



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

El dengue en cuatro municipios del estado de Colima
de 2008 a 2013: un modelo predictivo.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

NORMA YANET SÁNCHEZ TORRES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ERICK JAVIER LÓPEZ SÁNCHEZ



SLAYED

México, D. F., 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

FORMA 3
 APROBACIÓN DEL TRABAJO ESCRITO POR EL SÍNODO

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA DE
 MÉXICO

EGRESADA: **SANCHEZ TORRES NORMA YANET**
 N° de cuenta: **094557956**
 Generación: **2007-2012**
PRESENTE

Por este conducto tenemos a bien comunicar a Usted que, después de revisar el trabajo escrito de **TESIS** titulado **EL DENGUE EN CUATRO MUNICIPIOS DEL ESTADO DE COLIMA DE 2008 A 2013: UN MODELO PREDICTIVO.**, para optar por el grado de **LICENCIADA** en **GEOGRAFÍA**, cada uno de los miembros del jurado emitió su dictamen aprobatorio considerando que dicho trabajo reúne los requisitos académicos necesarios para presentar el examen oral correspondiente.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 Cd. Universitaria, D.F. a 21 de abril de 2014.

NOMBRE DE SINODALES	ANTIGÜEDAD EN LA UNAM	FIRMA DE APROBACIÓN DEL TRABAJO ESCRITO
Presidente: <u>DRA. ROSALIA VIDAL ZEPEDA</u>	<u>01-VI-1969</u>	
Vocal: <u>LIC. JOSE HILARIO MAYA FERNANDEZ</u>	<u>16-XII-1979</u>	
Secretario: A.T. <u>DR. ERICK JAVIER LOPEZ SANCHEZ</u>	<u>11-VIII-1997</u>	
Suplente: <u>MTRO. PASTOR GERARDO GONZALEZ RAMIREZ</u>	<u>06-IV-1981</u>	
Suplente: <u>DR. RODOLFO ACUÑA SOTO</u>	<u>14-VIII-2006</u>	



Vo. Bo.

COORDINADORA DE LA CARRERA
 FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
 Jefe de la División de Estudios Profesionales
 Sistema Universitario de Estudios e Investigación
 y Educación a Distancia

MTRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES PENSADO LEGLISE

c.c.p. El(La) Egresado(a)
 c.c.p. Coordinación de la Carrera
 c.c.p. Secretaría Académica de Servicios Escolares

*Por que sabía que la única manera
que leerías mi trabajo sería esta.*

*A mis sobrinos desde el más grande hasta la más pequeña:
esperando que sigan un camino similar.*

Agradecimientos

A los sinodales, la Dra. Rosalía por su tiempo y rapidez en regresarme las correcciones, al Lic. Hilario por sus observaciones puntuales que me realizó y sus ideas que hicieron que el trabajo quedara más completo, al Mtro. Pastor por sus valiosos comentarios y la prontitud en revisar y al Dr. Rodolfo por sus acertados comentarios.

A la Mtra. Ángeles por sus sugerencias de revisores y la orientación de los trámites administrativos. A mis profesores Claude Cortez, Verónica Ibarra, Alejandra Peña, María Teresa García, Hilario Maya, Pastor Gerardo González, Citlalli, Patricia Olivera, Alfredo Victoria, Lidya Ortiz, Eduardo Pérez, que se esforzaron por enseñarme lo hermosa que es la Geografía y quitarme la idea de que existen dos geografías: física y social.

A los Dres. Victor Cervantes y Francisco Espinosa de la Universidad de Colima quienes dedicaron su tiempo en hablar un poco sobre el proyecto del que se trabajó en la entidad.

A los médicos Berenice Sánchez y Javier López por sus explicaciones sobre el dengue, aportaciones, búsqueda y recursos proporcionados para realizar la visita de campo a los diversos municipios del Estado de Colima, gracias por dedicarme su tiempo.

A mis compañeros de generación Patricia, Josué, Humberto, Carlos, Karina, Felix, Eduardo, Jaqueline, Hervé, Victor, Anayeli, con los cuales conviví en muchas o pocas prácticas de campo, en trabajos y exposiciones y aprendí cosas nuevas. A aquellos que fui conociendo a lo largo de la carrera como Lil, Ramón, Oscar, con quienes tuve la fortuna de encontrarlos desde el segundo semestre y con los cuales comenzamos a escribir aquel

boletín titulado “enlace geográfico”. A Dulce, Javier, Victor Tenorio, Jesús, Marisol, Vanessa, Emmanuel, Gerardo a quienes conocí casi al final de la carrera, pero con quienes disfruté llevar materias y convivir en algunas prácticas de campo. Y a todos aquellos que por cuestiones de tiempo he omitido, y que por alguna u otra razón tuvimos la suerte de encontrarnos en el camino.

A mis alumnetos biólogos, a quienes torturaba hablándoles de geografía en pocas o muchas ocasiones, aquí esta por fin el trabajo terminado.

A mis hermanos Vic, Pepe, Miguel, Anell, Omar, Marisol, Manuel, Henry, Silvia, Mary, Eva, Olga a quienes sólo les puedo decir que son dos y falta una. A mi madre quién ya sabe que seguiré cosechando conocimiento hasta que el tiempo lo permita.

Finalmente quiero agradecer a mi asesor el Dr. Erick Javier López Sánchez, porque aunque al principio fue difícil trabajar, a lo largo del camino me dí cuenta que el trabajo en equipo resulta ser mejor, y escuchar sus comentarios sin alegarle, acelera la obtención de resultados. Aún no somos colegas Dr. pero ya pronto lo seremos, no desespere.

Índice general

Introducción	9
1. Marco teórico	13
1.1. Geografía de la salud	13
1.2. La Geografía y el dengue	14
1.3. Aedes Aegypti	15
1.3.1. Ciclo biológico	17
1.3.2. Fase acuática	18
1.3.3. Fase aérea	19
1.4. Mecanismos de control	19
1.5. Colima	20
1.5.1. Medidas preventivas	21
1.5.2. Armería	25
1.5.3. Ixtlahuacán	27
1.5.4. Tecomán	28
1.5.5. Manzanillo	29
1.6. Modelos previos	29
2. El estudio	31
2.1. La metodología	31
2.2. Tratamiento de datos	32
2.3. La interpretación	34
2.4. Análisis de datos	40
2.5. La visita	42

3. La predicción	51
3.1. Armería	51
3.2. Ixtlahuacán	55
3.3. Manzanillo	56
3.4. Tecomán	56
3.5. Las medidas preventivas	58
3.6. Lo que se espera	59
4. Conclusiones	61
4.1. Discusión	61
4.2. Conclusiones finales	63
A. Tratamiento de datos	65
B. Series de tiempo	69
B.1. Análisis de la serie	69
B.2. Suavizamiento de la serie.	72
B.2.1. Media móvil	72
C. Scilab	75
D. Periodicidad	81
D.0.2. Interpolación cúbica	83

Introducción

El dengue en la actualidad representa la mayor problemática de salud pública, no solamente en América, sino también en el resto del mundo (Narro, 1995). Tiene sus orígenes en el sudeste asiático en dónde se encontraron los primeros brotes de dengue; años después se dispersó a otros continentes, entre ellos el de América y fue así como se ha ido extendiendo hacia casi todos los lugares en donde se encuentra el mosquito que lo ocasiona “*Aedes Aegypti*” (Narro, 1995).

De acuerdo al boletín de epidemiología (Epidemiología, 1984) el virus entró a México por la selva de Guatemala en 1957, presentándose los primeros casos en Tehuantepec Oaxaca en 1958 (los cuales eran unos ejidos de reciente cración), también se tienen datos de que el *Aedes Aegypti* se presentó en Guaymas Sonora en el año de 1936 (Epidemiología, 1984), pero no fue sino hasta 1962 cuando se realizaron las primeras acciones para combatirlo. En ese entonces se pensaba que se había logrado acabar con el mosquito, pero el país se re infecta debido a la entrada de huevecillos en llantas de desecho importadas del sur de Estados Unidos (porque se había negado en hacer una campaña de combate al dengue pues eso le implicaba un gasto que el gobierno no estaba dispuesto a cubrir).

El boletín de epidemiología en su edición de febrero de 1982, presenta casos de dengue que aparecieron desde 1978 en diversos estados de la República, entre los que sobresalen Oaxaca, Chiapas, Campeche, Tabasco, Veracruz y Yucatán, lugares que en el periodo 2000-2007 aumentó su presencia; otros estados que no lograron escapar de la invasión del mosquito fueron Tamaulipas, Nayarit, Jalisco y Sonora, alcanzando para 2007 las cifras más altas en la historia de la enfermedad (Secretaría de Salud, 2008).

El dengue es una prioridad de salud pública nacional, debido a los efectos sociales y económicos inmediatos que puede ocasionar. Una de las labores de un geógrafo es vincularlos, con el propósito de que su análisis sea de utilidad para la toma de decisiones en el país o bien en alguna comunidad. En la actualidad existen estudios sobre modelos matemáticos que tratan de prever la expansión de la enfermedad cuando ya se ha presentado por ejemplo López (2012) y Mosquera (2006), quienes presentan modelos matemáticos de la enfermedad, pero sólo se quedan en ecuaciones y gráficas que al parecer a las autoridades no les dice nada de cómo pueden evitar más brotes, lo que ocasiona que no se les preste mucha atención en el área social, a tales modelos.

El geógrafo dentro de su formación, lleva cursos de matemáticas y estadística. Se han realizado trabajos con el propósito de que un geógrafo comprenda la utilidad de las matemáticas en la Geografía y de esa misma forma comprenda los procedimientos matemáticos para que otros profesionistas no usurpen las temáticas de las que se ocupa un geógrafo (López-Sánchez, 2013). Si el geógrafo está relacionado con las Matemáticas, ¿qué relación tiene entonces el geógrafo con la Medicina?, es una pregunta que salta automáticamente cuando se pretende relacionar la Geografía con la Medicina, más aún cuando en el plan de estudios (en el sistema abierto), no existe una materia que relacione la Medicina y la Geografía, se habla de Geografía Humana como un posible vínculo entre esta área, efectivamente en sus inicios la Geografía Médica fue el vínculo que tuvo con la Geografía pero como toda área necesita desarrollarse, sucedió lo mismo con la Geografía Médica y por lo tanto buscó su propia “identidad”, sugiendo así lo que hoy en día se conoce como Geografía Médica o de la Salud (para evitar controversias se tomarán en esta tesis como equivalentes, debido a que en la actualidad existen algunos autores que aún manejan el término de geografía médica).

Entonces las epidemias y la Geografía no están separadas, es necesario que el geógrafo realice más análisis como los presentados en las siguientes páginas, para poder informarles a las personas que el geógrafo no sólo es aquel que realiza mapas, sino que también puede interpretarlos; el geógrafo se involucra con la sociedad en la que vive, sabe identificar

adecuadamente el espacio que desea estudiar y cualquier problema que se le presente es capaz de analizarlo y obtener resultados que pueden ayudar a atenuar o disminuir los problemas de una región.

Este trabajo está enfocado en un problema epidemiológico de la enfermedad del dengue que desde hace algunos años se ha convertido en un verdadero problema, que si no se empieza a atacar adecuadamente, podría ser una epidemia que afectaría de manera local (comunidad, localidad) y nacional (entidad, país) tanto en el gasto público como en las políticas públicas. Tiene como **objetivo principal** “establecer una relación cualitativa entre la periodicidad de la temperatura semanal y la precipitación semanal con la incidencia de dengue en cuatro municipios del estado de Colima”, con el propósito de establecer una metodología de predicción que pueda ser de utilidad para la toma de decisiones. También se pretende demostrar que con las matemáticas vistas durante la carrera de Geografía (Estadística y Matemáticas) es posible obtener resultados favorables que indiquen que efectivamente el geógrafo puede formar parte de la toma de decisiones de algún lugar, porque sabe interpretar y analizar adecuadamente los datos que se le presenten.

Para desarrollarlo se consideran los datos de precipitación semanal, temperatura mínima semanal (obtenidos de SMN-CNA (2014)) y los casos del dengue del Boletín Epidemiológico (1984) de cuatro municipios del estado de Colima (Manzanillo, Armería, Tecomán e Ixtlahuacan) durante el periodo de 2008 a 2013. El estado de Colima se consideró porque en el 2002 alcanzó a nivel nacional el primer lugar en casos de dengue, por lo que en el 2009-2011 se implementó un programa conjunto entre el estado y la Universidad de Colima (2009) para reducir el número de casos infectados logrando resultados impresionantes.

El primer capítulo se presenta de manera general una reseña histórica de como la Geografía y la Medicina están relacionadas, pasando después a establecer la relación entre Geografía y dengue, continuando con un panorama general del encargado de propagar la enfermedad, el “*Aedes Aegypti*”, así como algunas características importantes de los cuatro municipios del estado de Colima. En el capítulo 2 se presenta una breve descrip-

ción de como se emplean los datos de precipitación, temperatura y dengue semanal. Se muestran los resultados al graficar a la temperatura mínima, precipitación y dengue por semanas desde 2008 hasta 2011, y se interpreta de acuerdo al programa de descacharrización implementado en el estado . En el capítulo 3 se muestra una predicción sobre posibles brotes en semanas futuras usando series de tiempo y se presentan los posibles escenarios y medidas que se tienen que realizar para evitar que el estado tenga pérdidas económicas y/o humanas. Finalmente se presentan los resultados obtenidos, se hace una pequeña discusión de esos resultados y las conclusiones. Se anexan cuatro apéndices, el primero de ellos explicando el tratamiento de los datos, en el segundo sobre las series de tiempo, el tercero acerca de como se hacen las gráficas en Scilab y el cuarto trata la justificación de la periodicidad (transformada rápida de Fourier) y la interpolación cúbica.

Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Geografía de la salud

La Geografía de la Salud o Geografía Médica, tiene sus inicios en la antigüedad con hipócrates, en esas fechas aún no era considerada como Geografía de la Salud, por lo que en el siglo XVIII y XIX comienza a organizarse un poco más hacia su tema de estudio. Es entonces cuando deciden tener un contenido de Geografía regional clásica, con un fuerte predominio medioambiental. Como disciplina geográfica, se inicia en 1929 (Iñiguez, 1998).

La Geografía de la Salud nunca se estableció como una disciplina distinta a la epidemiología. Se concretó al constituirse en Lisboa la Comisión de Geografía Médica de la UGI (Unión de Geografía Internacional) en 1949, en el informe que dicha comisión presentó en 1952. Cuarenta años después, en el Congreso de la Unión Geográfica Internacional, se modificó el nombre de la Comisión por el de Ambiente-Salud y desarrollo. La Geografía Médica o de la Salud no ha conseguido consolidarse y es poco conocida o desconocida, hasta entre los profesionales de la Geografía (Iñiguez, 1998).

Uno de los precursores que impulsaron la Geografía Médica fue May en los años 50 cuando realizó un aporte significativo al extender los límites del complejo patológico, tratando de identificar los elementos geográficos físicos y humanos que determinaban la existencia y distribución de los factores patológicos (Tifiró, 1997). En 1955 Maximilien

Sorre elaboró la obra fundamentos biológicos de la Geografía humana, obra que también impulsó la Geografía Médica (Santana, 2009). A partir de 1970 se logra un desarrollo importante con los trabajos realizados en Europa, América del Norte y Australia, destacando autores como Haggett, Cliff, Howe, Giggs, Picheral, Besancenot, Thouez, Pyle, Meade y Barnett, entre otros (Tifiró, 1997).

Jori (2013) trató de establecer ese vínculo entre la Geografía y la Medicina, retomando un poco de la llamada Topografía Médica en donde el medio ambiente desempeñó un papel muy importante en el desarrollo de las enfermedades, y aportó información a la Geografía, ya que las topografías no sólo se quedaron en la parte hidrológica, ambiental, etc, sino que ofrecían descripciones del estado de las casas y las calles; las condiciones de vida y de trabajo de las clases populares; el alcoholismo, el juego y la prostitución; etc.

En México el estudio de la Geografía Médica se inició con el Dr. Carlos Saenz de la Calzada quién contaba con un amplio conocimiento en esa área, por lo que en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1972 al instalarse el Plan de estudios, todavía vigente, se incluyó el área de geografía médica (Castañeda, 2006). En la actualidad aún se conserva en el plan de estudios del escolarizado.

1.2. La Geografía y el dengue

En 1946 la Organización Mundial de la Salud (OMS) definió a la salud como “el completo estado de bienestar físico, psicológico y social y no meramente la ausencia de la enfermedad”. Tal concepto amplió el estudio hacia otras diferentes ciencias y no solamente a la medicina o epidemiología, sino también a la Geoinformática, Antropología, Historia y Sociología, entre otras, sin considerar al territorio ó al espacio.

La Geografía como forma del conocimiento tiene como objeto de estudio al hombre y su relación en el espacio (Santos, 1986). La Geografía de la Salud poseé una fuerte injerencia en la conformación del concepto salud-calidad de vida, la cual aporta elementos

adicionales de gran importancia que permiten alcanzar, con otras formas del conocimiento, la salud en los seres humanos (Sáez, 2004).

La Geografía de la Salud también examina la distribución geográfica de las enfermedades y aporta ideas para previsión de servicios de salud; considera aquellas enfermedades que afectan al hombre y en las cuales las condiciones del medio representan sus causas, o bien, los factores que originan tal situación (Sáez, 2004). El alcance de la Geografía de la Salud está en dar a conocer cómo interactúan las variables físico-naturales y socioeconómicas con las enfermedades vinculadas a condiciones ambientales que afectan al hombre (Sáez, 2004).

La Geografía de la Salud se encarga de determinar los patrones de distribución de salud como mortalidad, enfermedades, políticas en materia de salud y su relación con factores físico geográficos, ambientales, socioeconómicos, culturales, demográficos y políticos con el propósito de hacer predicciones de procesos hacia tres campos que son la ordenación del territorio, los riesgos epidemiológicos y la gestión de la salud (Santana, 2009).

Como se ha mencionado previamente la Geografía de la Salud y la Epidemiología en un periodo de tiempo se consideraron como la misma disciplina, por tal motivo es importante considerar lo que los estudios epidemiológicos arrojan; uno de ellos es que la calidad de salud difiere con el estilo de vida, características socioeconómicas (el estatus socioeconómico que influye en las cuestiones de salud) y variaciones en la homogeneidad y estabilidad de la comunidad (Santana, 2009).

1.3. Aedes Aegypti

El desarrollo del *Aedes aegypti*, mosquito que ocasiona la enfermedad, está relacionado con el entorno climático del lugar, que aunado con la cultura social de la población es factible su reproducción, siempre y cuando dicha población no tenga conocimientos de las medidas necesarias para evitar su proliferación. De esa manera se puede apreciar cómo

se enlazan las diversas partes que comprenden la presencia del dengue en la población humana.

El dengue es una enfermedad transmitida por vectores (ETV) de tipo viral que se transfiere por la picadura de la hembra del mosquito *Aedes Aegypti*. Cuando dicho mosquito ingiere la sangre de una persona enferma es capaz de traspasar el virus durante toda su vida, incluso a sus descendientes.

El mosquito *Aedes Aegypti* tiene una mayor actividad de picadura dos horas después de la puesta de sol y varias horas antes del amanecer. El horario de picadura del mosquito es entre las 6:00-8:00 hrs. (mayor intensidad) y entre las 17:00-19:00 hrs. Es posible que modifique su actividad de picar y pueden picar tanto en las noches como en el día (Álvarez, 2010). Se reproduce en las viviendas en donde las condiciones para su proliferación son favorables, en áreas con deficiencias de servicios públicos como el agua potable, lo que favorece la formación de criaderos y reproducción del mosquito por falta de cuidado en el almacenamiento de agua. Se presentan en una sociedad donde prevalece la falta de conciencia, conocimiento y actitud de las familias en el control y eliminación de criaderos y carencia de prácticas de autoprotección (uso de mosquiteros en puertas y ventanas e insecticidas).

El *Aedes aegypti* vive entre las latitudes 45° N y 40° S, su tiempo de vida es aproximadamente de ocho días, pero puede aumentar en ambientes cálidos y húmedos. Los mosquitos tienen un tamaño entre 4-7mm y se alimentan principalmente de néctar de las plantas; las hembras producen entre 100 a 200 huevos (se logra siempre y cuando ingiera sangre para producir nutrientes necesarios para la maduración de los huevos), ciclo que puede repetirse hasta cuatro veces más en su vida (Bowman, 2012). El clima influye directamente en la biología de los vectores ¹, por ese motivo es un factor importante en la epidemia de enfermedades transmitidas por vectores.

¹Es un agente generalmente orgánico que sirve como medio de transmisión de un organismo a otro. Los principales vectores biológicos son los mosquitos, moscas, chinches, piojos, pulgas y acaros (Estébanez, 2005)

En México se ha encontrado *Aedes Aegypti* en estados como Colima, Jalisco, Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Veracruz y Chiapas, en municipios como Tapachula.

1.3.1. Ciclo biológico

El *Aedes aegypti* tiene dos etapas en su ciclo de vida (figura 1.1):

- Fase Acuática, con tres formas evolutivas diferentes (huevo, larva y pupa)
- Fase Aérea (adulto).

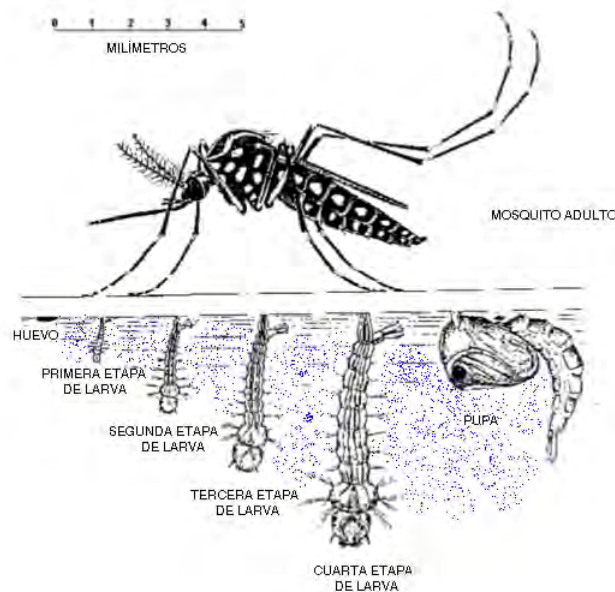


Figura 1.1: Ciclo de vida del *Aedes aegypti*. Modificada de Álvarez (2010)

A la fase en donde el mosquito pasa de huevo a larva se conoce como acuática; una vez que sale a la superficie como mosquito se le conoce como fase aérea alimentándose por primera vez entre las 20 y 72 horas de haber salido del agua (Thirion, 2013).

1.3.2. Fase acuática

Huevo

Cada hembra deposita un reducido número de huevos en distintos recipientes. Una vez que son depositados se adhieren a las paredes internas de los recipientes a la altura de la interfase aire-agua; son inicialmente de color blanco pero se vuelven negros con el desarrollo del embrión.

Para que se desarrollen por completo y pasen a la fase larval necesitan de dos a tres días con mucha humedad, pero si durante ese período los huevos se quedan secos, se debilitan, ocasionando que los embriones mueran; pero si logran tener humedad, los huevos son capaces de resistir a la desecación y a las temperaturas extremas, con una resistencia de hasta un año. La capacidad de resistencia es uno de los mayores obstáculos para su erradicación, por que pueden ser trasladados a grandes distancias en recipientes que no contienen líquidos (Thirion, 2013).

Larva

El período larvario comprende cuatro grados evolutivos. El tiempo aproximado para pasar de un grado a otro es de 48 horas. En esta etapa de su vida se alimentan generalmente de fitoplancton que encuentran en los recipientes. Su desarrollo se logra si tienen las condiciones adecuadas de nutrición y temperatura entre 25° a 29° en un tiempo de cinco a siete días.

Un aspecto importantes es que las larvas no resisten las temperaturas inferiores a los 10°C y tampoco las mayores a los 46°C. Las temperaturas menores a los 13°C impiden su pase a la fase pupal. Las larvas son muy sensibles a los cambios de intensidad de la luz por lo que generalmente se trasladan al fondo del recipiente donde se hospedan con un movimiento serpenteante característico (Álvarez, 2010).

Pupa

La pupa no se alimenta, sólo respira. Completa su desarrollo con temperaturas de 25°C a 29°C en un periodo de tiempo de uno a tres días. Las temperaturas extremas pueden alargar la etapa de desarrollo. En esta fase es donde se produce la metamorfosis, para luego convertirse en un mosquito adulto. El ciclo completo de huevo a mosquito adulto se termina en condiciones óptimas de alimentación y temperatura en un periodo aproximado de diez a quince días, pasado ese tiempo emerge del agua ya como mosquito adulto.

1.3.3. Fase aérea

El período de vida del mosquito adulto se ve afectada por las características climáticas debido a que éstas condicionan sus actividades de alimentación y reproducción. En condiciones naturales vive entre quince y treinta días, a 10°C con 100 % de humedad y alimentos vive aproximadamente treinta días, pero a 23°C, 70 % de humedad y sin alimentos vive sólo cuatro días; la hembra sobrevive más tiempo que el macho y es más resistente a las variaciones de temperatura y humedad ambiental, con un ciclo de poner huevos cada tres días (Álvarez, 2010).

1.4. Mecanismos de control

En la década de los 50's la Organización Panamericana de la Salud coordinó una campaña de erradicación del mosquito en Latinoamérica; la campaña no funcionó debido a que algunos países decidieron no entrar a la campaña (tal es el caso de Estados Unidos, Venezuela, Cuba y otras islas del Caribe (Mancheno, 2001)) y los que habían entrado a ésta, se volvieron a infestar por causa de aquellos que no lo hicieron.

El fracaso de dicha campaña ocurrió por diferentes razones, entre las que destaca la mala coordinación en algunos países, la resistencia del mosquito a los insecticidas y larvicidas, los costos elevados en la aplicación del control, etc. En la actualidad (debido a los inconvenientes que se presentaron anteriormente), cada país lucha independientemente por su eliminación a nivel local (Mancheno, 2001).

Se emplean tres tipos de controles para la erradicación del mosquito:

- Control mecánico o preventivo. Se basa en la gestión del medio, es decir, programas comunitarios para que los habitantes de zonas en riesgo hagan una eliminación adecuada de los recipientes tales como baldes, tarros, latas, etc.
- Control químico. Se basa en la aplicación de productos químicos como insecticidas y larvicidas. Entre los más importantes están Malathion (insecticida, excelente para controlar larvas y adultos) y Temephos 1 % (larvicida abate).
- Control biológico: Se basa en la utilización de otros seres vivos que sirven como depredadores del mosquito, entre los cuales están mosquitos que en estado larval depredan otras larvas, peces larvívoros, bacterias que producen la muerte a la larva y organismos microscópicos como protozoarios.

