	7	0,1000
AN(3)	No(2)	8	0,1188
AN(3)	AN(3)	9	0,1042

Tabla 5.1 Probabilidad empírica de ocurrencia de las nueve categorías posibles al combinar los índices AMO y Niño 3.4 categorizados a su vez en tres cada uno. El índice entre paréntesis se refiere al índice de categoría utilizado en el archivo *mesorden.bin*.

Categoría	28 días	30 días	31 días
1	4	4	4
2	3	3	3
3	3	3	3
4	3	3	3
5	3	4	5
6	3	3	3
7	3	3	3
8	3	4	4
9	3	3	3

Tabla 5.2 Número de días que se deben escoger para cada combinación AMO-Niño 3.4 de acuerdo al número de días del mes.

Por construcción, en un mes dado no se repiten los días. En la mayoría de los casos tampoco se repiten los años, excepto en los casos del paso 5. Usando este método se generaron cinco conjuntos de 365 fechas cada uno (archivos agno1.bin a agno5.bin). La Tabla 5.3 muestra unas líneas de una de las corridas.

La Figura 5.1 es un ejemplo de los productos del modelo numérico MM5v3 inicializado con datos del NCEP/NCAR. Esta figura muestra el clima determinado por el modelo para un mes seleccionado (enero) en dos escalas de movimiento, a) la sinóptica (resolución de 162 km) y b) la local (2 km) para la variable precipitación. Se observa el efecto del procedimiento de “reducción de escala” (de la Figura 5.1a a la Figura 5.1b), mediante el uso del modelo MM5v3 y abundante precipitación en el Caribe en ambas figuras, pero se estima mucho mejor la precipitación en la escala local que la que corresponde a la sinóptica.

Las figuras correspondientes a los otros meses para las variables precipitación, temperatura y viento se incluyen en el DVD que se adjunta a este IS. Todas las figuras con la información de clima, en formato netCDF, van a ser instaladas en el sistema SIG disponible en CORBANA (La Rita). Algunas de ellas ya fueron instaladas en este sistema en días recientes.

Año	Mes	Día	Categoría
1992	3	20	6
1999	3	9	7
2006	3	25	7
2000	3	7	7
2007	3	15	8
2004	3	8	8
2001	3	17	8
2002	3	18	8
2010	3	29	9
2003	3	27	9
1983	3	21	9
1971	4	13	1
1976	4	4	1
1974	4	29	1
1978	4	12	1
1973	4	6	2
1979	4	30	2
1977	4	11	2
1972	4	20	3

Tabla 5.3 Fragmento de una de las cinco corridas con 365 fechas escogidas al azar. El escogimiento de las fechas se hace de acuerdo al patrón estacional de la temperatura superficial del Mar Atlántico y del Mar Pacífico representada por los índices AMO y NIÑO 3.4.

Además de la fecha, para el proceso de inicialización se requiere fijar la hora del día en que debe comenzar. Se puso como requisito que para cada mes y cada categoría, las horas sean asignadas aleatoriamente para evitar sesgos. El número de combinaciones posibles entre 9 categorías y 12 meses es 108 y por lo tanto se espera que para cada combinación se deban asignar cerca de tres o cuatro horas en las 365 fechas de un año. Para la asignación de las horas se escribieron los archivos de comandos *hormescat.sce* e *impatint.sce* con los que se generaron cinco archivos texto (amdh1.dat a amdh5.dat).

6. Aspectos Académicos y Administrativos

La fecha oficial de inicio del proyecto es el 1 de febrero de 2011. El presente informe se presenta a finales de junio, una vez que fue realizada y aceptada la solicitud del CIGEFI en ese sentido. El segundo pago por parte de CORBANA a la UCR se recibió el día 1 de diciembre de 2011. El proyecto forma parte de las actividades de investigación del CIGEFI en la Vicerrectoría de Investigación de la UCR y tiene el número de registro VI-805-B0-402.

III. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del proyecto en esta etapa permiten entregar todos los productos contenidos en los términos de referencia del contrato entre CORBANA y la UCR. Dos aspectos son novedosos, la entrega de los productos en un sistema de información geográfica (aspecto a desarrollar plenamente en la última etapa del proyecto) y la propuesta de investigar los antecedentes y la historia de la Corporación. Las conclusiones y recomendaciones particulares de este informe están contenidas en cada una de las secciones del mismo. Muchas de ellas requieren respuesta de la Corporación a fin de orientar los productos de manera más específica. El avance en la investigación ha sido satisfactorio, la clasificación climática y las variables diurno-mensuales muestran de manera definida el clima de la vertiente. Algunos de los resultados científicos del proyecto son prometedores y están siendo considerados para publicación en revistas de circulación internacional.

IV. Agradecimientos

El reconocimiento al Ing. Mauricio Guzmán y al Ing. Eduardo Soto, por las discusiones llevadas a cabo sobre aspectos varios del proyecto, así como las facilidades ofrecidas para llevar a cabo esta investigación. Al Ing. Soto por su colaboración en las visitas realizadas a las estaciones meteorológicas de CORBANA. Al Dr. Jorge Sandoval, por las facilidades otorgadas y las gestiones administrativas para coordinar la investigación. A Juan Carlos Fallas, Director del IMN y Sadí Laporte, Enrique Chacón y Berny Fallas del Departamento de Estudios Básicos del Área de Hidrología del ICE, por facilitar los inventarios de las estaciones que han funcionado en la Zona Norte y Caribe de Costa Rica. A Ingrid Rivera y Carla Vega, por su colaboración en el ordenamiento de documentos para el proyecto. Se agradece al proyecto “Clima, variabilidad y cambio climático en la vertiente Caribe de Costa Rica: un estudio básico

para la actividad bananera”, V.I. 805-B0-402, CIGEFI-UCR, apoyado por CORBANA (dentro del cual se realizaron las actividades aquí presentadas) y a otras actividades de investigación relacionadas: 805-A8-606 (apoyo de Florida Ice & Farm CO.), 805-A9-532 (apoyo de ASDI-CSUCA), 805-A7-002 (apoyo de CRN2050-IAI) y 805-A9-224 (simulaciones de ciclo hidrológico terrestre usando el modelo de Capacidad de Infiltración Variable). A Elsie Troyo y Aarón Vega, por su ayuda en el procesamiento de la información.

V. Referencias

- Alfaro, E. y L. Cid, 1999. Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, 12(4), 205-222.
- Alfaro, E., 2002. Some Characteristics of the Annual Precipitation Cycle in Central America and their Relationships with its Surrounding Tropical Oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro, E., 2007a. Predicción Climática de la Temperatura Superficial del Aire en Centroamérica. *Ambientico*, No 165, 6-10.
- Alfaro, E., 2007b. Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 9 (2), 33-48.
- Alfaro, E., L. Cid y D. Enfield, 1998. Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los Océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Investigaciones Marinas*, 26, 59-69.
- Amador, J. A., 1998. A climatic feature of the tropical Americas: The trade wind easterly jet. *Top. Meteor. y Ocean.*, 5(2), 91-102.
- Amador, J. A., 2008. The Intra-Americas Seas Low-Level Jet (IALLJ): Overview and Future Research. *Annals of the New York Academy of Sciences. Trends and Directions in Climate Research*, L. Gimeno, R. Garcia, and R. Trigo, Editors, 1146(1), 153-188(36).
- Amador J., E. Alfaro, O. Lizano, and V. Magaña, 2006. Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 101-142.
- Araya, J. y E. Alfaro, 2008. Prueba e Implementación de Algoritmos de Control de Calidad de Datos de Temperatura Superficial del Aire en un Contexto Operativo. *Tecnología en Marcha.*, 21(3), 47-61.

