

Una metodología para el análisis de variabilidad climática en locales del bosque seco Chiquitano



Contenido

Introducción.....	1
Antecedentes.....	1
Propósito del documento.....	1
Alcance: espacial, temporal y paramétrico.....	1
Metodología.....	2
Revista literaria.....	2
Proceso analítico.....	2
Metadatos meteorológicos.....	3
Calidad de los datos.....	3
Evaluación.....	3
Validación/aumentación de datos de Concepción con estaciones cercanas.....	4
Variabilidad climática.....	5
Relaciones con oscilaciones globales.....	5
Temperatura.....	6
Precipitación.....	8
Otros indicadores.....	12
Incendios forestales.....	12
Plagas.....	12
Flujos hidrológicos.....	12
Paleoclimatología.....	12
Dendrocronología.....	13
Eventos extremos.....	13
Temperatura.....	13
Índice de Calor.....	16
Precipitación.....	18
Sequia.....	20
Apendice A Índice de Calor.....	23
Apéndice B Oscilaciones de El Niño/La Niña Sur y Pacifico Decadal.....	27
Apéndice C Estudios para hacer.....	28

Tablas

Tabla1	Proceso analítico	2
Tabla2	Metadatos meteorológicos	3
Tabla3	Compleitud de colecciones de datos	4
Tabla4	Tendencia de temperatura media ambiente en cada mes en 1949-2010 en Concepción	7
Tabla5	Precipitación, medias y tendencias mensuales en 1942-2011.....	10
Tabla6	Temperaturas (°C) máximas extremas.....	14
Tabla7	Temperaturas (°C) mínimas extremas.....	15
Tabla8	Máxima de Índices de Calor	17
Tabla9	Meses con precipitación total muy alta	18
Tabla10	Tasas diarias extremas de lluvia	19
Tabla 11	Caracterización de déciles.....	21
Tabla 12	Intervalos de sequía	22
Tabla 13	Interpretación del índice de temperatura aparente	24

Figuras

Figura 1	Temperatura media en Concepción y San Javier	4
Figura 2	Relación de oscilaciones globales con precipitación en Concepción	5
Figura 3	Relación de oscilaciones globales con temperatura medio ambiente en Concepción.....	5
Figura 4	Temperatura medio ambiente en Concepción (1949-2010).....	6
Figura 5	Temperatura y temperatura ambiente comparadas	7
Figura 6	Variabilidad geográfica de temperatura media	8
Figura 7	Precipitación, total y medio anual en Concepción.....	8
Figura 8	Precipitación total (mm) en Concepción.....	9
Figura 9	Días con lluvia en Concepción, 1941-2011.....	10
Figura 10	Cambio anual en días con lluvia, Concepción, 1942-2011	11
Figura 11	Días con lluvia, Concepción	11
Figura 12	Frecuencia de intensidades de precipitación diaria en 1943 – 2012	20
Figura 13	Distribución de duración de intervalos sin lluvia en 1943 – 2012	20

Introducción

Este documento presenta una metodología para el análisis de variabilidad climática y eventos extremos en locales en el bosque seco Chiquitano en el Departamento de Santa Cruz, Bolivia. Es específico a esta geografía, en el sentido que su clima se caracteriza sin amenazas serias de vientos fuertes, escarcha o granizo.

Antecedentes

La iniciativa global de la Comisión Europea de reforzar la capacidad para gestión comunitaria de desafíos ambientales, incluyendo cambio climático, se manifiesta en América Latina en el programa de EcoAdapt¹, con título “Estrategias basadas en ecosistemas e innovación de redes de gestión del agua para la adaptación al cambio climático en paisajes de América Latina”. EcoAdapt pretende generar información y conocimiento para desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático con buena participación y aceptación de la población de los Bosques Modelo de Jujuy en Argentina, Chiquitano en Bolivia y Alto Malleco en Chile.

La Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano (FCBC) realizará las tareas a nivel local en Bolivia de los paquetes de trabajo de EcoAdapt.

Propósito del documento

El análisis de condiciones climáticas en la cuenca Zapocó es una actividad inicial en el que dependen otras del Paquete de Trabajo 2 “Llenando vacíos de conocimiento sobre el contexto”. Tarea 2-4 especifica un estudio de variabilidad climática y eventos extremos, para proveer información científica como insumo a Tarea 2-1, para apoyar a los entrevistadores en su investigación de cómo los actores allá han respondido a la variabilidad climática y eventos extremos. Los métodos y las herramientas de análisis usados en el estudio de la cuenca Zapocó pueden ser útiles en otros locales de la Chiquitanía.

Alcance: espacial, temporal y paramétrico

El análisis se aplica al rango geográfico del bosque seco Chiquitano

El alcance temporal es tan largo como posible, hacia atrás del día actual hasta los límites de datos comprensivos disponibles. Algunos datos meteorológicos completos nos llegan desde el año 1942.

Los parámetros de interés corresponden a todos los datos comprensivos disponibles que puedan informar un entendimiento de retos relacionados con el clima. La temperatura y la precipitación son los más significantes pero otras medidas que pueden ser útiles incluyen humedad atmosférica y velocidad de viento. Lamentablemente, datos de flujos de riachuelos y ríos, niveles acuíferos, radiación solar, humedad de los suelos y hojas, plaga, y incidencia de mortalidad y morbosidad con raíces climáticas no han sido recopilados en una manera consistente en la región para apoyar análisis.

¹ Seventh Framework Programme, Theme [ENV.2011.4.2.3-1 ENV] Annex I, Description of Work

La naturaleza, frecuencia entre eventos, duración e intensidad de eventos extremos asociados con el tiempo o el clima sugieren puntos de tensión donde el desarrollo social está amenazado mas. Muchos de estos eventos aparecen en los archivos de los parámetros, y fuentes anecdóticas revelan otros.

Metodología

Según el propósito del estudio para EcoAdapt, los métodos y las herramientas descritos acá pretenden de presentar sus resultados en una manera visual y fácil de presentar a personas no tan cómodas con el análisis estadístico, como algunos de los actores en el alcance de EcoAdapt.

Revista literaria

Este análisis presta métodos de otro estudio con metas semejantes: “Variabilidad Climática y Cambio en la Cuenca del Rio Columbia”². Usa el método de Precipitación Déciles³ para definir un criterio de sequia con relevancia local.

Proceso analítico

El estudio ha seguido el proceso explicado en Tabla1.

Definición de requisitos	Identifica motivación, forma de salidas
Definición de alcances	Constriñe las dimensiones espaciales, temporales y paramétricas del análisis
Colección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica fuentes y adquiere colecciones de datos existentes • Evalúa factibilidad de otros enfoques como fuentes paleo-climáticos y datos regionales reducidos (down-scaled)
Evaluación de calidad y remediación	<ul style="list-style-type: none"> • Evalúa anomalías y vacios en los datos • Explora validez de interpolación, y triangulación con datos de estaciones adyacentes
Análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Usa gráficos de datos de temperatura y precipitación, con análisis de regresión linear para exponer tendencias • Estima errores e intervalos de confianza • Identifica eventos extremos como puntos de datos que están más de 1.5 de desviaciones estándares de la media • Usa el método de Precipitación Déciles para identificar sequias
Interpretación	<ul style="list-style-type: none"> • Describe las tendencias históricas • Explorar relaciones entre colecciones • Identificar y atentar explicar anomalías • Identificar eventos extremos en el historial

Tabla1 Proceso analítico

² Pacific Climate Impacts Consortium, “Climate Variability and Change in the Columbia River Basin”, PCIC, 2007

³ Gibbs W. J., Maher J. V., Rainfall deciles as drought indicators, Commonwealth Bureau of Meteorology, 1967

Metadatos meteorológicos

SENAMHI recolecta datos según los procedimientos siguientes⁴:

Temperatura Media (TM)	Se obtiene a partir de los datos diarios, mensuales o anuales de temperatura máxima y mínima: $TM = (\text{temperatura máxima} + \text{temperatura mínima})/2$
Temperatura Medio ambiente (TMA)	Se obtiene a partir del termómetro de bulbo seco, en las estaciones se hacen registros de 4 horas de observaciones diurnas: TMA diario = (La suma de las temperaturas de horas 08:00, 12:00, 14:00 y 18:00)/4
Precipitación Total Anual	La suma de las precipitaciones que se registran durante el año
Precipitación Medio anual	La precipitación total anual dividida entre el número de días que se registra precipitación
Precipitación Diaria	La precipitación total medida cada día

Tabla2 Metadatos meteorológicos

Calidad de los datos

Evaluación

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI) proveyó de su [sitio de web](#)⁵ los datos analizados en el estudio para EcoAdapt. Tabla3 nombra las colecciones de datos y muestra el mayor problema, de incompletos. En general, las posiciones de los puntos de data que faltan son simétricos a través de las colecciones, así no es factible la interpolación con datos de estaciones cercanas para completar los vacíos. Los datos SENAMHI de promedios mensuales se derivaron de datos diarios. Varios errores tipográficos encontrados en los datos mensuales en el estudio fueron corregidos con referencia a los datos diarios.

Conjunto de datos: Concepción	Complejitud
frecuencia de precipitación mensual	1942-2012: 78%
humedad relativa media mensual	1977-2010: 95%
precipitación máxima en 24 horas mensual	1942-2012: 96%
precipitación media mensual	1942-2012: 96%
precipitación total mensual	1942-2012: 96%
precipitación total diaria	1943-2012: 98%
temperatura máxima absoluta mensual	1949-2011: 61% 1949-1985: 33% 1986-2011: 99%
temperatura mínima media mensual	1949-2011: 81% 1949-1983: 66% 1984-2011: 99%

⁴ Gracias al Meteorólogo Dardo Melgar Roca, SENAMHI, Prefectura, Departamento de Santa Cruz

⁵ <http://www.senamhi.gob.bo/sismet>

Conjunto de datos: Concepción	Compleitud
temperatura máxima media mensual	1949-2011: 61% 1949-1986: 34% 1987-2011: 99%
temperatura media mensual	1942-2011: 60% 1942-1985: 33% 1986-2011: 99%
temperatura media ambiente mensual	1942-2011: 61% 1942-1985: 34% 1986-2011: 99%
temperatura mínima absoluta mensual	1949-2011: 80% 1949-1984: 65% 1985-2011: 99%

Tabla3 Compleitud de colecciones de datos

Validación/aumentación de datos de Concepción con estaciones cercanas

Las estaciones más cercanas a Concepción son Santa Rosa (67km ENE) y San Javier (53km OSO). Los datos de Santa Rosa son escasos. Los datos de San Javier empiezan en 1975 y los de Concepción, aunque empiezan en 1942, son escasos hasta 1985. En general, donde a Concepción le faltan, a San Javier también le faltan, así la interpolación de vacíos en Concepción con datos de estaciones cercanas no es factible. Además, donde los datos son disponibles, los errores de interpolación pueden ser significantes y no sistemáticos, como se ve en Figura 1.