1.5. Colima

La República Mexicana se encuentra ubicada dentro de la latitud óptima para la reproducción del mosquito, por lo tanto Colima cumple con las características hospederas para la buena reproducción, crecimiento y transmisión de la enfermedad. Colima es un estado que por sus características físicas tiene una temperatura que oscila entre 18°C y 28°C, que de acuerdo a la sección 1.3 es la temperatura adecuada para la reproducción del mosquito transmisor del dengue. La figura 1.2 muestra la distribución de temperaturas en el estado.

Colima ha sufrido por muchos años la incidencia del mosquito transmisor del dengue, llegando a su máximo histórico en el 2002 con 9,630 casos con costos por atención hospitalaria de \$44, 779, 500 y grandes pérdidas económicas, ocupando el primer lugar de casos de dengue en todo el país, ubicándose entre los primeros en el mundo entero, motivo por el cual el Estado decidió implementar acciones como eje de una política pública, invirtiendo en investigación y prevención a través de la participación comunitaria, de control larvario y control químico, apoyados con vigilancia epidemiológica y entomológica, y de la

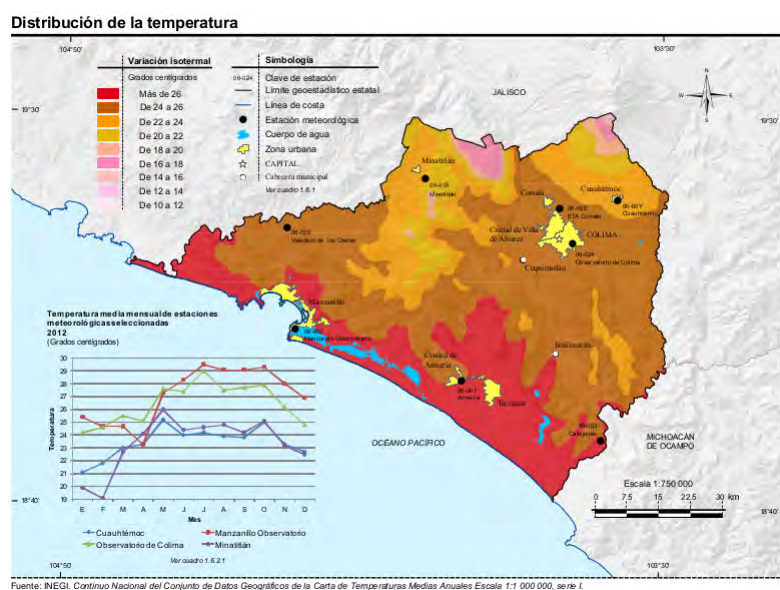


Figura 1.2: Mapa de isotermas del estado, tomada de el anuario 2013 INEGI.

campana de descharrización cuyo lema era “Todos juntos, al mismo tiempo, una misma tarea: eliminar cacharros” (Anguiano, 2011).

Los municipios más vulnerables que en diversas semanas se encontraron como focos rojos (Boletín de epidemiología) son Armería, Ixtlahuacán, Tecomán y Manzanillo (ver figura 1.3).

1.5.1. Medidas preventivas

El Centro Nacional de Prevención y Control de Enfermedades (CENAPRECE) promovió una estrategia de manejo del dengue que incluye acciones anticipadas para reducir los riesgos de transmisión y de respuesta rápida ante la aparición de casos de infectados con el propósito de contener brotes y evitar su diseminación, pidiendo que se apoyaran de estrategias de participación social y comunitaria con la participación de los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) fortaleciendo las acciones de promoción a la salud, control de vectores y estrategias de comunicación de riesgo.

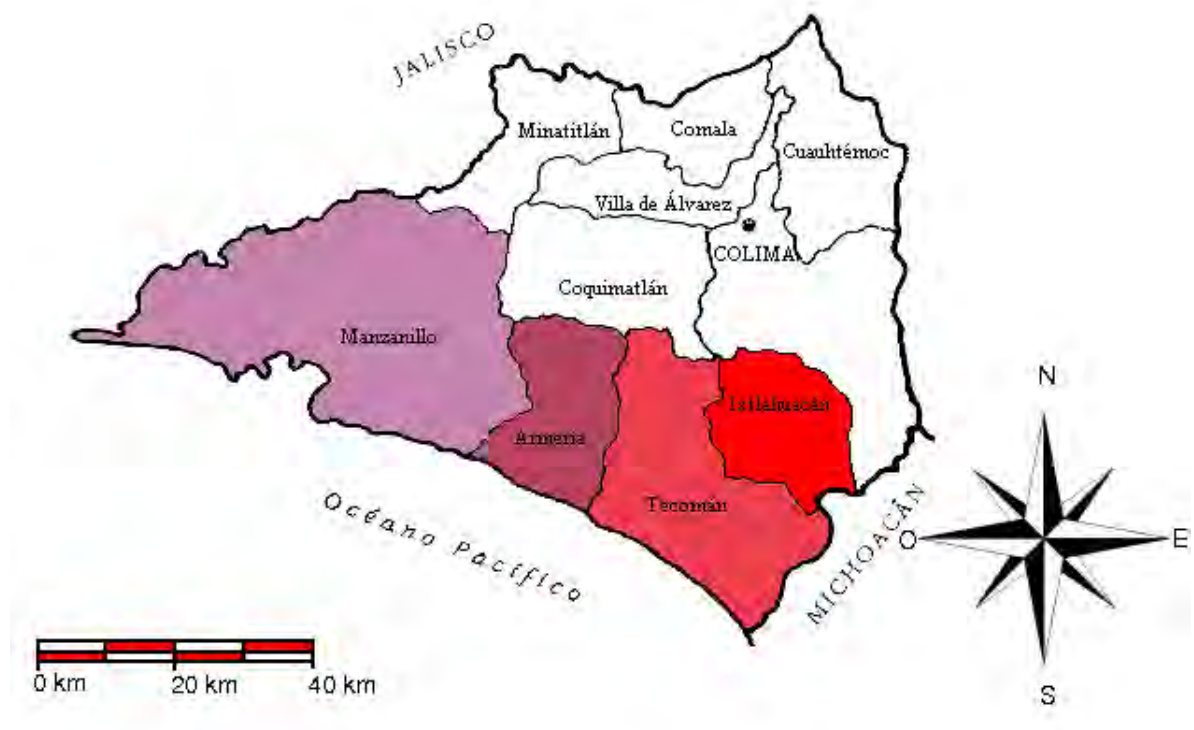


Figura 1.3: Municipios más vulnerables en el período 2008-2013 (modificada de (Mapa, 2013)).

Se fortaleció la vigilancia epidemiológica a través de la implantación y operación del Sistema Integral de Información de Dengue con ayuda del SINAVE (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica) que consiste en que en cuanto se tenga un caso de dengue reportado en alguna institución de salud, se introduzca la información en el sistema y de manera automática la Dirección General de Epidemiología pueda tener la información.

Las medidas de prevención en el estado (figura 1.4) para combatir el dengue comenzaron en 2010 después de que en 2009 se reportara como el estado de mayor incidencia a nivel nacional; el programa que se realizó fue en conjunto con la Universidad de Colima, a quien se le apoyó por parte de un proyecto Conacyt. Por otro lado, al gobierno de Colima (Diario (2000) octubre 2009) se le destinó por parte de Sedesol 3 millones de pesos para combatir la enfermedad de los cuales el estado destinó 14 millones de pesos para insecticidas y programas.



Figura 1.4: Fumigar (Web, 2000), informar (folleto, 2000) y combatir (video, 2013) el dengue en el estado de Colima.

El objetivo que se estableció en el programa fue el de contribuir al control del dengue, reducir los riesgos de infección, mantener bajo control epidemiológico y evitar defunciones en el estado. Las estrategias que implementó fueron (Anguiano, 2011):

1. Generar la participación social, coordinada con la Universidad de Colima y el gobierno del estado, apoyada por instituciones como el Sector Salud, COPARMEX, CANACINTRA, CANACO, CMIC, CANARIC, medios de comunicación, sociedad civil, Bomberos, Cruz Roja, etc. Con esta estrategia se lograron tres días de des-cacharrización en marzo, mayo y octubre de 2010 que, con ayuda de alumnos, trabajadores universitarios y de salud se pudieron recolectar más de mil toneladas de cacharro. Se lograron destruir 51700 llantas con apoyo de las cementeras Cemex y Apasco y las llanteras establecidas en los municipios participantes. Se certificaron a hoteles como entornos saludables y libres de criaderos.
2. Poner medidas de prevención y control. Se usaron ovitrampas ²; se georreferenciaron los lugares donde había ocurrencias de casos de dengue para establecer su entorno histórico; se rociaron con fenotrina ³ los domicilios y los alrededores, especialmente

²Se elabora con un bote de plástico de color negro de un litro de capacidad que es llenado a partes de volumen y recubierto sobre el borde de agua con una tira de papel filtro. Se usa para coleccionar huevos de vectores de dengue y es la medida para monitorear poblaciones y riesgos entomológicos de transmisión (Salud, 2009)

³Es una sustancia química de color amarillento e inoloro que se usa en los insecticidas para matar

en las casas donde había existido algún familiar infectado (figura 1.5); se establecieron controles químicos y físicos en casas abandonadas.

3. Fomentar la comunicación social. Informar a la comunidad sobre el riesgo de padecer el dengue y los hábitos de limpieza que deben tener para evitar la proliferación; se creó una página electrónica con información y un número de teléfono para mantener a la población informada; se invirtió en folletos, anuncios espectaculares, radio y televisión.
4. Hacer investigación operativa. Intensificar el rociado preventivo en colonias sin casos de dengue en los municipios de Manzanillo y Tecomán por ser los que más infectados presentan.
5. Dar seguimiento y evaluación. Envío de la información en los municipios del estado; revisión del rociado intradomiciliario por medio de visitas a las casas fumigadas; análisis comparativo de lo que se tenía antes de las acciones y después de los resultados logrados.

Las jornadas se programaron desde diciembre de 2009, se rociaron balnearios y escuelas en abril de 2010, se realizó una jornada para limpiar y rociar en domicilios, así como sacar cacharros de las casas los sábados y domingos, para después ser recogidos por los camiones recolectores del 25 de julio al 19 de agosto de 2011.

En el estado se instaló una ovitrampa por cada 30 viviendas, contando con 8000 ovitrampas que cubrían 240000 casas. En julio de 2011, se reportó a Manzanillo y Tecomán como los municipios con más alta incidencia (la dirección de epidemiología los reportó como focos rojos). El apoyo económico terminó, cuando el gobierno federal recortó el presupuesto en abril de 2011, reduciendo los recursos para el combate del dengue. A pesar de ese recorte el gobernador del estado informó que seguiría tomando medidas para la prevención y combate.

En 2013, aunque se sigue presentando la fumigación y la descacharrización, la cantidad de infectados vuelve a crecer, no tanto como en el 2008 pero si más que en el 2010-2011, siendo Manzanillo considerado como foco rojo nuevamente por la Dirección General de Epidemiología.

Un aspecto importante es que comenzaron a darse cuenta que los brotes se presentaban cuando aumentaba la temperatura y cuando había precipitación (agosto 2013 Diario (2000)); sin embargo no se ha analizado el problema aún desde este enfoque (no formalmente, sólo de manera empírica) por lo que fue una de las motivaciones para la realización de este trabajo.



Figura 1.5: Nebulización (foto Alfredo Quiles, El Universal 11 octubre 2010).

1.5.2. Armería

El nombre de Armería, significa lugar desde donde se observa o vigila. El municipio de Armería inicia como una ranchería que servía de paso para trasladarse de Manzanillo a Colima. Después del maremoto que destruyó el balneario de Cuyutlán (1932) la población de dicho lugar se muda a la ranchería de Armería y deciden quedarse definitivamente en el lugar aumentando la población de 20 a 300 habitantes y para 1935 aumentó a 1500 habitantes cambiando de rango de ranchería a pueblo, fecha en la que comienzan a venderse lotes de 15x30 metros de tres categorías (la más alta la zona centro, la segunda y la terce-

ra). Debido a la falta de preparación educativa, la principal actividad fue la agricultura, actividad que de acuerdo al censo económico de 2010 aún se sigue practicando pero cada vez es menos la población que la ejerce. Otro dato importante es que en 1967 se conforma como municipio (Chávez, 2010).

El clima es cálido sub-húmedo (figura 1.6), con lluvias en verano en el 56.2% del territorio municipal y semi-seco muy cálido y cálido en el 43.8% del resto de la superficie. La temperatura media anual de 26.3 °C; en los meses más fríos, la temperatura media es de 25 °C. Tiene una precipitación pluvial media anual de 700 milímetros (figura 1.7; los meses de julio, agosto y septiembre son los de mayor precipitación (Chávez, 2010).