- Araya, J. y E. Alfaro, 2009. Algoritmos de Control de Calidad para Detección de Secuencias Atípicas de Contactos en Pluviómetros de Balancín. *Tecnología en Marcha.*, 22(2), 63-78.
- Araya, J. L., 2007. Algoritmos de control de calidad de datos en estaciones meteorológicas automáticas, Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica, 164 pp.
- Castillo, E., A. S. Hadi, N. Balakrishnan and J. M. Sarabia, 2005. *Extreme Value and Related Models with Applications in Engineering and Science*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 362pp.
- Coles, S., 2001. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer-Verlag, London, 208 pp.
- Cuadrat, J. M. y M. F. Pita, 2004. *Climatología*. Barcelona: Cátedra.
- Enfield, D. B.; Mestas-Nunez, A. M., and Trimble, P. J., 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophys. Res. Lett.* 28: 2077–2080.
- Enfield, D. and E. Alfaro, 1999. The dependence of caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific Oceans. *J. Climate*, 12, 2093-2103.
- Fallas B. y E. Alfaro, 2012. Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional de los campos de precipitación y temperatura en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. Parte A: Análisis de tablas de contingencia. Sometido a la Revista de Climatología.
- Fallas, J. C y R. Oviedo, 2003. Temporales. Cap. III. En *Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana*. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. 38 pp.
- Gilleland, E. and R. W. Katz, 2011. New software to analyze how extremes change over time. *Eos*, 92(2), 13-14.
- Herrera, W., 1986. *Clima de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica, Volumen 2*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- IMN, 1988. *Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica*, Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas. San José, Costa Rica.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne,

- and D. Joseph, 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Magaña, V., J. A. Amador, and S. Medina, 1999. The Mid-Summer Drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, 12, 1577-1588.
- Merlet, H., y F. Santibáñez, 1989. Evaluación y cartografía de la evapotranspiración potencial en la zona de climas mediterráneos de Chile. *Boletín Técnico de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile*, 27-50.
- Pedrerros, D., 2009. The Effect of El Niño on Agricultural Water Balances in Guatemala. Tesis de Grado, Masters in Geography. University of California, Santa Barbara. California, EUA.
- R Development Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Sastry, P.S.N., 1988. Agrometeorology of the Banana Crop. *Agricultural Meteorology CAgM Report No.29. WMO/TD-No 237*, 85 pp.
- 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.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38 (1), 55-94.
- Trenberth, K. E., 1997. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2771-2777.
- Trenberth, K. E., Dai Aiguo, R. M. Rasmussen, and D. B. Parsons, 2003. The Changing Character of Precipitation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 1205-1217.
- Villón, M., 2000. Hidrología. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1996. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions, *J. Climate*, 9, 840-858.
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997. Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558.
- Xue, Y., T. M. Smith, and R. W. Reynolds, 2003: Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871-2000. *J. Climate*, 16, 1601-1612.

VI. Personal Científico Responsable del Informe en la Universidad de Costa Rica

Jorge A. Amador^{1,2}, Ph. D., Investigador Principal (Email: jorge.amador@ucr.ac.cr)

Eric J. Alfaro^{1,2}, Ph. D., Asociado, **G1, G3**

Hugo Hidalgo^{1,2}, Ph. D., Asociado, **G3, G5**

Juan José Vargas^{1,3}, Ph. D., Asociado, **G6**

Javier Soley^{1,4}, Ph. D., Asociado, **G1**

Flora Solano^{1,4(†)}, Lic., Investigadora Colaboradora, **G4**

Ronald Díaz^{1,6}, Lic., Investigador Colaborador, **G4**

Blanca Calderón¹, Br., Investigadora Colaboradora, **G6**

José L. Vargas¹, Lic., Investigador Colaborador, **G1, G2**

Jorge Luis Rodríguez¹, Br., Administrador, **G7**

Alberto Salazar^{1,2}, Estudiante, **G2**

Paula M. Pérez⁵, Estudiante, **G3**

Fernán Sáenz^{1,2}, Estudiante, **G6**

Natalie Mora^{1,2}, Estudiante, **G6**

Pablo Ureña^{1,2}, Estudiante, **G1**

André Ståhl^{1,2}, Estudiante, **G1**

Carla Vega^{1,2}, Asistente, **G6**

Ingrid Rivera^{1,2}, Asistente, **G6**

Esteban Pérez^{1,2}, Estudiante, **G6**

¹ Grupo de Predicción Climática (GPC), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI)