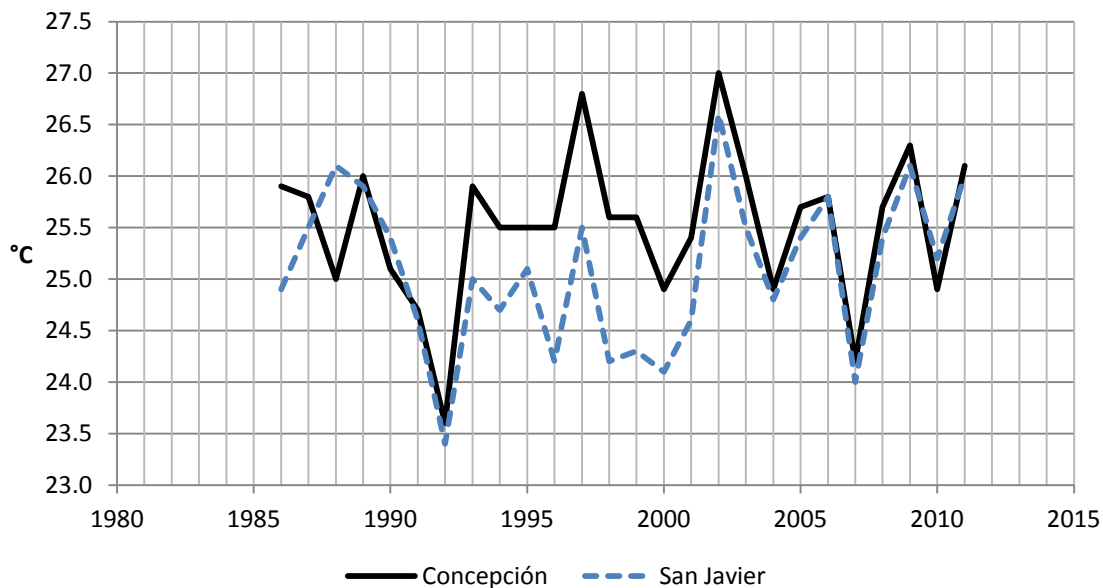


Figura 1 Temperatura media en Concepción y San Javier

Variabilidad climática

Esta sección del documento presenta métodos y herramientas para explorar el tema de variabilidad climática.

Relaciones con oscilaciones globales

Figura 2 y Figura 3 muestran una manera de buscar señas de influencia de oscilaciones globales como El Niño (ENSO) y La Oscilación Pacífico Decadal (PDO). Las curvas de los índices de las oscilaciones fueron digitados de las figuras en Apéndice B, y ajustados de amplitud y posición vertical para sobreponerlas en las curvas de precipitación y temperatura. En el caso de Concepción no se nota mucha coincidencia de la oscilaciones con crestas y valles de precipitación o temperatura.

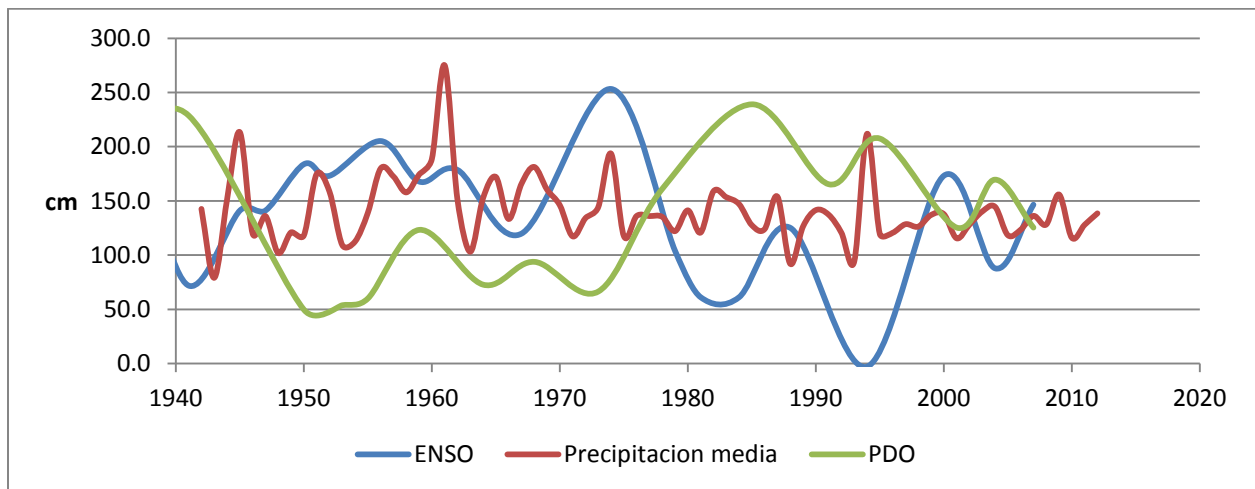


Figura 2 Relación de oscilaciones globales con precipitación en Concepción

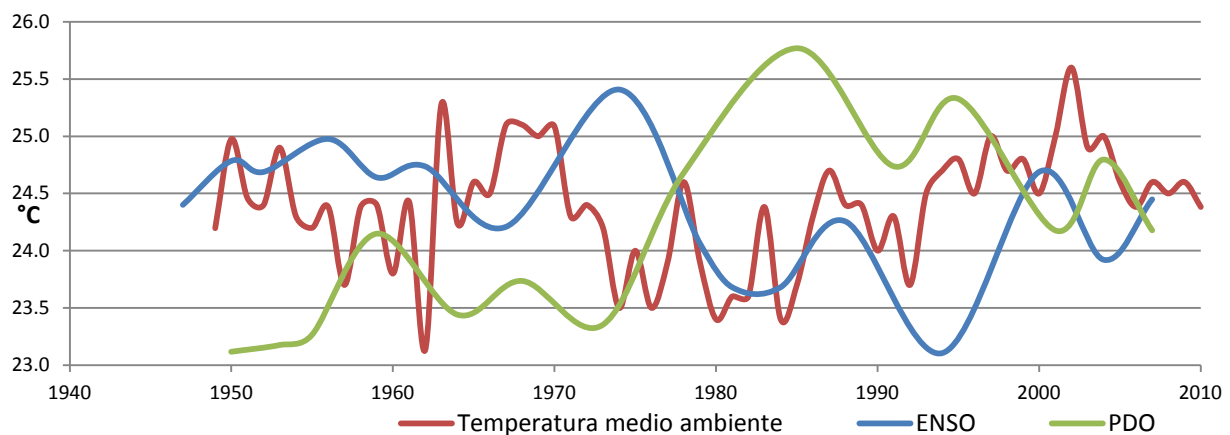


Figura 3 Relación de oscilaciones globales con temperatura medio ambiente en Concepción

Temperatura

SENAMHI provea varias medidas de temperatura. Para investigar si las tendencias de temperatura año tras año son consistentes con las observaciones y pronosticaciones globales, se escoge una. En el estudio de EcoAdapt la elección fue “temperatura media ambiente” porque esa colección es más completa que otras, por ejemplo, la de “temperatura media”.

El gráfico en Figura 4 es el producto del proceso siguiente:

1. Baja datos de temperatura medio ambiente mensuales del local del sitio de web de SENAMHI, a una tabla con años en las filas y meses en las columnas. Lamentablemente, los datos de SENAMHI no son disponibles en un archivo; hay que captarlos, pantalla por pantalla, con software por ese propósito como “[ABBY Screenshot Reader](#)”, y pegarlos en una hoja de cálculo Excel.
2. En la hoja de cálculo, para cada año, calcula la temperatura media anual, de los datos mensuales, aplicando la función de Excel “PROMEDIO” a cada fila en una columna adyacente.
3. Traza la curva de temperatura versus año y su tendencia, usando los controles de Excel “Insertar / Gráficos / Dispersiones / Dispersiones con líneas rectas”. Para trazar la línea de regresión, selecciona la curva, clic derecho y aprieta “Agregar línea de tendencia”.

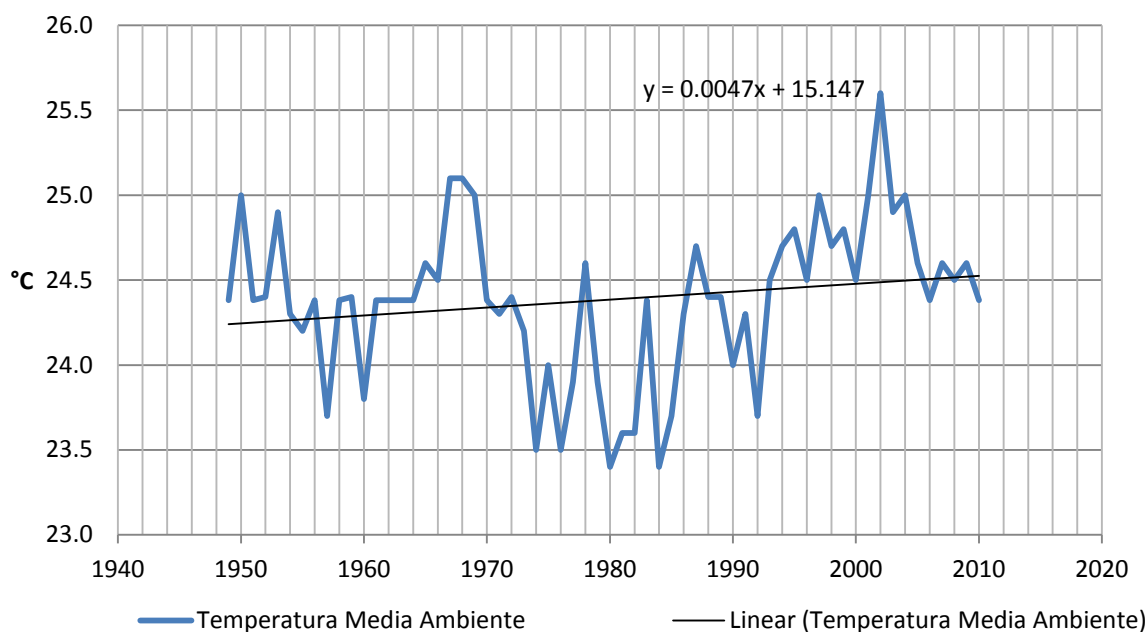


Figura 4 Temperatura medio ambiente en Concepción (1949-2010)

Se hizo Tabla4 con la misma hoja de cálculo, aplicando la función de Excel PENDIENTE a la columna de datos de cada mes para calcular la tasa media de cambio de temperatura en cada mes en el intervalo.