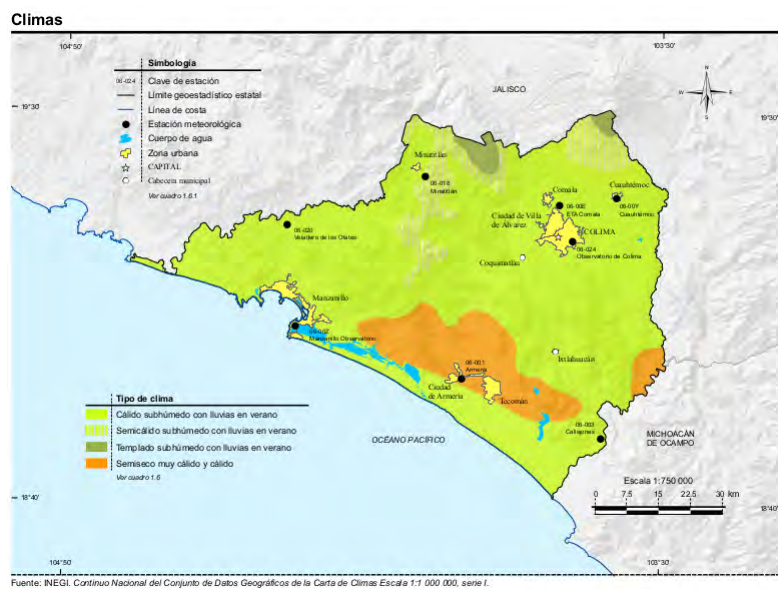


Figura 1.6: Mapa del clima en el estado de Colima, tomado del anuario 2013 INEGI.

Armería tiene una extensión territorial de 341.6 km², que representa el 6.3% de la superficie total del estado. En su porción sur colinda con el Océano Pacífico a lo largo de 15.3 km de costa. El total de población con la que cuenta el municipio es de 28,695 habitantes, de los cuales 23,945 personas son derechohabientes al servicio de salud, el resto no lo son. El municipio cuenta con 10,114 viviendas (INEGI, 2010).

Por otra parte de acuerdo con el Boletín Armería (2013) mientras en Colima se llevó acabo el proceso de descacharrización en 2011, en Armería no ocurrió sino hasta 2013, iniciando en la colonia “El Campanario”, que después de un estudio realizado en todo el municipio por la Secretaría de Salud se consideró que era una de las colonias más vulnerables al dengue.

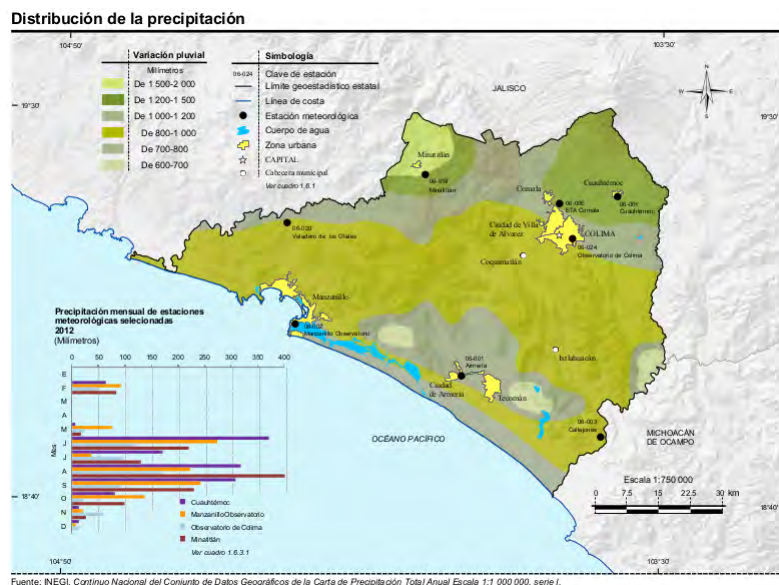


Figura 1.7: Mapa de la precipitación en el estado de Colima, tomado del anuario 2013 INEGI.

1.5.3. Ixtlahuacán

Ixtlahuacán es un vocablo náhuatl que significa “lugar desierto, sin árboles ni habitaciones, tierra plana, valle” (Mariscal, 2005). Ixtlahuacán fue uno de los ocho municipios que formaron inicialmente el Estado de Colima. En 1928 pasa a formar parte del municipio de Tecomán pero en 1932 regresa nuevamente a ser municipio. La superficie con que cuenta es de 468.7 km² que representa el 8.3% del Estado de Colima, su actividad económica principal es la agricultura con la producción de melón y papaya (Mariscal, 2005).

El clima es cálido sub-húmedo (figura 1.6) con lluvias en verano de menor humedad

en el 96.25 % de la superficie municipal, en el resto de la superficie (3.75 %) del municipio es semi-seco muy cálido y cálido. La temperatura promedio es de 26 °C (figura 1.2) y la precipitación pluvial promedio anual es de 901.8 milímetros (figura 1.7) (Mariscal, 2005).

De acuerdo al censo de población cuenta con 5,300 habitantes (es el municipio que cuenta con menor número de población comparado con Manzanillo, Armería o Tecomán), de los cuales 4,800 son derechohabientes al servicio de salud, lo que equivale al 91 % de la población. Se cuenta con 2074 viviendas (INEGI, 2010).

1.5.4. Tecomán

La palabra Tecomán es de origen náhuatl, Tecol o Tecolli que significa abuelo o tío hermano de abuelo; man que quiere decir lugar; es decir “el lugar de nuestros abuelos” . Se le ha considerado históricamente al Valle de Tecomán como la región más importante de Colima desde su fundación en 1523 con el nombre de “Santiago de Tecomán”. El 26 de enero 1952 fue elevado a la categoría de ciudad. Tecomán se ha caracterizado por su producción agrícola de limón, coco y mango; en el turismo por sus playas con las que cuenta; en la industria con la llegada de cementos Apasco y la Coca-Cola (Salazar, 2004).

Predominan los climas semiseco muy cálido, cálido al norte y centro del municipio; al sur, cálido subhúmedo (figura 1.6). La temperatura media anual es de 26°C (figura 1.2), con una precipitación media anual de 484.9 mm (figura 1.7) cuyo régimen de lluvias principalmente ocurre en verano (Salazar, 2004).

Su extensión territorial de 834.77 km² (Salazar, 2004), que equivalen al 14.8 % de la superficie total del estado. Tiene una población total de 112,726 habitantes, de los cuales 87,894 son derechohabientes al servicios de salud (es decir el 77.8 % de la población total del municipio). El total de viviendas en el municipio es de 34,154.

Tecomán entró al programa de descacharrización puesto en marcha en el 2010, junto con el municipio de Colima y Manzanillo, así como al programa de combate ante el dengue,

que abarcó los municipios de Colima, Manzanillo, Tecomán, Armería e Ixtlahuacán.

1.5.5. Manzanillo

Manzanillo es un nombre que le impusieron los españoles porque cuando llegaron a ese lugar lo primero que observaron fueron muchos árboles de manzanilla. El 17 de junio de 1873 Manzanillo se convierte en municipio; cuenta con 161,420 habitantes lo que lo constituye como el municipio más poblado de todo el estado con el 24.8 % de la población. Las actividades económicas más destacadas son la actividad portuaria, la microindustria, la industria de la construcción y la actividad turística (Monografía-Manzanillo, 2009).

El clima es sub-húmedo, cálido (figura 1.6), con temperatura media máxima entre 26 y 28°C y mínima de 22 a 23°C (figura 1.2). Durante el verano se llegan a registrar temperaturas máximas de 30°C a 34°C. La precipitación medio anual (figura 1.7) es entre 800 y 1,200 mm (Monografía-Manzanillo, 2009).

La superficie del municipio es de 1337.83 km², representa el 23.8 % del territorio estatal, es el municipio de mayor extensión territorial porque ocupa casi la cuarta parte de todo el Estado de Colima. La población que derechohabiente al servicio de salud es de 129,188 que equivalen al 88 % del total. Se cuenta con 61,130 viviendas en total en todo el municipio (INEGI, 2010).

De acuerdo al Diario (2013) Manzanillo es el lugar con mayor número de contagios. En 2013 después del programa de prevención, la población del lugar estaba descontenta debido a que había gran cantidad de moscos en sus hogares y estaban preocupados porque sabían de casos de amigos y familiares que estaban enfermos.

1.6. Modelos previos

En la actualidad existen artículos como los de Derouich (2003) y Bowman (2012), en donde se modela en forma matemática la distribución a través del tiempo de la enferme-

dad. Los modelos son temporales y plantean ecuaciones de la fase acuática y aérea (cinco o seis ecuaciones), así como de la población susceptible e infectada por el mosquito (tres o cuatro ecuaciones). El problema de dichos modelos es que no toman en cuenta la parte espacial. Jiménez-Sastré (2012) trata la distribución espacial en donde hace un estudio detallado sobre la forma en que se distribuye el dengue pero no se involucra ningún modelo matemático que ayude a obtener otros resultados en base a los obtenidos previamente.

Ferreira (2010) propone el caso de un modelo “real” de una epidemia, el problema con este modelo es que solamente se quedan como los anteriores en la parte matemática. Presenta gráficas pero nunca relaciona el problema con la población, con el entorno económico del lugar o algún otro parámetro social. Se puede continuar buscando modelos y observar que son pobres en la parte social o en la parte matemática y por lo tanto a las autoridades competentes no les interesan esos modelos. Sería bueno contar con un modelo que pudiera predecir y al mismo tiempo presentar los distintos escenarios en donde se desarrollará la enfermedad, lo que ocasionaría menos gastos al Estado.

Capítulo 2

El estudio

2.1. La metodología

En el modelo de Helmersson (2012) se presenta la relación de la incidencia de casos de dengue con la temperatura para predecir futuros brotes de la enfermedad. De este modelo surge la idea de crear la metodología que aquí se presenta. En este trabajo se utilizan los datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación de CNA (Comisión Nacional del Agua) la base de datos abarca de 1944 hasta 2011. Por otro lado, en el boletín de la Dirección General de Epidemiología (Boletín Epidemiológico, 1984) se consultaron los datos de dengue clásico y dengue hemorrágico durante el periodo de 2008 a 2013 porque en tal periodo el boletín desglosa los casos de dengue por semana en algunos municipios del estado. Al analizar los datos en una hoja de cálculo se encontró que había focos rojos en algunos municipios, entre los que sobresalían Armería, Tecomán, Manzanillo e Ixtlahuacán. Como el boletín epidemiológico maneja datos semanales se promediaron los datos de CNA por semanas para poder comparar los datos. Este procedimiento se muestra detalladamente en el apéndice A.

Una vez que se tuvieron los datos por semana se partió de la semana uno del 30 de diciembre 2007 al 5 de enero del 2008 y se continuó hasta la semana 209, última de 2011, que eran los datos que se tenían de la CNA; en 2008 hubieron 53 semanas, pero en los siguientes años se consideraron 52 semanas (porque se inició con la semana 21 del 2008

Año	<i>Semana</i>
2008	1 a 53
2009	54 a 105
2010	106 a 157
2011	158 a 209
2012	210 a 261
2013	262 a 313
2014	314 a 365
2015	366 a 417
2016	418 a 469
2017	470 a 521

Tabla 2.1: Distribución de las semanas por año.

como se mencionó en el párrafo anterior), tomando como referencia las semanas que la Dirección General de Epidemiología había considerado. Entonces, los periodos quedaron como se muestran en la tabla 2.1, se incluye también los años de las predicciones 2014 a 2017.

2.2. Tratamiento de datos

Inicialmente se realizó una hoja de cálculo donde se colocaron las semanas de cada año por fechas, que incluía el número de casos presentados en cierto municipio. Debido a que el boletín presentaba datos discontinuos, es decir, no contenía todos los datos para todos los municipios, se decidió hacer una nueva hoja de datos en donde se colocaron las semanas como primera columna, una segunda columna con el nombre del municipio de Armería, otra con el municipio de Ixtlahuacán, la siguiente con Manzanillo y finalmente con Tecomán (ver apéndice A).

Semana	<i>Armería</i>	<i>Ixtlahuacán</i>	<i>Manzanillo</i>	<i>Tecomán</i>
	FD — FDH	FD — FDH	FD — FDH	FD — FDH
1				
2				
⋮				

Tabla 2.2: Llenado de los datos obtenidos del boletín de epidemiología.

Se subdividieron las columnas de los cuatro municipios para colocar los casos que correspondían al número de personas infectadas por dengue clásico (FD) y hemorrágico (FDH) ver tabla 2.2. Como se mencionó previamente, no todos los municipios tienen datos por lo que en lugar de poner cero en la casilla, se colocó el NaN¹ como dato no disponible; de esa forma se evita obtener resultados incongruentes.

Se graficaron los datos obtenidos de la CNA y se observó que su comportamiento era muy parecido, es decir, presentaba periodicidad (la demostración se puede ver con mayor detalle en el apéndice D). Para comprobar que realmente ocurría eso se realizó lo siguiente:

- Se tomaron los promedios por semana de los datos de la precipitación, evaporación, temperatura máxima y mínima de la CNA.
- Los datos del dengue se colocaron en una nueva columna junto a los datos anteriores.
- Todos los datos se copiaron y pegaron en un editor de textos para poder guardarlos con la extensión *dat* (ver figura 2.1).
- Una vez guardados, se graficaron con ayuda de scilab (ver apéndice C).
- Se usó la temperatura mínima debido a que es la que presentaba una periodicidad más notoria (se observa a simple vista que es periódico² y se determinó que su

¹Not a Number, no es un número

²Una función $f(t)$ es periódica si $f(t + T) = f(t)$

comportamiento era periódico; por lo tanto, se pudieron repetir los datos de la temperatura mínima para las semanas posteriores a la 209, usando series de tiempo (ver apéndice B) para obtener la media móvil y con una interpolación cúbica (ver apéndice D) se extendió hasta la semana 365.

- Finalmente con la instrucción “plot2d” se graficaron los datos en scilab.

Semana	<i>Precipitación</i>	<i>Temperatura máxima</i>	<i>Temperatura mínima</i>	<i>FD</i>	<i>FDH</i>
1					
2					
⋮					

Figura 2.1: Datos que se guardaron en un archivo de texto con la extensión .dat.