² Escuela de Física (EF)

³ Escuela de Ciencias de la Computación e Informática (ECCI)

⁴ Pensionado Escuela de Física

⁵ Escuela de Geografía

⁶ Escuela de Historia

Grupos de Trabajo

G1- Análisis de las Bases de Datos de CORBANA

G2- Giras y Red de Estaciones de CORBANA

G3- Información Meteorológica e Hidro-meteorológica Nacional y Regional

G4- Rescate de Datos Históricos

G5- Hidro-meteorología

G6- Modelos Dinámicos

G7- Aspectos Académicos y Administrativos

Acrónimos

AMO	Oscilación Multidecadal del Atlántico
AN	Arriba de lo Normal
ASBANA	Asociación Bananera Nacional
ASDI	Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo
BN	Bajo lo Normal
CBCR	Compañía Bananera de Costa Rica
CCC	Corriente en Chorro del Caribe
CIGEFI	Centro de Investigaciones Geofísicas
CLIVAR	Variability and predictability of the ocean-atmosphere system
CMAP	Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation
CORBANA	Corporación Bananera Nacional
CP1	Componente Principal 1
CPC	Climate Prediction Center
CPR	componentes principales rotados
CSUCA	Secretaria General Consejo Superior Universitario Centroamericano
CSV	Comma-separated values
DGP	Distribución Generalizada de Pareto
DGVE	Distribución Generalizada de Valores Extremos
EGU	European Geosciences Union
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
ETCCDMI	Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETR	Especificaciones y Requisitos Técnicos
ETRC	Especificaciones y Requisitos Técnicos de CORBANA
FUNDEVI	Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación
GHCN2	Global Historical Climatology Network versión 2
GMT	Greenwich Meridional Time
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
GPS	Global Positioning System
GRDC	Global Runoff Data Centre
GRDD	Global River Discharge Database
Ia	Índice de Aridez
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IF	Informe Final
Ih	Índice de humedad
Im	Índice hídrico
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
IP	Informe Primero
IS	Informe Segundo
MCG	Modelo de Circulación General
MCR	Modelo Climático Regional

MM	Modelos de Mesoescala
MM5	Modelo de Mesoescala de Quinta Generación
MRF	Medium Range Forecast
N	Normal
N34	Niño 3.4
NAME	Experimento del Monzón en América del Norte, por sus siglas en inglés
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NB	Bajo lo normal
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
OAN	Oscilación del Atlántico Norte
OMDA	Oscilación Multidecadal del Atlántico
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PACS-SONET	Red de Sondeos del Programa para Estudios del Clima Panamericano, por sus siglas en inglés
PAIS	Proyecto Agroindustrial de Sixaola
PDF	Portable Document Format
PSU	Pennsylvania State University
REICO	Redes Inalámbricas de Costa Rica S.A.
SIG	Sistema de Información Geográfica
SQL	Structured Query Language
TR	Términos de Referencia
TSM	Temperatura Superficial del Mar
UCR	Universidad de Costa Rica
UFCo	United Fruit Company
UNSAAC	Universidad Nacional de San Antonio Abab del Cusco
WRF	Weather Research and Forecast
ZCIT	Zona de Convergencia InterTropical

Portada: Plantación bananera cerca de la estación PAIS del programa BANACLIMA de CORBANA en la zona Caribe de Costa Rica. Cortesía de José Luis Vargas Castillo (CIGEFI) 27 de abril de 2011 a las 08:26.

Contraportada: Relámpago asociado a una tormenta en las montañas del norte del Valle Central, Costa Rica. Cortesía de Gioconda Muñoz Hernández, 24 de setiembre de 2013 a las 18:30.