Mes	ΔT (°C/año)
Enero	0.004
Febrero	-0.002
Marzo	0.011
Abril	0.017
Mayo	-0.002
Junio	0.022
Julio	0.025
Agosto	0.014
Setiembre	-0.009
Octubre	0.011
Noviembre	0.002
Diciembre	-0.01
anual	0.005

Tabla4 Tendencia de temperatura media ambiente en cada mes en 1949-2010 en Concepción

Las herramientas que Excel ofrece para trazar datos permiten la superposición de colecciones en el mismo gráfico, para exponer relaciones entre ellas. Por ejemplo, Figura 5 superpone las curvas de Temperatura Media y Temperatura Medio Ambiente para mostrar una anomalía en el año 1997, cuando la diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas disminuyó significativamente.

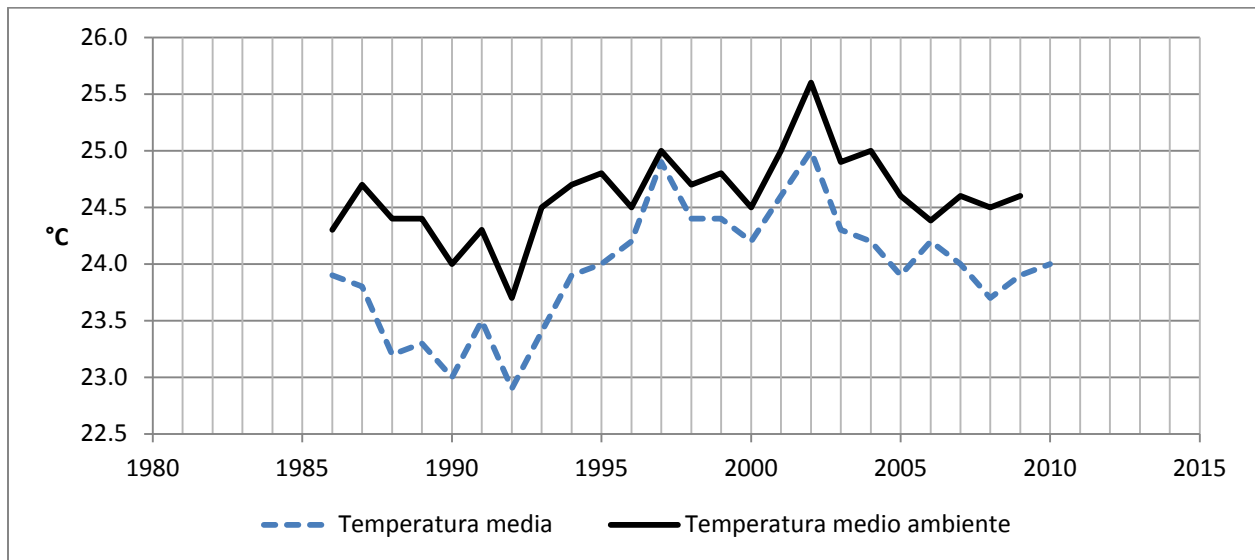


Figura 5 Temperatura y temperatura ambiente comparadas

Otro ejemplo de superposición de datos, en Figura 6, muestra la variabilidad geográfica de temperatura en locales en el bosque Chiquitano.

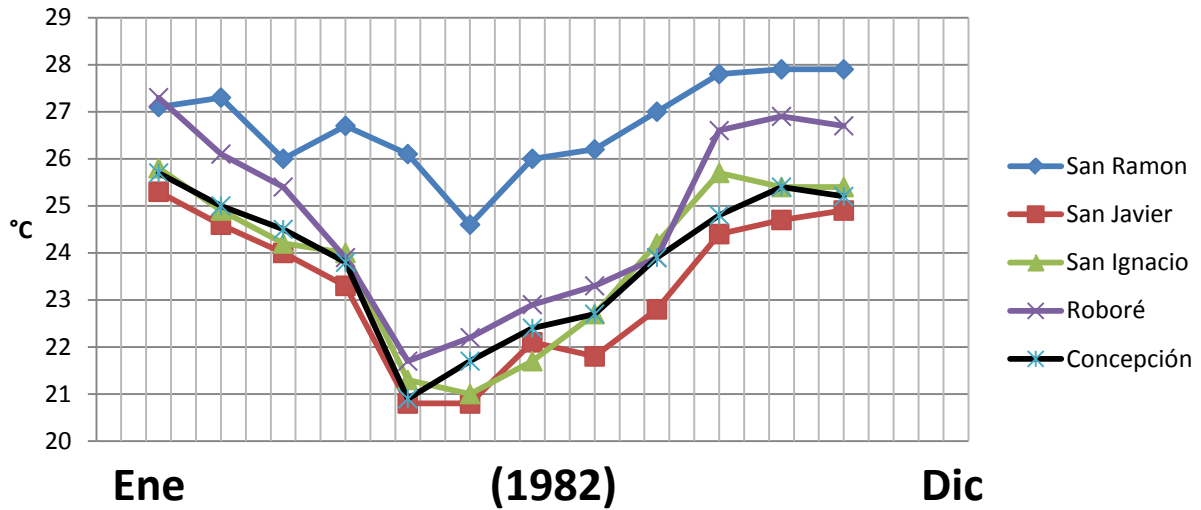


Figura 6 Variabilidad geográfica de temperatura media

Precipitación

El análisis de precipitación sigue el mismo proceso de lo de temperatura. Figura 7 superpone las curvas de precipitación total y precipitación medio anual. Los puntos de datos de precipitación total son las sumas del volumen de lluvia diaria por cada año. En cambio, los de precipitación media son los totales divididos por el número de días con lluvia en el año, una especie de medida de intensidad. Se puede especular que años con baja precipitación total y alta precipitación media, como por ejemplo 1961, probablemente tuvieron lluvias más intensas, incluso peligrosas, si causaron diluvios repentinos.

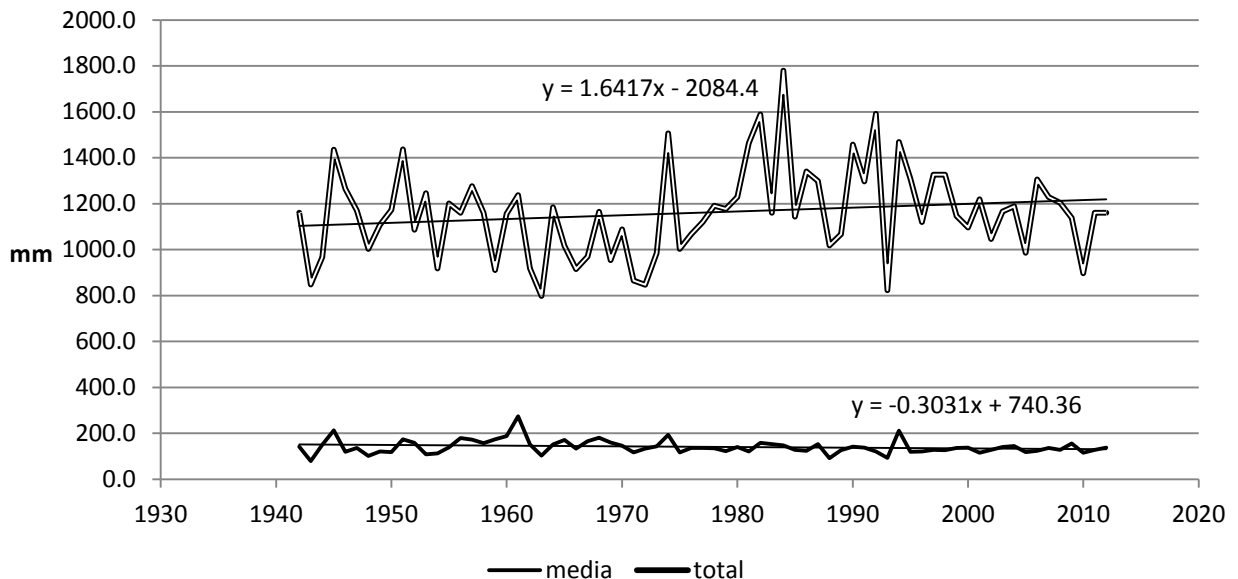


Figura 7 Precipitación, total y medio anual en Concepción

Figura 8 muestra la precipitación mensual total, mes por mes y año por año. Es el producto de una tabla de datos de precipitación total en una hoja de cálculo Excel, con años en las filas y meses en las columnas. Seleccionando la tabla entera como insumo a la herramienta de trazar, se aprieta Insertar / Gráficos / Pirámide 3D. En su vista ortogonal, se ven fácilmente los valores extremos y sus posiciones temporales en relación a las estaciones del año y en la serie de años. En su vista plano, se ve la distribución de precipitación durante los meses del año, incluso meses atípicos, por ejemplo, en que no hay lluvia cuando usualmente llueve. Tales eventos son memorables por los actores que dependen en predictibilidad de precipitación para tomar decisiones sobre cuando sembrar cultivos.