Se graficaron los datos de la precipitación semanal (en mm), temperatura mínima (°C) semanal y número de personas infectadas por dengue clásico en el municipio de Armería (ver figura 2.2), Ixtlahuacán (figura 2.3, Manzanillo (figura 2.4 y 2.5) y Tecomán (figura 2.6 y 2.7).

Para el caso del dengue hemorrágico también se graficaron las semanas contra la temperatura mínima semanal, precipitación semanal y dengue hemorrágico semanal; se suprimió la gráfica de Ixtlahuacán porque sólo presentaba casos en 2008, por lo tanto, no era representativo para el estudio. Las gráficas se presentan en las figuras 2.8, 2.9 y 2.10.

2.3. La interpretación

De acuerdo al boletín de epidemiología el dengue en 2009 y 2010 (año en que empieza la campaña de descacharrización) Ixtlahuacán se consideró como foco rojo; eso significa que los casos presentados de dengue clásico o hemorrágico en el estado a lo largo de varias semanas del año se registraron dentro del municipio. Manzanillo, Armería y Tecomán

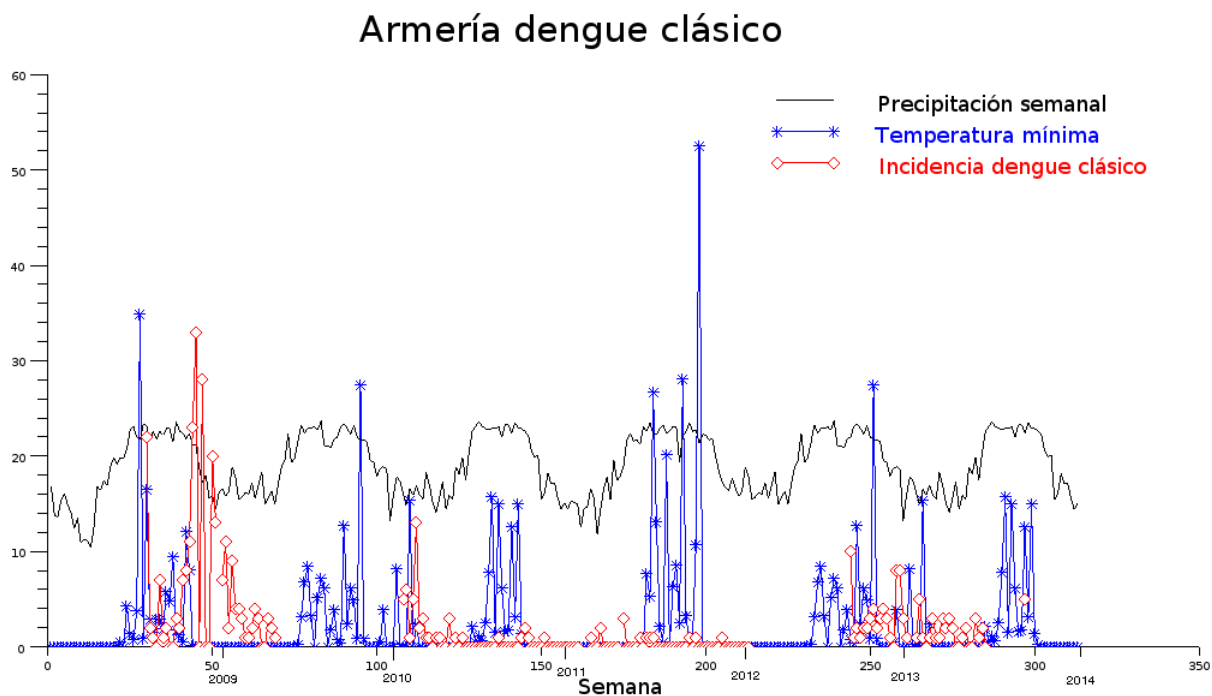


Figura 2.2: Temperatura, precipitación y número de personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Armería.

cambiaron frecuentemente en ser catalogados como focos rojos en la infección del dengue en el estado.

Observando la figura 2.2 se puede ver que 2008 (semana 1 a 53) fue un año en que los casos de dengue aumentaron, contando con 35 casos, aproximadamente, como máximo (0.01% de la población total del municipio) que no significa nada por la población que tiene el municipio pero el registro repentino de 35 casos en el municipio, genera que sea catalogado como foco rojo con el propósito de vigilarlo continuamente y así evitar una futura epidemia en el estado.

En 2009 (semana 54 a 105) se presentan menos casos pero lo interesante sucede cuando se pone en marcha la campaña de descacharrización en el estado, que aunque como ya se mencionó en el capítulo anterior Armería comenzó con la campaña hasta 2013. Los casos

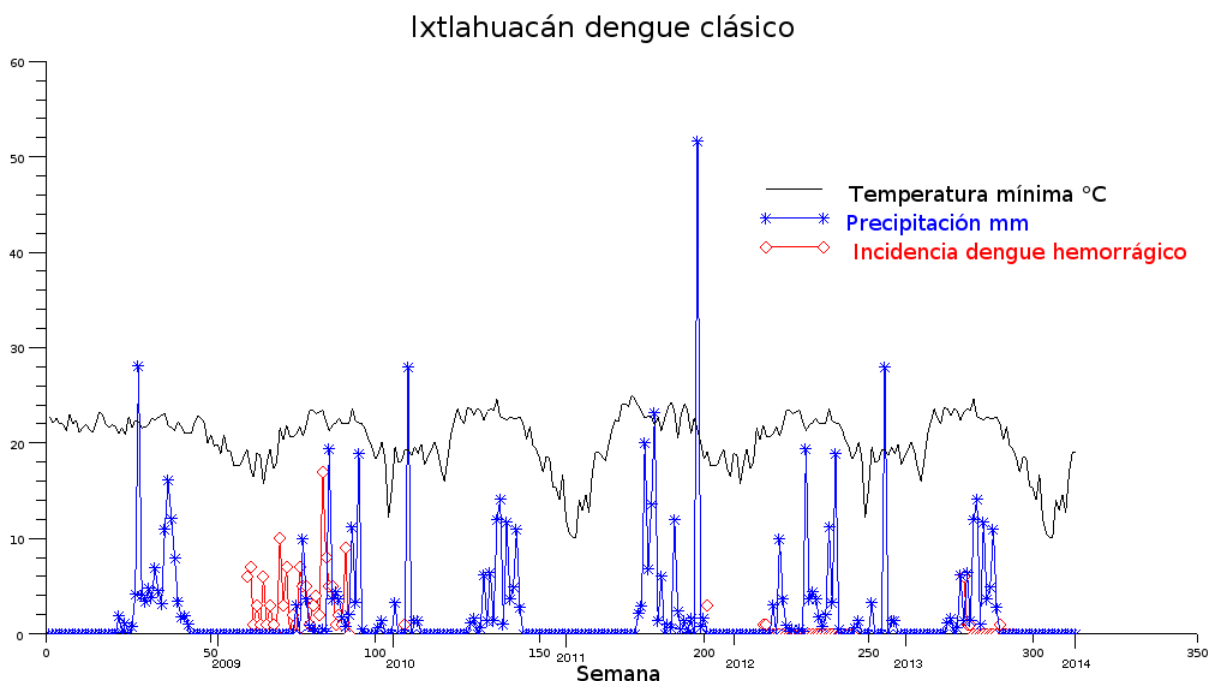


Figura 2.3: Temperatura, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Ixtlahuacán.

de dengue disminuyeron en 2010 (semana 106 a 157) y 2011 (semana 158 a 209), tiempo en que la campaña estuvo vigente en otros municipios. Mientras tanto la información sobre como prevenir el dengue se transmitió, también se presentó la fumigación en casas del municipio de Armería.

Para 2012, cuando el programa estaba en su etapa final y en 2013 cuando parece que ya no se le destinó tantos recursos al control de la enfermedad, nuevamente los brotes de dengue empezaron a surgir, como se puede observar en la semana 262 a 265 de la figura 2.2.

En la figura 2.3, que corresponde al municipio de Ixtlahuacán, se observa un comportamiento similar al de Armería con muchos casos en 2008, pero no en 2009, 2010 y 2011; es hasta 2012 cuando el brote vuelve a surgir pero con pocos casos. Es importante recordar que Ixtlahuacán se consideró como foco rojo, por lo tanto, el sector salud estuvo muy atento de los casos de los brotes de dengue que se presentaron en el municipio. Lo

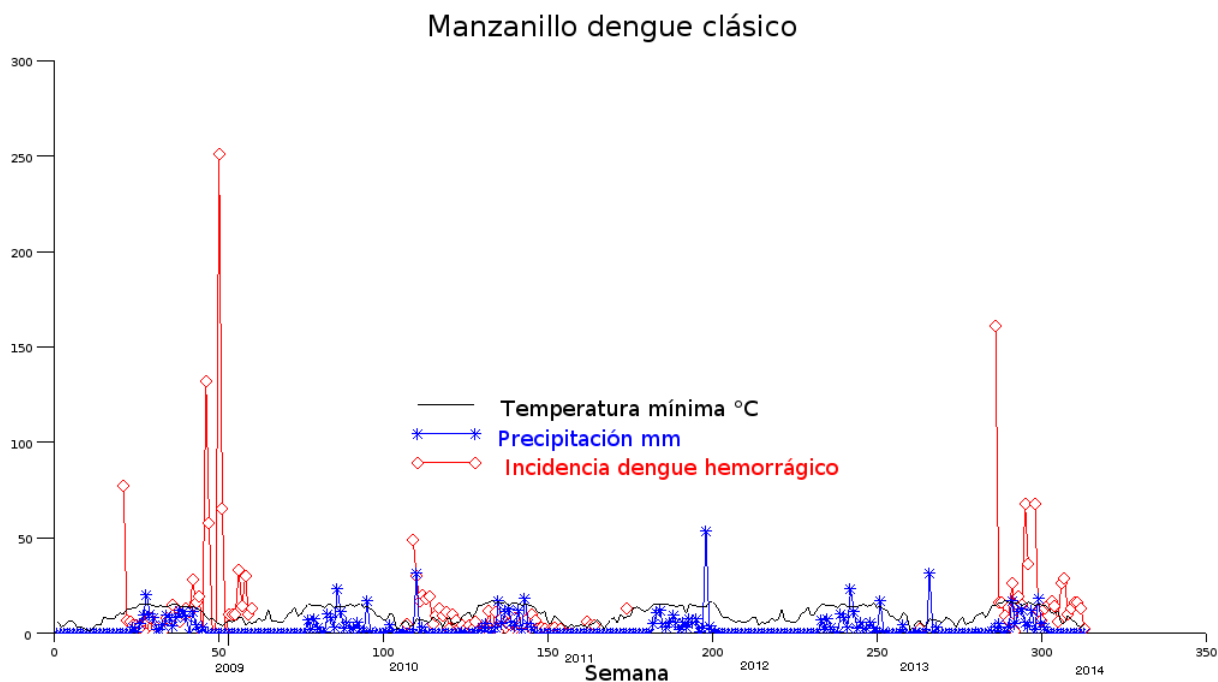


Figura 2.4: Temperatura, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Manzanillo.

interesante sucede en 2013. De alguna forma los brotes de dengue vuelven a surgir después de que el programa de descacharrización y la información sobre el combate del dengue dejó de ser muy fluida. Los brotes ocurren en época de lluvia y aquí sí existe un patrón cuando la temperatura mínima aumenta.

La figura 2.4 muestra los brotes en Manzanillo en 2008; en 2009 no se presentan, pero en 2010, que comienza la campaña de descacharrización, los brotes disminuyen, siguiendo el mismo fenómeno hasta mediados del 2011; en 2012 no se presentan casos, pero al terminarse la campaña en 2013 nuevamente los brotes vuelven a surgir, registrando más de 151 casos confirmados en el municipio (0.001 % de la población total del municipio), igual que en Armería e Ixtlahuacán; los brotes ocurren cuando se presentan precipitaciones y la temperatura mínima aumenta. En la figura 2.5 se muestra un acercamiento a los datos de temperatura con el fin de observar mejor el comportamiento del brote.

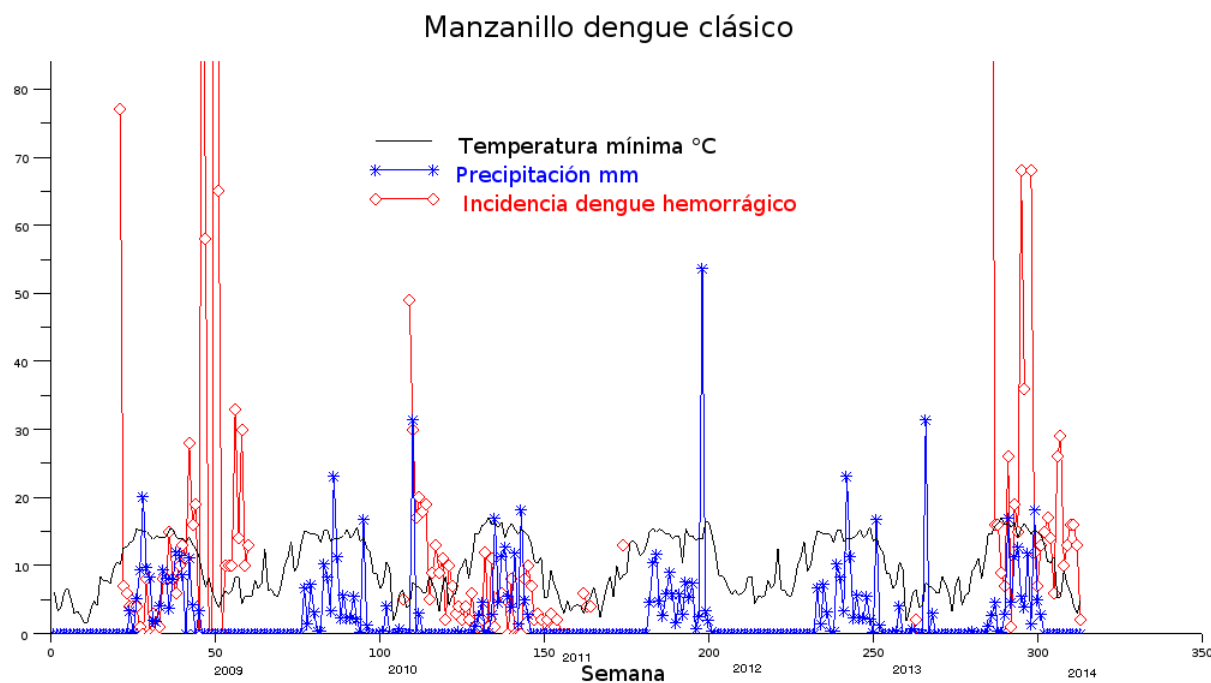


Figura 2.5: Temperatura, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Manzanillo.

En la figura 2.6, que corresponde al municipio de Tecomán, se observan brotes en 2008; el comportamiento en este municipio es un poco diferente a los casos anteriores ya que 2008 no es el año que más infectados presenta sino es 2009, cuando se presentan 220 casos aproximadamente (0.002 % de la población total del municipio). En el transcurso del año se controla bajando a menos de 30 casos que equivalen al 0.003 % de la población total del municipio, pero a finales de ese mismo año se presenta un pico de mas de 130 casos confirmados (0.001 % de la población total del municipio) . En 2010 no se presentan casos, pero para 2011 y 2012 nuevamente hay infección en el municipio; en esos años la Dirección General de Epidemiología lo considera como foco rojo, por lo que esta atenta con los brotes que puedan surgir. En 2013 no se reportan casos. De la misma forma sus brotes se presentan cuando la temperatura mínima aumenta y hay precipitación.

Para el caso del dengue hemorrágico el comportamiento en la figura 2.8 que corresponde a Armería, se puede percibir que se presentan brotes en 2009, 2010 y 2011, a pesar de

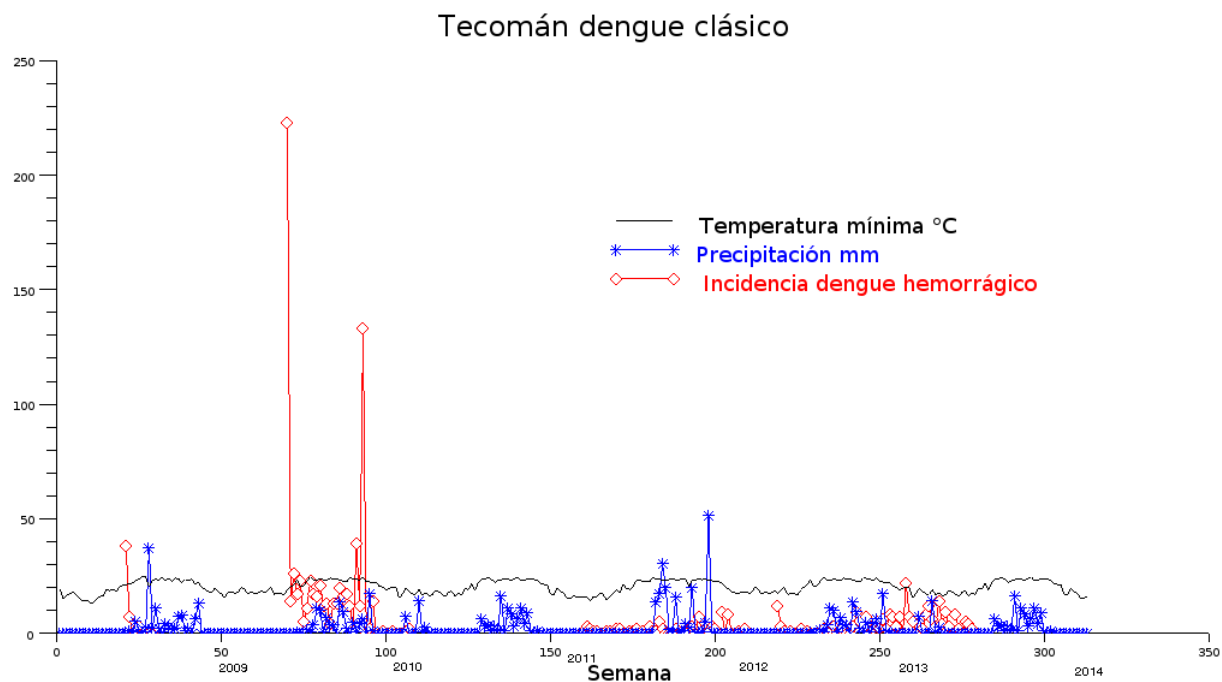


Figura 2.6: Temperatura, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Tecomán.

que son muy pocos los casos registrados e incluso son constantes en esos años, no ocurre lo mismo en 2013, en donde no se tienen casos reportados.

En la figura 2.10, que corresponde a Manzanillo, se puede observar que el dengue hemorrágico se presenta en el 2008, disminuye en 2009 y no se presentan casos en el 2010 y 2011 (cuando esta la campaña de combate al dengue), pero en el 2013 nuevamente se presenta el dengue hemorrágico.

La figura 2.9 se refiere a Tecomán. El dengue hemorrágico es muy escaso, sólo se observan en 2009 y en 2012 y para 2013 no hay infectados reportados por este tipo de dengue.

Finalmente en la figura 2.11 se presenta el dengue clásico en los cuatro municipios: Armería, Ixtlahuacán, Manzanillo y Tecomán. Se puede observar que tiene un comporta-

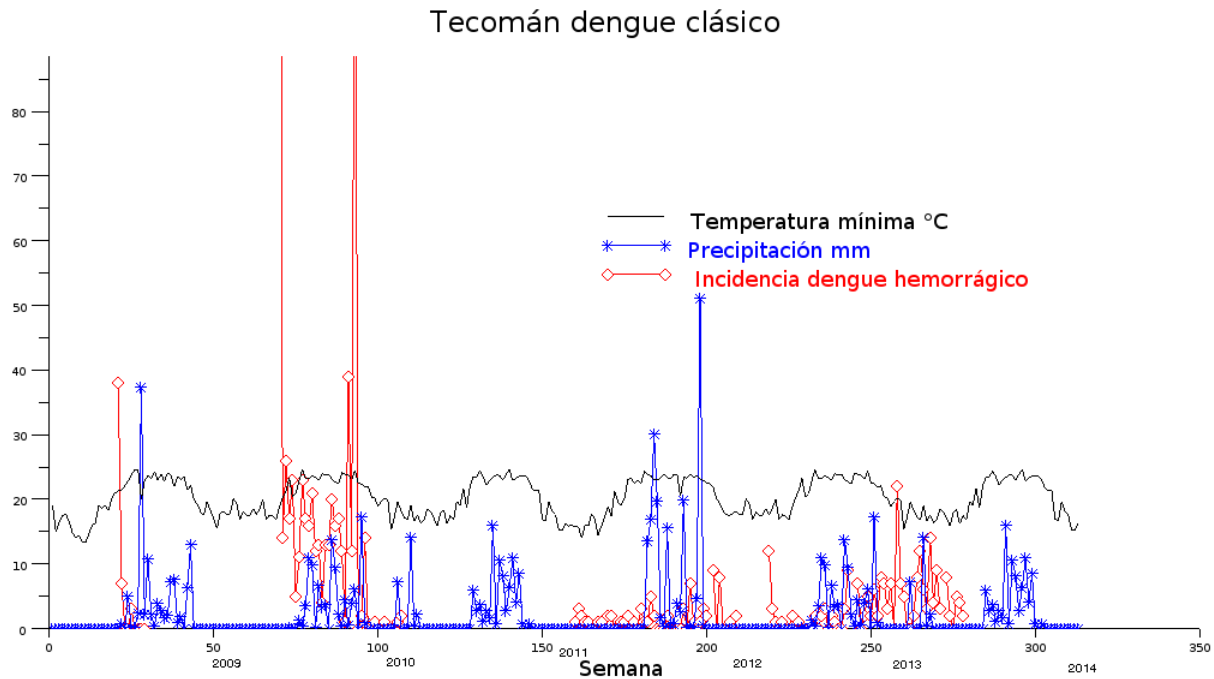


Figura 2.7: Temperatura, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Tecomán.

miento interesante, debido a que los infectados empiezan en Manzanillo y Armería, que son los municipios que están más cerca del estado de Jalisco (ocupa los primeros lugares en infectados por dengue), después se propaga hacia los municipios de Tecomán e Ixtlahuacán.

2.4. Análisis de datos

Lo interesante en el dengue clásico y hemorrágico es que los brotes se presentan cuando hay precipitación y en la mayoría de los casos cuando la temperatura mínima aumenta, confirmando que los brotes se presentan cuando hay precipitación y aumenta la temperatura. Se puede corroborar lo reportado por el Diario de Colima al observar las gráficas de las figuras 2.2 a 2.6 en donde en todos los casos los brotes de dengue ocurren cuando la temperatura mínima aumenta y cuando hay precipitación.

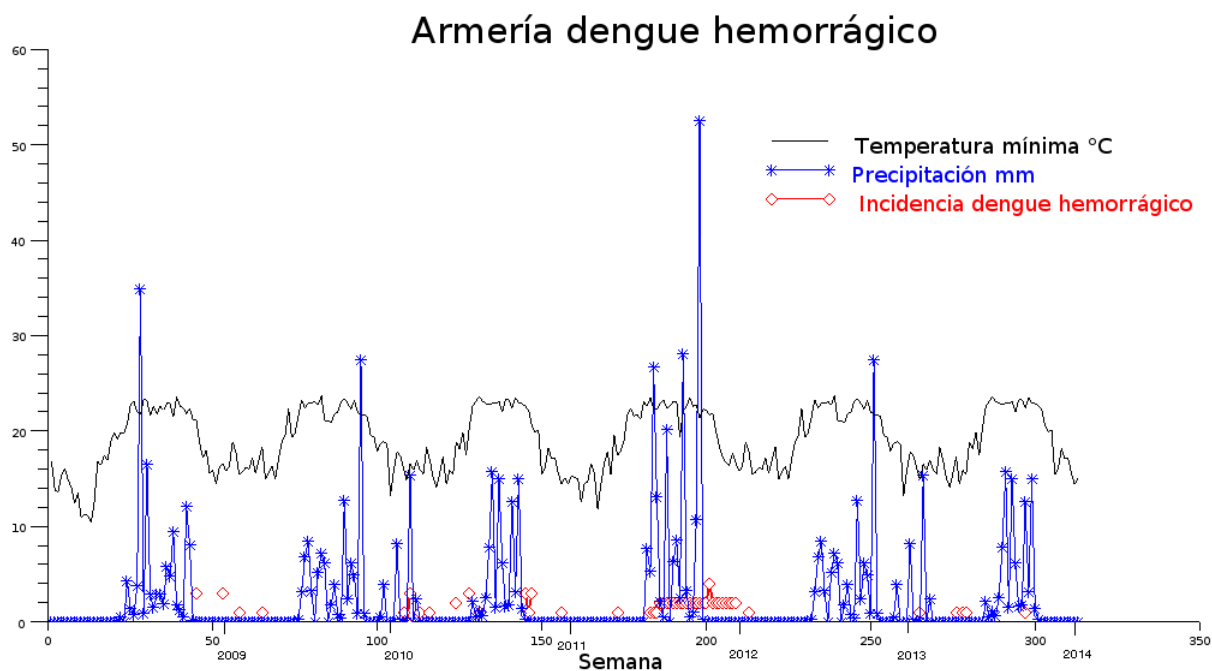


Figura 2.8: Temperatura mínima, precipitación y personas infectadas por dengue hemorrágico de 2008-2013 en Armería.