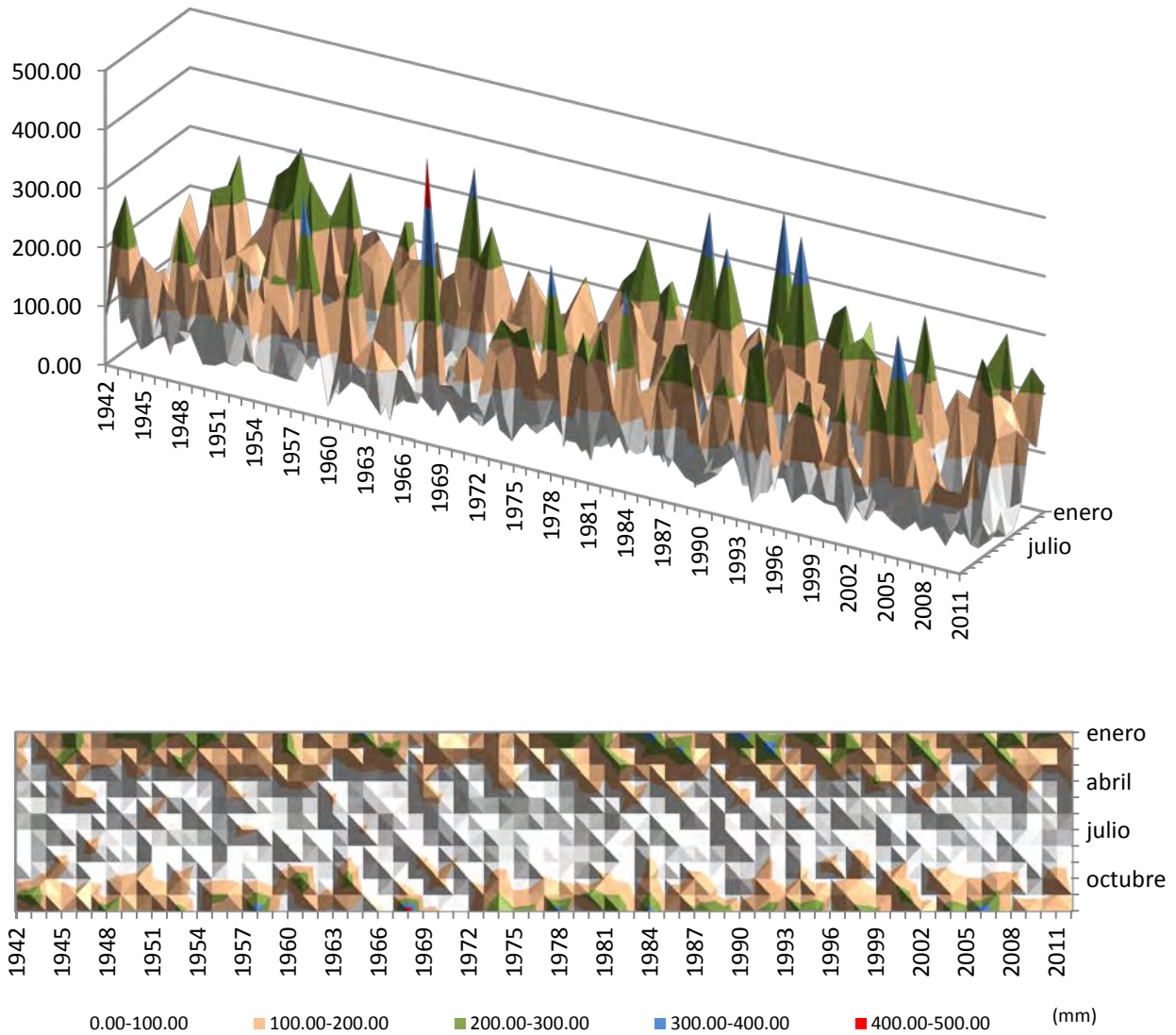


Figura 8 Precipitación total (mm) en Concepción

Tabla5 muestra la distribución mensual de precipitación total media y su tasa de cambio durante el periodo 1942-2011. Con la misma hoja de cálculo de precipitación media mensual, se usa cada columna con insumo a la función de Excel PROMEDIO, y luego igualmente la función PENDIENTE para calcular la precipitación media mensual y su tasa de cambio en el intervalo, respectivamente. La herramienta de traza hace el histograma para poder visualizar los datos mejor.

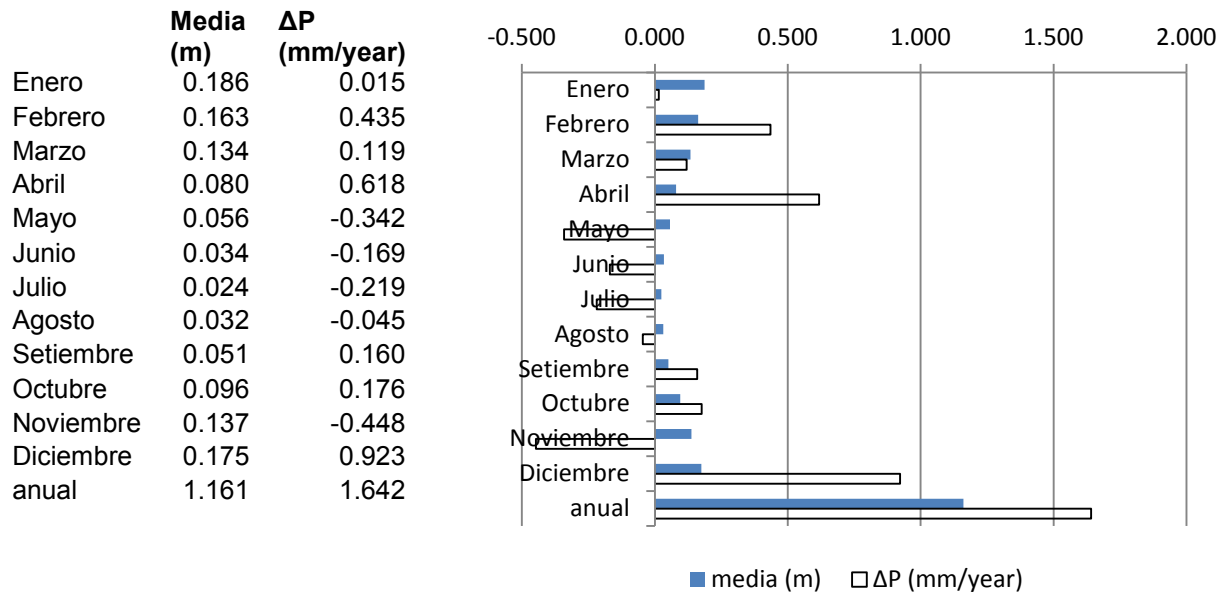


Tabla5 Precipitación, medias y tendencias mensuales en 1942-2011

Los datos de Días con Lluvia trazados en Figura 9 muestran la distribución por mes de días de lluvia. Usando una hoja de cálculos de años por meses de datos de días con lluvia, es un producto de cálculos de medias para cada mes, con la salida trazada como histograma. Las tendencias mostradas en Figura 10 son salidas de la función TENDENCIA, también trazadas como histograma.

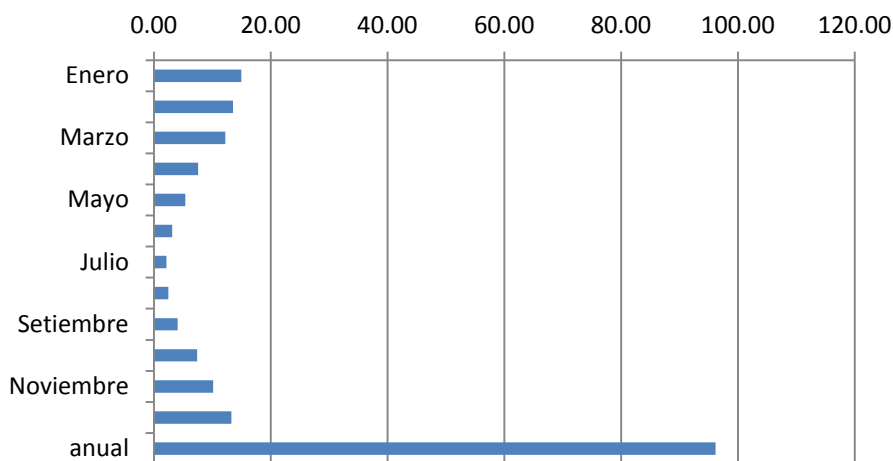


Figura 9 Días con lluvia en Concepción, 1941-2011

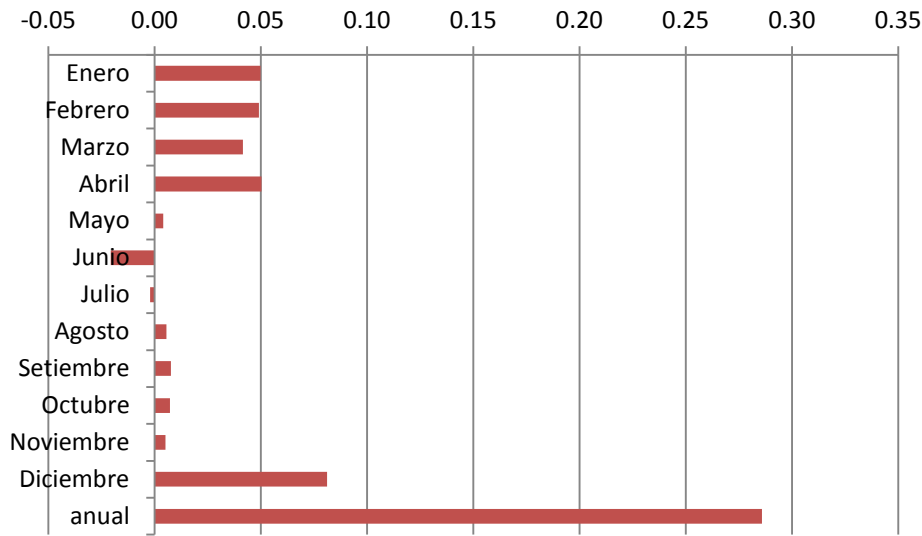


Figura 10 Cambio anual en días con lluvia, Concepción, 1942-2011

Figura 11 muestra que la tendencia depende mucho del intervalo escogido.