Después de que la Dirección General de Epidemiología reportó que Colima fue el estado que más casos presentó en 2009 (se observa en las gráficas 2.2 a 2.6), entró el programa de descacharrización en 2010 y a partir de ese año y durante el tiempo que duró el programa los casos de dengue clásico disminuyeron, llegando a 2011 con muy pocos casos en Ixtlahuacán y Tecomán. En Manzanillo y Armería no se reportaron casos de dengue. Cuando el proyecto de la Universidad de Colima termina (2013) y ya se habían entregado resultados, el gobierno federal recorta fondos para el combate al dengue; es en ese momento cuando empiezan a surgir brotes en los cuatro municipios que aquí se estudian. Como no se tienen datos de temperatura y precipitación para esas fechas se tomó ventaja de la periodicidad en su comportamiento, por lo que se extendió hasta la semana 365 (con la metodología descrita anteriormente) para saber en dónde estarían los picos de precipitación, los cuales efectivamente coinciden con los brotes de la enfermedad

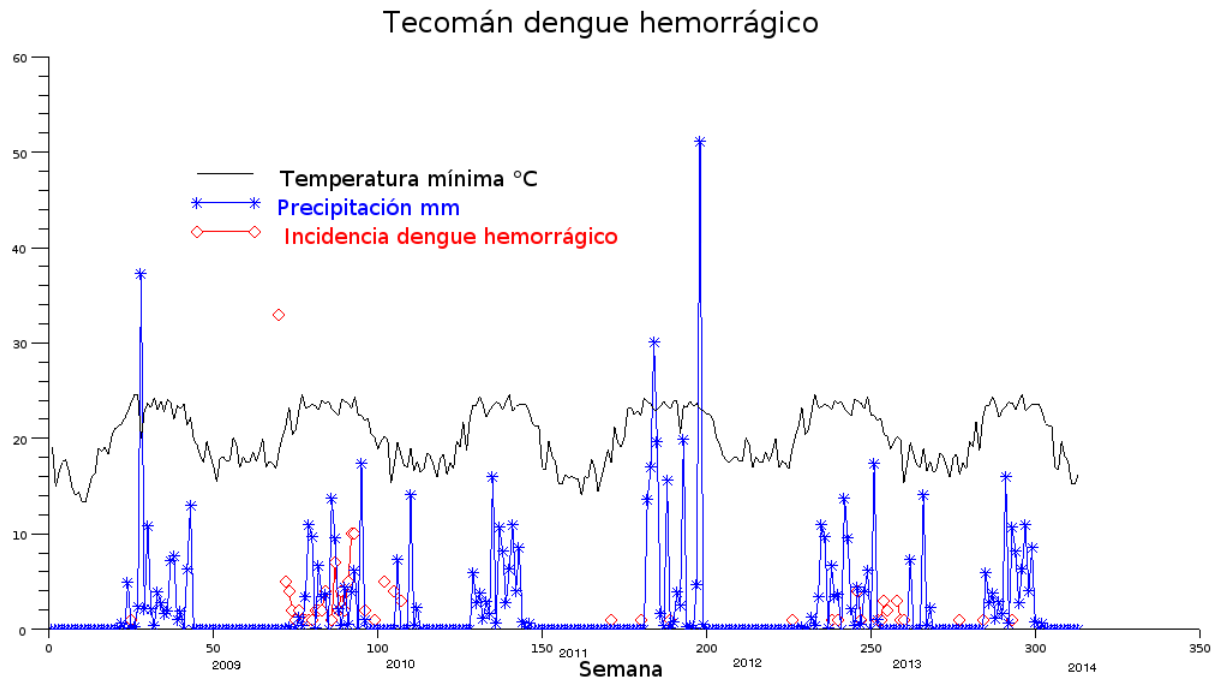


Figura 2.9: Temperatura mínima, precipitación y personas infectadas por dengue clásico de 2008-2013 en Tecomán.

en los cuatro municipios. Eso significa que el análisis es adecuado a la predicción de la temperatura y precipitación desde 2011 a 2014.

2.5. La visita

La gráfica 2.2 muestra que en Armería, a pesar del programa de descacharrización, se presentó incidencia de dengue; por lo tanto se decidió visitar el lugar en donde se encontró que aún siguen existiendo casas que tienen cacharros y sobre todo que la mayoría de las viviendas cuenta con cubetas que simulan macetas, las cuales no tienen una adecuada filtración, provocando que ese sea un lugar propicio para la producción de huevecillos y proliferación del mosquito.

Las llantas se pueden observar a simple vista en algunas casas (figura 2.12), los terrenos que no limpian y las casas abandonadas que se convierten en almacenadores de huevecillos.

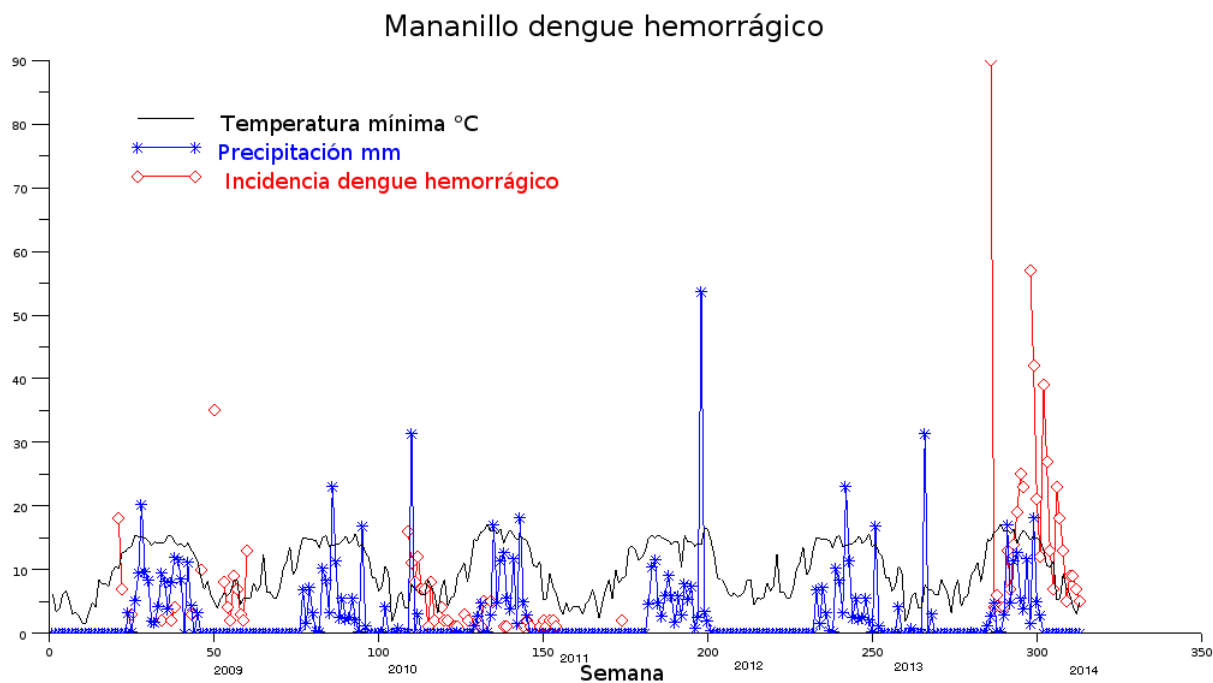


Figura 2.10: Temperatura mínima, precipitación y personas infectadas por dengue hemorrágico de 2008-2013 en Manzanillo.

En Armería aún se puede observar que la población no se preocupa por eliminar los cacharros o deshierbar sus terrenos y preocuparse por las casas abandonadas. La población tanto de la cabecera municipal como de las demás localidades (especialmente de las que se encuentran cerca de la carretera) tienen cacharros y llantas en casi todas las casas y en algunos casos incrustadas en el suelo señal de que llevan mucho tiempo ahí sin moverse, lo que crea el reservorio óptimo para la gestación del mosquito. El reusar las cubetas como macetas es una costumbre que la población del municipio tiene, las olvida en sus patios o fuera de sus casas, en donde se acumula el agua que no se retira cuando llueve por la creencia de que el sol la evaporará.

Tecomán, por otro lado, es el segundo municipio que se visitó. Es más grande que Armería y en la cabecera municipal se puede observar a simple vista que se encuentra libre

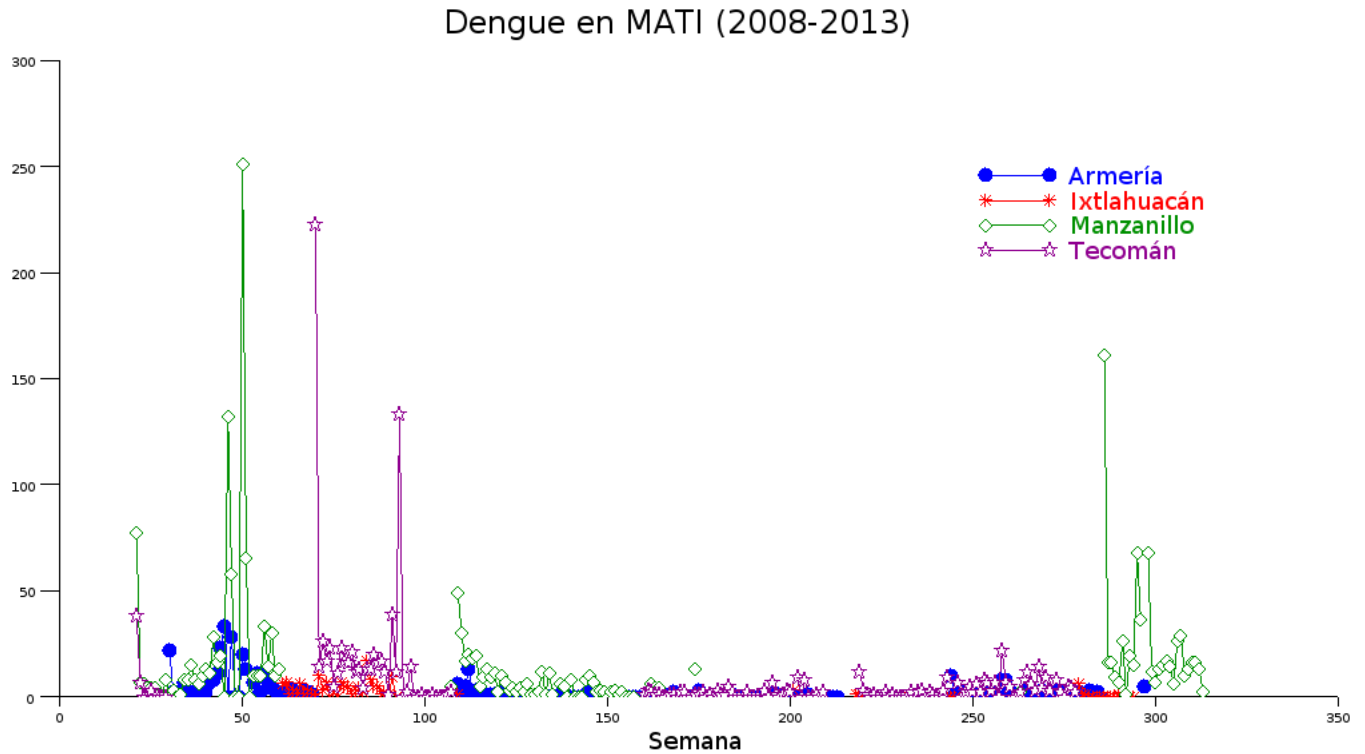


Figura 2.11: Representa el dengue en los cuatro municipios: Armería, Ixtlahuacán, Manzanillo y Tecomán.

de cacharros y llantas, parecería que el programa funcionó en el municipio; sin embargo, explorando en colonias periféricas de la cabecera municipal se pudo observar que quizá el programa se puso en marcha sólo en la zona urbanizada, pero no en otras localidades del municipio (entre ellas algunas colonias de la misma cabecera) no, ya que aún existen cacharros fuera de las casas (figura 2.15), llantas que en época de lluvia son criaderos de huevecillos y una cancha de fútbol que llamó mucho la atención porque es un lugar en donde juegan los niños y tiene como límite una hilera de llantas que se encuentran enterradas en el suelo (que a simple vista se puede ver que son lugares de acumulación de agua). Las llantas de la cancha también sirven en algunas ocasiones como asientos para disfrutar el partido que se lleva a cabo en el lugar. Es necesario que el gobierno municipal planeé mejor la construcción de centros de recreación usando los materiales reciclados de manera tal que no propicie la proliferación de enfermedades.



Figura 2.12: Casas en Armería con llantas y botes dentro de sus viviendas (fotos de N. Yanet Sánchez T.).



Figura 2.13: Terrenos y casas abandonadas en Armería (fotos de Erick J. López S.).

Por ser un centro recreativo para las personas que habitan la colonia en dónde se encontró la cancha de fútbol, se presenta en la figura la ubicación del centro recreativo, que como se puede observar se encuentra localizada en las afueras del municipio.

En las calles se puede observar que el municipio destinó contenedores de basura en donde la comunidad puede depositar sus desechos. El problema de tales recolectores es que no tiene tapa y el camión recolector de basura no pasa de manera continua, así que esos botes pueden ser criaderos de moscos (figura 2.16). Más aún, la comunidad y las ac-



Figura 2.14: Ubicación de la cancha de futbol de Tecomán, la foto de la izquierda detalla las calles donde se encontró la cancha, la escala va de 0 a 100 m. La foto de la derecha muestra la ubicación de la cancha en el municipio, la escala va de 0 a 1000 m. Ambas fotos fueron tomadas de Google Earth.

tuales autoridades no se han puesto a pensar si en un futuro esos botes no se convertirán en un cacharro más que, si tienen suerte, será retirado del lugar y si no será olvidado en las calles y generará nuevos hogares para el mosquito del dengue.



Figura 2.15: Cacharros fuera de algunas casas en Tecomán (fotos de N. Yanet Sánchez T.).

Finalmente, en Ixtlahuacán, en el corredor que hay entre la entrada al pueblo y el centro, sucedió lo mismo que en Tecomán. A simple vista se puede ver que el lugar se encuentra limpio, libre de cacharros, no se observan botes como en Tecomán. Parecería que el lugar esta libre de todos los cacharros y que se les informó adecuadamente de cómo



Figura 2.16: Bote de basura y cancha de fútbol limitada por llantas en Tecomán (fotos de N. Yanet Sánchez T.).

evitar la proliferación del mosquito. En el centro se encuentra su kiosco; a un costado se pone un tianguis y enfrente del kiosco se encuentra la presidencia municipal y un puesto fijo en donde se brinda servicio médico (figura 2.17).