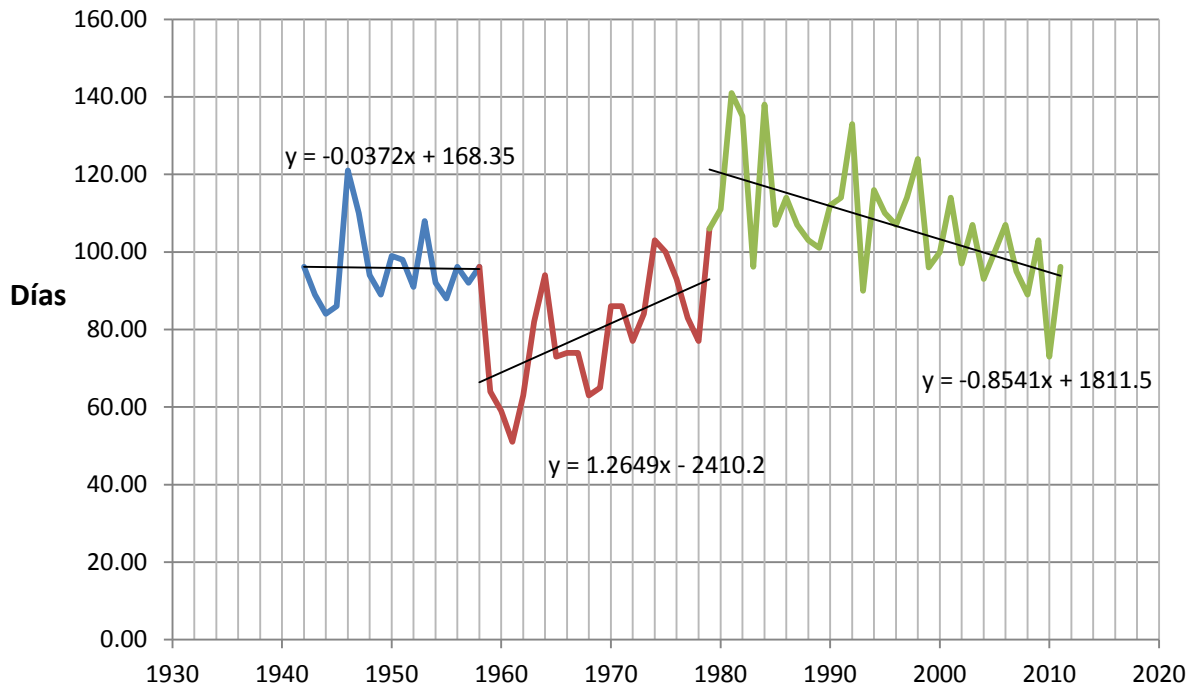


Figura 11 Días con lluvia, Concepción

Otros indicadores

Incendios forestales

Distinguir causas climáticas entre las varias fuentes de incendios forestales es problemático debido al uso intencionado y extenso por agricultores y ganaderos de la quema del bosque para el manejo de sus tierras. Estudios de datos de focos de calor en los Departamentos de Beni y Santa Cruz⁶ recolectados por satélite con sensores infra-rojos muestran un brusco aumento (más de x10) en la incidencia de incendios forestales durante los últimos diez años. Variaciones en precipitación y temperatura tienen un rol causativa en ello. Por ejemplo, una disminución en el año 2009 de los focos de calor se atribuye a las abundantes lluvias en la región y al fenómeno de “la Niña”. Sin embargo, las raíces directamente humanas son mucho más significantes.

Plagas

Plagas pueden ser sintomáticas de variabilidad climática. Aunque no se encuentran estudios de la incidencia de plagas en la cuenca Zapocó, el fenómeno de aumentos de organismos parasíticos debido a cambios climáticos ha sido estudiado en sitios homólogos, por ejemplo, en México y en Canadá. En ambos casos, inviernos menos fríos han resultado en la mayor sobrevivencia de escarabajos que dañan la corteza de ciertas especies de pinos, causando su extirpación.⁷ La percepción entre agricultores y científicos que Bolivia es vulnerable a esta amenaza es común.⁸

Flujos hidrológicos

Datos del flujo del riachuelo Zapocó serían útiles para identificar periodos de sequia, por ejemplo, épocas cuando el nivel del agua detrás de la represa baja tanto que para en absoluto el flujo.

Paleoclimatología

En principio se puede relacionar tipos de polen y las plantas actuales a los cuales corresponden, con tipos de polen encontrados en el record de fósiles, y hacer inferencias sobre las condiciones ambientales de esos fósiles, cuando estaban vivos⁹. Épocas climáticas específicas pueden ser caracterizadas. Por ejemplo, las tendencias implícitas en las colecciones de datos de estudios en este análisis podrían ser extendidas hacia el pasado para tener una visión más amplia. Desafortunadamente, el campo paleoclimático todavía es nuevo y la recolección de datos en la cuenca Zapocó, y en la Chiquitanía en general, no ha empezado. La metodología ha sido demostrada en la Laguna La Gaiba, 500km al sur-este de la cuenca Zopoco¹⁰.

⁶ Nay, H., Selaya, G., “[Evolución de Focos de Calor en Bolivia e Implicaciones Transfronterizas del Humo de Incendios Forestales](#)” Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7982

⁷ <http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nn-tt/noticia/2010/10/05/551929/cambio-climatico-exacerba-plagas.html>

⁸ <http://www.cambioclimatico-pnud.org.bo/paginas/admin/uploaded/climaBolivia.pdf>

⁹ Jones, H, “Characterization of neotropical savanna and seasonally dry forest ecosystems by their modern pollen rain”, Doctoral thesis, The University of Edinburgh, 2009

¹⁰ Whitney B, Mayle F, “A 45 kyr palaeoclimate record from the lowland interior of tropical South America”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 307, Issues 1–4, 1 July 2011, Pages 177–192

Dendrocronología

La dendrocronología es el estudio de árboles para revelar la historia ambiental. Por ejemplo, el tronco de un árbol cortado en sección radial muestra una serie de anillos concéntricos, cada uno de los cuales representa el crecimiento de un año. El grosor de un anillo refleja la salud del árbol en ese año. En general, periodos de poca agua, sol y/o sustancias nutritivas producen anillos relativamente delgados. Análisis de los anillos de ciertas especies de árboles en la cuenca Zapocó puede validar hipótesis basadas en otras medidas, como la precipitación.

Eventos extremos

Los análisis examina las colecciones de datos de SENAMHI buscando puntos de datos excepcionales, lejos de la media, que pueden indicar episodios de alta amenaza. Olas de calor, lluvia fuerte y sequías son distinguibles en los datos. Estos eventos y otros dejan rastros en las memorias de gente quienes los pasaron y en los archivos de los noticieros. Incidentes en el historial meteorológico pueden servir para validar fuentes anecdóticas.

Aunque los procesos naturales que contribuyen a temperatura, precipitación y otras manifestaciones meteorológicas no son aleatorios, este estudio usa a veces un enfoque estadístico, arbitrariamente haciendo un umbral en 1.5 de desviaciones estándares lejos de la media de una colección de datos, especialmente temperatura. Después de todo, el propósito es sólo identificar fechas que pueden ser memorables por la extremidad de su tiempo. La distribución de cantidades diarios/mensuales/anuales de precipitación es tal que ese enfoque devuelve demasiados episodios como extremos, y necesita un umbral más alto. El método de Precipitación Déciles fue desarrollado para resolver ese problema.

Temperatura

Se notan temperaturas extremas en los rangos de calor y frío. También se estiman temperaturas aparentes como función de humedad.

Tabla 6 muestra el resultado de un análisis estadística de los datos de temperatura absoluta máxima mensual de SENAMHI durante 1949-2010 en Concepción. Una tabla en una hoja de cálculos, con filas de años y columnas de meses es el insumo a funciones de Excel PROMEDIO, MAXIMO y DESVESTP para caracterizar los eventos de temperatura en términos de media, máxima y extrema. El umbral de "extremo" se calcula como la media +/- 1.5 de desviaciones estándares.

Media:	la temperatura media de ese mes tras todos los años
Media máxima:	la media de las máximas temperaturas de ese mes tras todos los años
Valor extremo:	temperatura que excede la media máxima con 1.5 de desviaciones estándares

Año	Mes	Media	Media máxima	Valor extremo
1949	Noviembre	25.0	35.5	38.5
1957	Octubre	25.8	36.1	38.2
1959	Enero	24.8	34.2	38.1
1959	Mayo	21.4	32.0	33.6
1960	Mayo	18.8	32.0	34.0
1961	Agosto	22.0	34.6	36.8
1965	Noviembre	25.3	35.5	38.0
1965	Diciembre	25.8	34.8	37.5
1966	Enero	26.0	34.2	37.2
1966	Febrero	24.9	33.7	38.0
1966	Marzo	25.1	33.2	35.1
1966	Noviembre	26.3	35.5	38.2
1967	Febrero	24.7	33.7	37.4
1967	Mayo	23.6	32.0	33.4
1967	Diciembre	25.5	34.8	37.9
1968	Enero	24.7	34.2	37.5
1968	Marzo	24.0	33.2	35.4
1968	Julio	20.9	32.2	34.6
1969	Enero	25.7	34.2	37.2
1969	Febrero	24.8	33.7	37.8
1969	Marzo	24.6	33.2	34.8
1969	Abril	23.4	33.1	35.4
1969	Diciembre	26.2	34.8	38.8
1970	Enero	26.0	34.2	39.6
1973	Abril	25.3	33.1	34.8
1982	Junio	21.7	31.3	34.5
1989	Diciembre	24.5	34.8	37.8
1991	Octubre	24.8	36.1	38.3
1992	Febrero	24.7	33.7	36.3
1997	Agosto	22.5	34.6	38.0
1997	Octubre	27.5	36.1	38.2
1998	Julio	23.2	32.2	34.2
2002	Enero	26.5	34.2	37.3
2002	Junio	20.7	31.3	33.2

Tabla6 Temperaturas (°C) máximas extremas

Tabla7 muestra el mismo análisis para identificar fechas de datos extremos de temperatura absoluta mínima de SENAMHI durante 1949-2010 en Concepción, calculando el umbral como la media mínima menos 1.5 de desviaciones estándares.

Año	Mes	Media	Media mínima	Valor extremo
1949	Febrero	23.7	16.3	9.6
1949	Abril	20.4	12.2	3.2
1950	Enero	24.3	16.9	11.1
1960	Diciembre	23.9	16.0	11.7
1960	Mayo	18.8	8.7	4.2
1961	Enero	24.1	16.9	10.9
1961	Marzo	22.9	15.2	9.2
1961	Junio	17.8	7.6	1.5
1964	Diciembre	25.1	16.0	11.8
1965	Abril	nd	12.2	7.8
1966	Septiembre	nd	10.7	4.1
1967	Junio	17.5	7.6	3.2
1968	Marzo	24.0	15.2	10.8
1968	Mayo	19.1	8.7	3.8
1969	Julio	nd	6.9	2.4
1970	Febrero	nd	16.3	10.1
1971	Diciembre	nd	16.0	10.8
1972	Octubre	nd	13.3	9.0
1972	Septiembre	nd	10.7	5.4
1974	Marzo	nd	15.2	11.0
1974	Noviembre	nd	14.4	10.0
1975	Julio	nd	6.9	-1.8
1976	Marzo	nd	15.2	10.0
1976	Octubre	nd	13.3	9.8
1977	Octubre	nd	13.3	9.0
1978	Agosto	nd	8.1	1.0
1979	Mayo	nd	8.7	3.9
1979	Junio	nd	7.6	3.0
1980	Noviembre	nd	14.4	11.0
1981	Julio	nd	6.9	2.0
1983	Mayo	23.3	8.7	5.0
1985	Junio	20.3	7.6	3.0
1986	Junio	21.1	7.6	3.0
1987	Marzo	24.6	15.2	9.9
1988	Julio	18.2	6.9	2.2
1989	Diciembre	24.5	16.0	10.8
1989	Octubre	25.8	13.3	10.0
1993	Junio	20.6	7.6	3.5
1999	Noviembre	25.6	14.4	11.0
2008	Mayo	20.8	8.7	5.0

Tabla7 Temperaturas (°C) mínimas extremas

Índice de Calor

Golpe de calor es una amenaza grave a la gente y al ganado. En condiciones de alta temperatura y humedad, los mecanismos del cuerpo de enfriarse pueden ser inadecuados. El sudor se vuelve menos efectivo para extraer el calor por evaporización porque la capacidad del aire de absorber agua disminuye con incremento de humedad. Se usa el Índice de Calor, también conocido como temperatura aparente, para cuantificar esta condición, lo cual es una función de temperatura y humedad relativa. Apéndice A explica el método de calcularla.

Este análisis identifica instancias en los datos meteorológicos cuando las condiciones de temperatura y humedad se ponen peligrosos y muestra la tendencia de la amenaza a través del intervalo de los datos. Los valores calculados acá son conservadores, basados en el promedio mensual de la humedad relativa, porque los datos de humedad relativa máxima no son disponibles.

Los datos en Tabla8 fueron calculados así:

1. Recopila datos de temperatura máxima (°C) y humedad relativa (%), arreglados en tablas de años (filas) por meses (columnas).
2. Calcula el matriz de Índices de Calor en los rangos 20–50°C y 20-100% HR con la ecuación en Apéndice A.
3. Ejecuta el macro en Apéndice A para calcular el Índice de Calor máximo de cada mes
4. Identifica los meses con Índice de Calor que exceden la media más 1.5 desviaciones estándares y indícalos en la tabla que sale del paso No. 3, con color blanco de fuente.

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1982	50.2	52.0	51.1	55.0	49.9	58.5	43.4	49.2	50.4	53.7	53.7	54.2
1983	53.2		54.4	54.0	47.6	40.8	41.1			50.2		
1984	61.5	50.7	50.4	50.0	47.7	42.5	43.9	46.4	49.4	59.7		
1985				48.0	43.5	40.4	41.0	47.5	49.8	52.5	55.2	63.6
1986	48.9	46.5	53.9	47.6	46.0	36.6	39.4	45.0	50.1	50.4	54.3	53.4
1987	50.0	52.7	49.3	50.4	41.6	37.0	38.3	44.1	44.7	56.1	48.6	45.4
1988	47.2	49.2	52.7	43.8	39.7	38.8	36.3	41.9	47.7	49.5	52.8	55.1
1989	44.2	45.6	43.0	49.5	37.0	39.0	38.3	38.1		46.5	54.9	69.7
1990	49.3	47.9	48.4	43.6	41.3	35.7	35.5	40.6	40.9	53.6	48.6	50.6
1991	45.5	48.8	42.5	41.9	40.3	35.6	33.9	45.0	49.5	60.9	49.6	50.3
1992	48.6	43.5	44.9	43.8	42.6	37.7	36.6	38.8	42.2	42.0	42.4	48.3
1993	43.8	46.8	48.2	44.3	42.0	39.4	38.1	41.3	41.7	46.6	55.9	65.9
1994	50.4	44.3	49.5	44.8	43.7	38.7	36.7	42.7	45.5	53.0	47.7	46.9
1995	44.6	44.3	44.1	41.0	41.9	37.4	41.0	40.1	44.2	52.2	56.1	54.5
1996	47.0	51.1	56.0	53.2	45.4	41.2	43.8	45.7	55.9	52.8	50.3	56.6
1997	57.8	54.2	48.8	44.4	46.5	40.1	45.1	61.0	55.7	60.5	68.0	56.4
1998	59.6	58.7	52.5	53.8	43.6	41.5	45.2	49.6	56.8	52.0	55.2	49.7
1999	55.8	51.1	51.7	49.4	43.0	41.9	44.8	42.8	52.4	55.9	56.2	58.0
2000	61.5	52.8	54.3	52.8	44.0	42.2	42.8	50.5	50.4	55.1	52.1	53.3
2001	51.4	56.2	47.3	51.9	46.2	43.7	44.4	54.3	60.6	61.4	49.9	47.6
2002	63.8	56.1	54.2	54.3	45.4	47.9	40.5	45.6	47.7	54.6	56.0	55.2
2003	54.4	50.4	50.1	49.4	45.8	45.1	40.1	41.8	50.9	48.7	48.7	56.0
2004	56.5	55.5	48.0	48.8	38.9	39.5	40.2	45.0	48.5	62.6	50.4	52.6
2005	52.3	49.8	52.2	50.9	44.5	40.5	38.7	43.3	46.7	53.4	47.4	50.7
2006	46.4		46.0	45.2	37.5	39.5	41.0	43.0	45.8	54.6	51.6	46.9
2007	47.0	46.0	45.3	47.2	41.8		38.1	40.3	48.7	57.1	49.4	51.0
2008	44.2	45.9	50.3	45.0	41.4	36.7	41.8	44.7	44.1	53.5	55.7	58.7
2009		43.6	46.9	44.4	42.2	36.7	37.1	41.8	49.6	53.9	61.3	48.0
2010	51.6	51.6	53.1	51.2	45.4	40.8						

HI ≤ 33 °C	cuidado
33 °C < HI ≤ 41 °C	mucho cuidado
41 °C < HI ≤ 52 °C	peligro
HI > 52 °C	peligro extremo
HI > 52 °C	> 1.5 desviaciones estándares
	datos no disponibles

Tabla8 Máxima de Índices de Calor

Precipitación

Tabla9 muestra meses en los cuales la medida de precipitación era más que 1.5 desviaciones estándares sobre la media. Fue calculado con el proceso siguiente:

1. Un una tabla de datos de precipitación mensual arreglado con años en las filas y meses en las columnas, calcula la media y desviación estándar on PROMEDIO y DESVESTP de cada mes y escríbelas en el fondo de la columna.
2. Con un macro, haga una lista de valores de precipitación que exceden la media y desviación estándar de su mes, como Tabla9.

Año	Mes	Promedio	Valor Extremo
1943	Noviembre	137.4	284
1945	Marzo	133.8	227
1945	Septiembre	51.1	151.4
1946	Mayo	56.5	197.5
1947	Mayo	56.5	144.7
1947	Agosto	31.6	148
1949	Junio	34.1	86.7
1951	Enero	186.4	309.5
1951	Junio	34.1	140.1
1951	Agosto	31.6	78.5
1953	Marzo	133.8	284
1957	Julio	24.4	125.2
1958	Julio	24.4	105.5
1958	Noviembre	137.4	225.7
1958	Diciembre	175.5	371.7
1960	Abril	80.2	153.8
1960	Agosto	31.6	110.9
1960	Octubre	95.8	186.4
1961	Octubre	95.8	297.1
1963	Junio	34.1	83.6
1964	Septiembre	51.1	124.2
1964	Octubre	95.8	268.3
1965	Enero	186.4	349.3
1965	Julio	24.4	122.6
1967	Febrero	162.7	268.4
1968	Diciembre	175.5	487.5
1969	Septiembre	51.1	134.8
1970	Mayo	56.5	120.7
1971	Septiembre	51.1	113.1
1972	Agosto	31.6	88.9
1974	Octubre	95.8	185.2
1978	Diciembre	175.5	356.7
1979	Enero	186.4	300.5

Año	Mes	Promedio	Valor Extremo
1980	Abril	80.2	185
1980	Noviembre	137.4	240.3
1981	Agosto	31.6	83.2
1982	Marzo	133.8	257
1982	Junio	34.1	97.3
1983	Mayo	56.5	156.3
1984	Enero	186.4	371.1
1984	Septiembre	51.1	116
1984	Diciembre	175.5	345.9
1985	Julio	24.4	84.3
1986	Febrero	162.7	329.2
1990	Enero	186.4	403.1
1990	Mayo	56.5	141.2
1990	Agosto	31.6	88.3
1992	Febrero	162.7	380.1
1992	Abril	80.2	176.2
1992	Septiembre	51.1	116.3
1994	Abril	80.2	159.6
1994	Junio	34.1	132.3
1995	Diciembre	175.5	312.7
1996	Marzo	133.8	218.7
1996	Septiembre	51.1	134.9
1998	Septiembre	51.1	192.7
1999	Abril	80.2	229.7
2000	Julio	24.4	73.4
2001	Noviembre	137.4	248.3
2002	Febrero	162.7	297.3
2002	Mayo	56.5	159.6
2003	Marzo	133.8	242.8
2006	Abril	80.2	185
2006	Diciembre	175.5	379.6
2007	Noviembre	137.4	223.2
2011	Octubre	95.8	202.6

Tabla9 Meses con precipitación total muy alta

En el intervalo 1943 – 2012, casi 500 días excedieron el umbral de “evento extremo” de lluvia con valores de mas que la media más 1.5 desviaciones estándares. Tabla10 ordena por fecha los días con tasas pluviales más que una cantidad arbitraria pero manejable, en que investigadores pueden buscar eventos de diluvios repentinos.

Fecha	Lluvia (mm)
23-Mar-2010	106
29-Ene-2008	98
5-Feb-2002	131
11-Dic-1995	108
5-Ene-1995	112
24-Mar-1991	107
26-Mar-1990	97
3-Ene-1990	92
14-Dic-1988	114
23-Dic-1982	107
8-Nov-1980	92
11-Ene-1978	107
24-Dic-1976	134
22-Dic-1968	240
17-Feb-1967	113

Fecha	Lluvia (mm)
26-Ene-1965	119
7-Oct-1964	101
26-Mar-1962	100
14-Oct-1961	149
6-Mar-1961	95
1-Abr-1960	96
21-Ene-1960	142
7-Nov-1959	107
1-Dic-1958	92
9-Ene-1957	91
27-Dic-1955	95
29-Nov-1946	90
22-Nov-1944	111
3-Nov-1943	141

Tabla10 Tasas diarias extremas de lluvia

Figura 12 muestra la distribución de intensidades (mm/día) de lluvia diaria entre 1943 - 2012. Fue construida con la función de matriz FRECUENCIA para alocar los datos a rangos de cantidades pluviales, y trazada como histograma por Excel. Los días de muy alta precipitación son tan excepcionales que se ven mejor con una ejes vertical logarítmica.

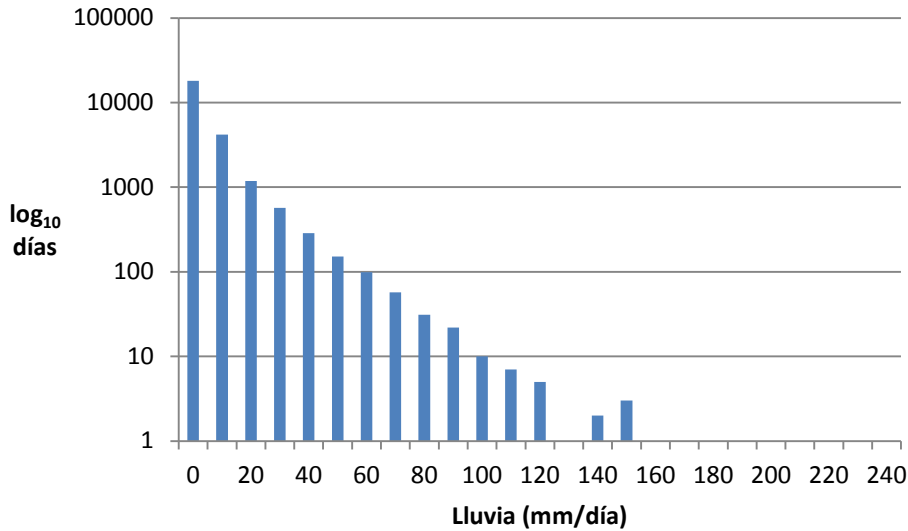


Figura 12 Frecuencia de intensidades de precipitación diaria en 1943 – 2012

Sequia

Con el método de lo anterior, Figura 1 indica la frecuencia de intervalos sin lluvia en la cuenca y, hacia el lado derecho, de sequias.

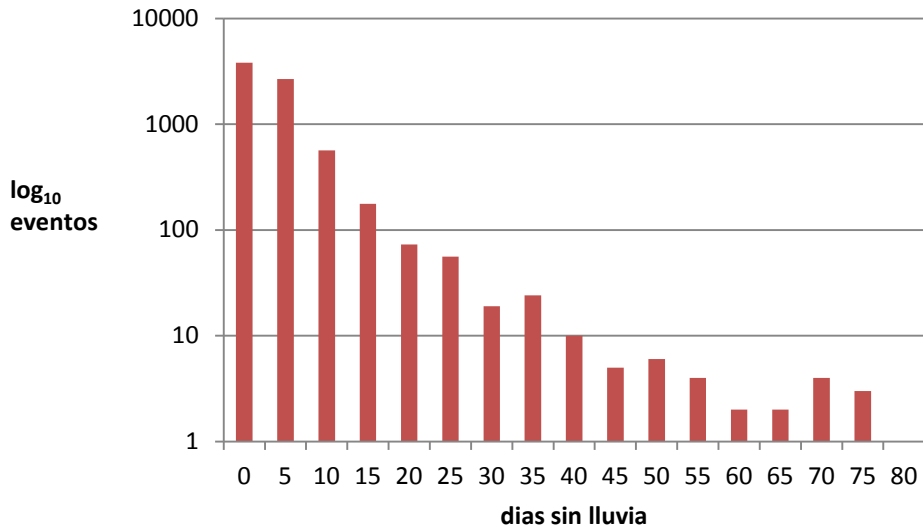


Figura 13 Distribución de duración de intervalos sin lluvia en 1943 – 2012

Precipitación Déciles¹¹ es un método sencillo de categorizar tasas pluviométricas características de un lugar. Este análisis examina solo los meses de Abril a Setiembre, porque el invierno es la estación difícil en el tema de sequia. Típicamente la sequia es un fenómeno de largo plazo, de varios meses, y por eso, tasas mensuales son adecuados.

El procedimiento es lo siguiente:

1. Ordena por valor los datos mensuales de precipitación en una lista.
2. Divide la lista en diez grupos (déciles) de largo uniforme.
3. Extraiga los límites (primero, último) de cada grupo.
4. Define una caracterización por cada décile.

En el caso de Concepción, el análisis produce la caracterización mostrado en Tabla 11, calculado de datos tomado de SENAMHI por Concepción durante 1943-2011.

Décile	Rango de precipitación mensual (mm)		Caracterización
10	111	230	mucho sobre el normal
9	74	110	
8	60	73	sobre el normal
7	47	59	
6	35	46	cerca el normal
5	28	34	
4	19	27	debajo el normal
3	9	18	
2	1	8	
1	0	1	mucho debajo el normal

Tabla 11 Caracterización de déciles

Con estos criterios se puede identificar ciertos episodios en la historial de precipitación en Concepción como sequias, los peores de los cuales se encuentran en los bajos dos déciles, listados en Tabla 12.

¹¹ Gibbs W. J., Maher J. V., Rainfall deciles as drought indicators, Commonwealth Bureau of Meteorology, 1967

Año		Precip (mm)	No. meses
1943	May-Set	10	5
1944	Jul-Set	21	3
1946	Jun-Ago	21	3
1947	Jun-Jul	13	2
1948	Abr-Jun	10	3
1949	Jul-Set	3	3
1950	Jul-Set	6	3
1952	Jun-Set	24	4
1953	Jun-Set	14	4
1954	Jul-Ago	3	2
1955	Jun-Set	11	4
1959	May-Set	26	5
1960	May-Jul	13	3
1961	Jun-Set	17	4
1962	May-Set	16	5
1963	Jul-Set	6	3
1964	May-Ago	30	4
1966	Jul-Ago	5	2
1967	Jul-Set	24	3
1968	Abr-Jul	13	4
1969	Jun-Ago	5	3
1970	Ago-Set	12	2
1973	Ago-Set	7	2
1974	Jun-Set	29	4

1977	Jun-Ago	16	3
1978	May-Ago	15	4
1979	Jun-Ago	7	3
1984	May-Jul	9	3
1985	May-Jun	13	2
1987	Jul-Set	18	3
1988	May-Set	6	5
1991	Jul-Ago	5	2
1992	May-Jul	12	3
1993	Abr-Set	21	6
1995	Jun-Ago	3	3
1996	May-Ago	15	4
1999	May-Set	19	5
2000	Ago-Set	11	2
2001	Jun-Ago	7	3
2002	Jun-Jul	12	2
2003	Jul-Set	16	3
2004	Jul-Ago	7	2
2006	May-Jul	8	3
2007	Abr-Set	15	6
2008	May-Jul	5	3
2010	Abr-Set	11	6
2011	May-Ago	15	4

Tabla 12 Intervalos de sequía

Apendice A Índice de Calor

La fórmula para calcular el Índice de Calor en grados Celsius es dado por:

$$IC = \alpha_1 + \alpha_2 T + \alpha_3 R + \alpha_4 TR + \alpha_5 T^2 + \alpha_6 R^2 + \alpha_7 T^2 R + \alpha_8 TR^2 + \alpha_9 T^2 R^2$$

donde

IC = Índice de Calor
T = Temperatura ambiente de bulbo seco, °C
R = humedad relativa, %

α_1 = 16.18754944
 α_2 = 3.294368406
 α_3 = 4.20936934
 α_4 = -0.333784314
 α_5 = $-2.2154569 \times 10^{-2}$
 α_6 = -2.956469×10^{-2}
 α_7 = 3.9811176×10^{-3}
 α_8 = 1.420452×10^{-3}
 α_9 = -6.4476×10^{-6}

El valor esta precisa a ± 1.5 °C cuando la temperatura y humedad están por lo menos 26.7 °C y 40%, respectivamente.¹²

Tabla 13 califica los índices en términos subjetivos de comodidad y peligro.

¹² Muhammad Sohail Gadiwala, Naeem Sadiq, "The Apparent Temperature Analysis of Pakistan Using Bio-Meteorological Indices", Pakistan Journal of Meteorology Vol. 4 Issue 8: 15 January 2008
http://www.pmd.gov.pk/rnd/rnd_files/vol4_issue8/2.The%20Apparent%20Temperature%20Analysis%20of%20Pakistan%20using%20Bio.pdf

°C/%	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
42°	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82
41°	46	46	51	53	55	57	59	61	64	66	68	70	72	74	76	79
40°	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75
39°	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	66	68	70	72
38°	42	44	45	47	49	51	53	55	56	58	60	62	64	66	67	69
37°	40	42	44	45	47	49	51	52	54	56	58	59	61	63	65	66
36°	39	40	42	44	45	47	49	50	52	54	55	57	59	60	62	63
35°	37	39	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	56	58	59	61
34°	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	52	54	55	57	58
33°	34	36	37	39	40	41	43	44	46	47	48	50	51	53	54	55
32°	33	34	36	37	38	40	41	42	44	45	46	48	49	50	52	53
31*	32	33	34	35	37	38	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50
30°	30	32	33	34	35	36	37	39	40	41	42	43	45	46	47	48
29°	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46
28°	26	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
27°	27	27	26	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
28°	26	26	27	26	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37	38	39
25°	25	25	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36	37
24°	24	24	24	25	26	27	28	28	29	30	31	32	33	33	34	35
23°	23	23	23	24	25	25	26	27	28	28	29	30	31	32	32	33
22°	22	22	22	22	23	24	25	25	26	27	27	28	29	30	30	31

Tabla 13 Interpretación del índice de temperatura aparente¹³

hasta 29 C°	Sin incomodidad
de 30 a 34 C°	Leve incomodidad
de 35 a 39 C°	Alta incomodidad. Precaución: evita las actividades más pesadas
de 40 a 45 C°	Sensación de fuerte malestar. Peligro: evita esfuerzo
de 46 a 53 C°	Peligro serio: para toda actividad física
más de 54 C°	Peligro de muerte: golpe de calor inminente

¹³ http://www.eurometeo.com/english/read/doc_heat

Excel macro para construir Tabla 8:

Sub HI ()

```
Rem   Construye tabla de valores de Índice de Calor que corresponde a
Rem   las tablas de datos empíricas de temperatura y humedad relativa

Dim humid, temp, yr, mnth, rownum, colnum, HIvalue
rownum = 2
While Worksheets("HIc").Cells(rownum, 1).Value <> ""
  For colnum = 2 To 14
    yr = Worksheets("HIc").Cells(rownum, 1).Value
    mnth = Worksheets("HIc").Cells(1, colnum).Value
    temp = getparam(yr, mnth, "tempCmax")
    humid = getparam(yr, mnth, "humid media")
    If (IsNumeric(temp) And IsNumeric(humid)) Then
      HIvalue = lookupHI(temp, humid, "tableC")
      Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Value = HIvalue
      If HIvalue < 33 Then
        Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Interior.Color =
RGB(255, 255, 150)
      ElseIf HIvalue < 41 Then
        Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Interior.Color =
RGB(255, 255, 10)
      ElseIf HIvalue < 52 Then
        Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Interior.Color =
RGB(255, 71, 10)
      Else
        Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Interior.Color =
RGB(255, 0, 0)
      End If
    Else
      Worksheets("HIc").Cells(rownum, colnum).Value = ""
    End If
  Next

  rownum = rownum + 1
Wend

End Sub
```

Function getparam(yr, mnth, tablename)

```
Rem   Busca el parámetro en la tabla

Dim rownum, colnum

Rem get the year row
rownum = 2
While Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value <> "" And
Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value <> yr
  rownum = rownum + 1
Wend

Rem get the month column
If Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value <> "" Then
  colnum = 2
```

```

    While Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value <> "" And
Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value <> mnth
        colnum = colnum + 1
    Wend

    Rem if found year,month then return temperature value
    If Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value <> "" Then
        getparam = Worksheets(tablename).Cells(rownum, colnum).Value
    Else
        getparam = ""
    End If
End If
End Function

```

Function lookupHI(temp, humid, tablename)

```

Rem look up the apparent temperature in the HI table

Dim factorH, factorT, rownum, colnum, humidapprox1, humidapprox2

colnum = 2
While Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value < humid And
Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value <> ""
    colnum = colnum + 1
Wend

rownum = 2
While Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value > temp And
Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value <> ""
    rownum = rownum + 1
Wend

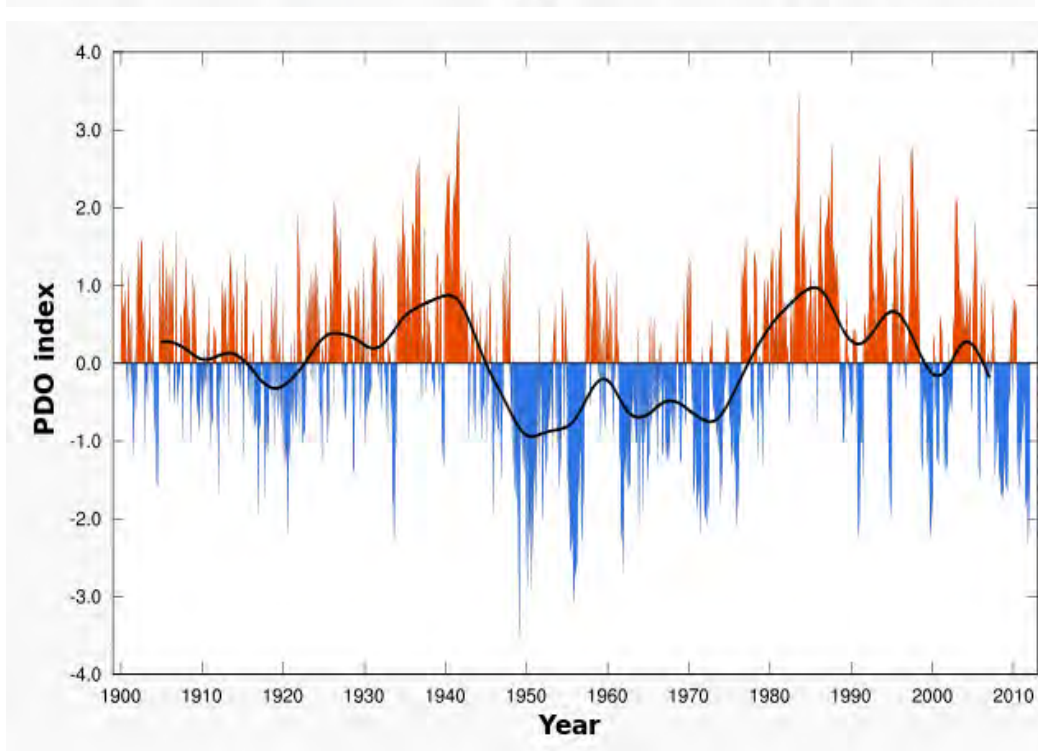
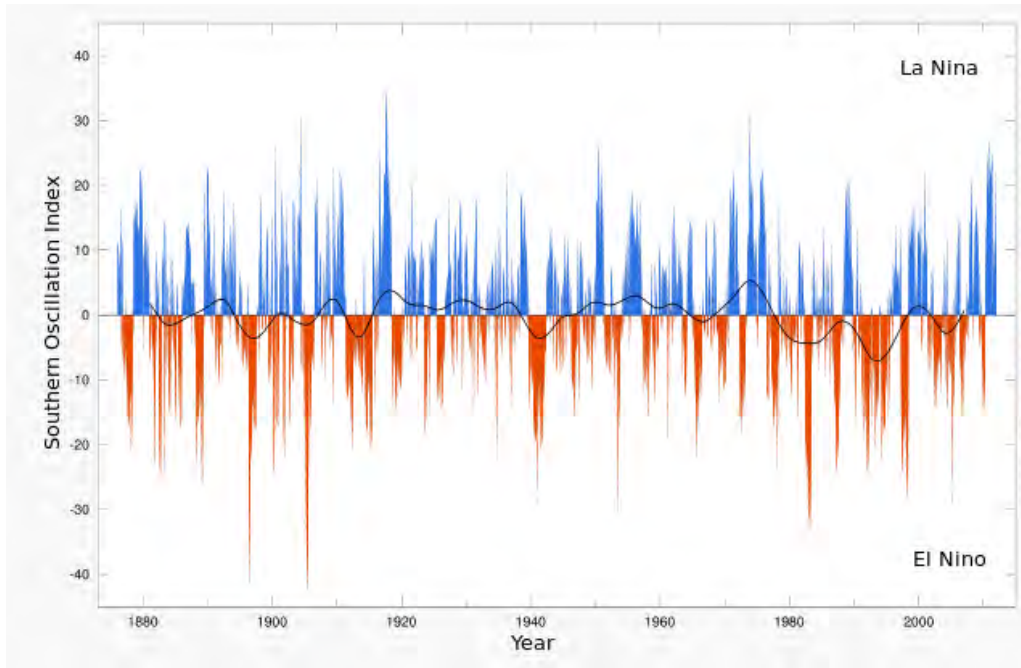
Rem interpolate in 2 dimensions
factorH = (humid - Worksheets(tablename).Cells(1, colnum - 1).Value) /
(Worksheets(tablename).Cells(1, colnum).Value -
Worksheets(tablename).Cells(1, colnum - 1).Value)
factorT = (temp - Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value) /
(Worksheets(tablename).Cells(rownum - 1, 1).Value -
Worksheets(tablename).Cells(rownum, 1).Value)

humidapprox1 = Worksheets(tablename).Cells(rownum - 1, colnum - 1).Value +
factorH * (Worksheets(tablename).Cells(rownum - 1, colnum).Value -
Worksheets(tablename).Cells(rownum - 1, colnum - 1).Value)
humidapprox2 = Worksheets(tablename).Cells(rownum, colnum - 1).Value +
factorH * (Worksheets(tablename).Cells(rownum, colnum).Value -
Worksheets(tablename).Cells(rownum, colnum - 1).Value)

lookupHI = humidapprox2 + factorT * (humidapprox1 - humidapprox2)
End Function

```


Apéndice B Oscilaciones de El Niño¹⁴/La Niña Sur y Pacifico Decadal¹⁵



¹⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o%E2%80%93Southern_Oscillation

¹⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Pacific_decadal_oscillation

Apéndice C Estudios para hacer

Este documento va acumulando métodos de análisis según pedidos de los entrevistadores y nueva disponibilidad de datos. Los siguientes esperan atención.

- Resultados del estudio de incendios forestales
- Busca noticias de incendios durante los eventos extremos de calor, p.ej., 1963, 1993
- Analiza incidencia de plaga, dengue, malaria, relacionados con eventos extremos de largo plazo
- Busca datos de muertos de golpe de calor en SENETROP, la Prefectura, PMOT
- Datos dendrocronológicos de IBIF