Caminando por algunas calles lejanas al centro el encanto de la limpieza y el orden se acaba porque se empieza a observar cacharros fuera y dentro de las casas (figura 2.18) y terrenos sucios que se ven olvidados, es decir, están llenos de escombros, lo cual en época de lluvias es el sitio adecuado para que los moscos transmisores del dengue se hospeden. Las casas están “incrustadas” en la selva, es decir tienen un patio trasero que da directamente a la maleza, que, si no se limpia adecuadamente es otro criadero seguro del mosquito.

Lejos de la cabecera municipal de Ixtlahuacán se pueden también observar cacharros y terrenos sucios, lo que justificaría el por qué en 2013 nuevamente se presentan los brotes en épocas de lluvia y cuando la temperatura aumenta.

Como era necesario hablar con alguna autoridad involucrada en el programa se decidió visitar al Secretario de Salud del estado, pero no fue posible entablar una conversación ni con ninguna persona por falta de tiempo en sus agendas, así que se decidió visitar al encargado del programa por parte de la Facultad de Medicina de la Universidad de Co-

lima, Dr. Francisco Espinoza Gómez, quien amablemente nos platicó de lo que habían hecho, el cómo lo habían realizado y en qué lugares.

El Dr. Espinoza mencionó que se habían recabado datos de varias comunidades en los estados de Colima, Jalisco, Michoacán y Nayarit (salvo regiones de difícil acceso) y con ello se hizo una base de datos que contiene básicamente información de muestras de sangre a las que se les hicieron pruebas de varias enfermedades como malaria, chagas, dengue, etc. Con estos datos se pretendía generar información histórica-genética que pudieran aportar evidencias y/o patrones de dichas enfermedades para con ello obtener un modelo predictivo que se implementara en los futuros planes de desarrollo. Sin embargo, el investigador matemático que se encargaba de analizar los datos cambio de adscripción y entidad por lo que ahora esos datos estan sin analizar. Con lo anterior, también se pretendía hacer un mapa de enfermedades.

La plática con el Dr. Espinoza terminó porque tenía que realizar otras actividades, pero dejó abierta la posibilidad de colaborar en un futuro con los trabajos que quedaron pendientes, en colaboración con la UNAM, sólo que era necesario establecer un compromiso con la Universidad de Colima, porque tenía miedo de que el trabajo que ellos habían realizado tuviera créditos en otro lado y no en esa universidad.

De la visita se tienen más fotografías (por cuestiones de espacio no se incluyen) en donde se pueden observar los cacharros, por ejemplo, de Armería a lo largo de las vías del ferrocarril, más terrenos vacíos y casas abandonadas llenas de maleza, bardeadas o de difícil acceso para su limpieza.



Figura 2.17: Kiosko y presidencia municipal de Ixtlahuacán (fotos de N. Yanet Sánchez T.)



Figura 2.18: Llantas fuera y dentro de algunas casas en Ixtlahuacán (fotos de N. Yanet Sánchez T.)



Figura 2.19: Terrenos vacíos en Ixtlahuacán (fotos de N. Yanet Sánchez T.).

Capítulo 3

La predicción

De los datos oficiales presentados en el capítulo anterior (sobre temperatura mínima y precipitación semanal) se hace una predicción en la que se darán las semanas dónde se presentarán lo nuevos infectados para que se ponga atención especial en ese periodo de tiempo, cuando la población resulta ser más susceptible a la enfermedad. Para hacer esta predicción se realiza el procedimiento de series de tiempo para ajustar los datos de temperatura mínima a una función suavizada. En esa función analítica se prefirió ajustar mejor a los datos de predicción que a los datos pasados.

3.1. Armería

Como se observó en el capítulo anterior la temperatura mínima presenta una periodicidad, al igual que la precipitación semanal; entonces, con esos datos se puede extrapolar una predicción de la temperatura mínima y la precipitación semanal que se presenta para el caso de cada municipio de la figura 3.1 a 3.6.

Para evitar tener dudas sobre la función periódica, obtenida por la media móvil (apéndice D), se presenta en la figura 3.2 la comparación entre los datos de la temperatura mínima obtenidos de la CNA y la obtenida por la media móvil.

En la figura 3.1 se puede observar que cuando la temperatura mínima aumenta también

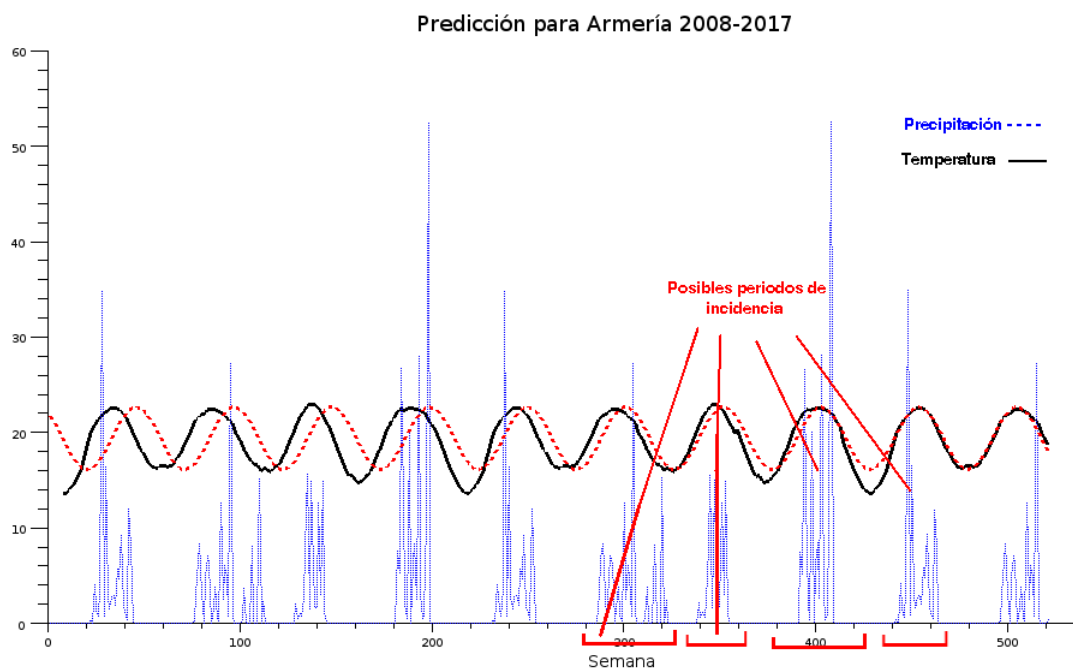


Figura 3.1: Temperatura mínima y precipitación semanal de 2008-2017 en Armería.

se presenta precipitación, y, viendo la figura 2.2, los brotes de dengue se presentaron cuando ocurría aumento de temperatura y también precipitación; es decir, se tendría el siguiente escenario:

1. Si se toman las medidas preventivas de fumigación (con otro tipo de insecticida, considerando que el mosquito puede hacerse resistente al ya usado), de informar a la comunidad de qué es el dengue y como combatirlo, eso significa que probablemente se tendrían algunos casos de brotes en la semana 27 a la 37 correspondientes a los meses de julio a septiembre del año 2014 (semana 341 a 351 de la gráfica 3.1), para el 2015 de la semana 22 o 23 hasta finales de año, correspondientes a los meses de mayo a noviembre (semana 388 de la gráfica 3.1), en el 2016 de la semana 30 hasta finales de año, que corresponde a los meses de julio a noviembre (semana 448 gráfica 3.1), pero podrían no presentarse ningún caso de dengue en estas fechas y finalmente en el 2017 de la semana 23 a la 42 aproximadamente (junio a octubre, semana 493 a 512 de la gráfica 3.1).

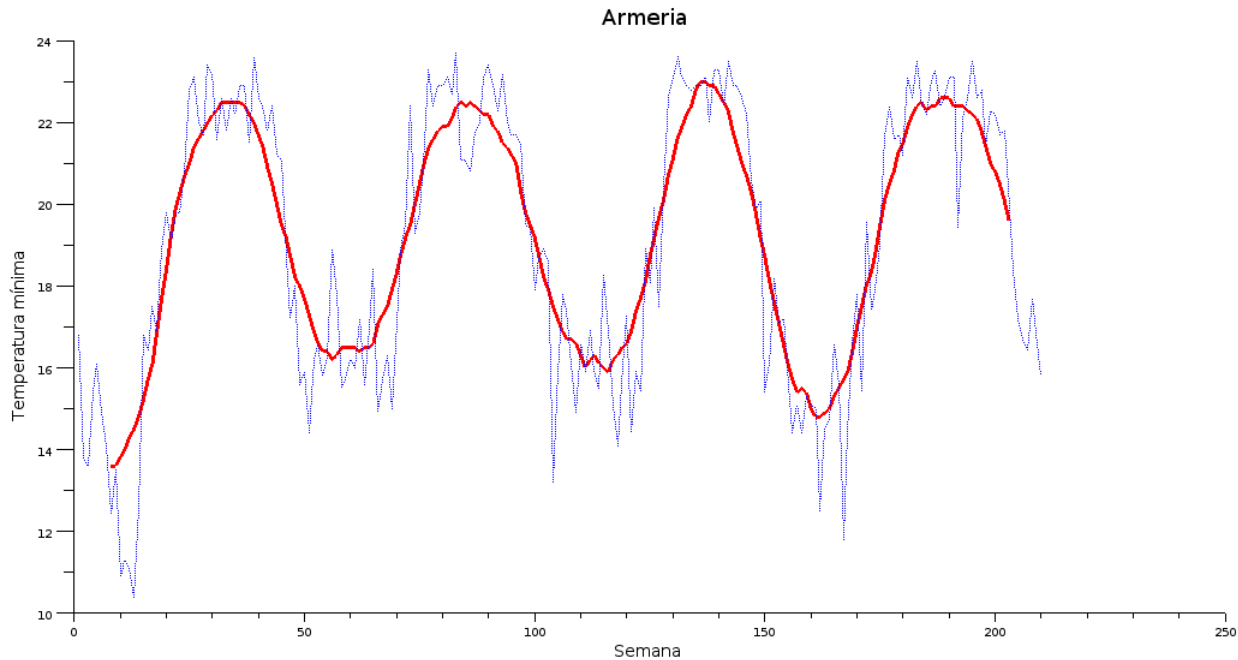


Figura 3.2: La línea punteada representa los datos obtenidos de la CNA y la línea continua los obtenidos por la media móvil.

2. Si no se toma cuenta ninguna medida preventiva, nuevamente el municipio podría tener muchos brotes de dengue en las mismas fechas mencionadas en el párrafo anterior, sólo que en lugar de presentarse 1 a 10 infectados, se podrían presentar más de 10. En la figura 3.3, se muestra la ciudad de Armería, en una imagen obtenida de Google Earth, así como un acercamiento en el que se marcan las posibles zonas en donde se presentarían los criaderos de huevecillos del mosquito, de acuerdo a lo observado durante la visita al lugar; en la zona de las vías de ferrocarril fue donde se observó el mayor número de cacharros. Ese sería el lugar ideal para hospedarse y reproducirse el *Aedes Aegypti*.

El primero de los escenarios generaría un gasto menor ya que sólo se tendría que invertir en información, insecticida y generar conciencia en la población para mantener limpio sus terrenos y casas. No se gastaría en atender la enfermedad ahorrando fondos en los recursos de salud que podrían ser empleados para otras enfermedades.

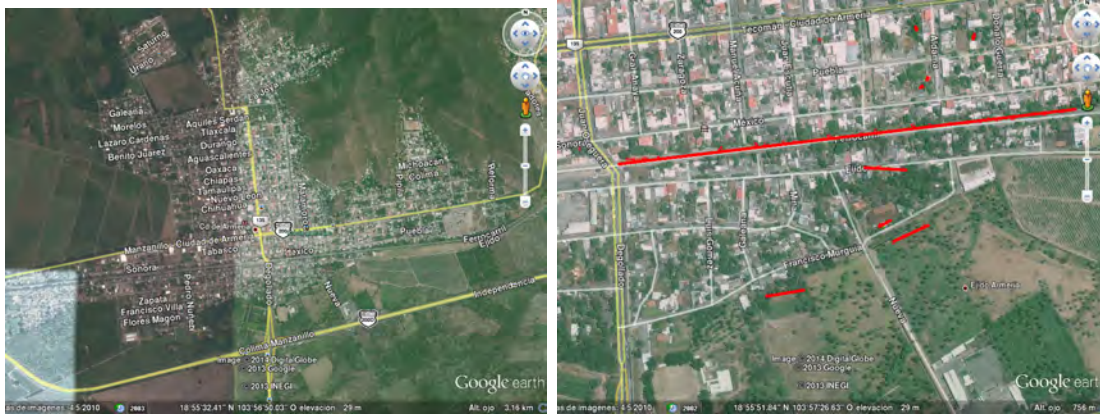


Figura 3.3: Izquierda imagen satelital de Armería. Derecha un acercamiento de la zona de las vías para ubicar las vías de ferrocarril y mostrar el lugar ideal para la reproducción del mosquito (línea).

El segundo escenario al principio no generaría gastos al gobierno, pero cuando se presenten los infectados provocaría gastos en tratamiento, medicina y monitoreo para evitar más casos cerca del foco de infección. De acuerdo a (Salud, 2009) de Colima se destinaron 12 millones de pesos para el control del dengue y 6 millones aproximadamente en la promoción de la salud en 2009, que sería un presupuesto muy bajo si hay brotes de dengue.

La predicción, como se observa en la figura 3.1, se puede ajustar con una función matemática conocida, en este caso con una función coseno, la cual se obtuvo estimando el periodo, la amplitud, el desfase y el traslado en las ordenadas usando los datos que generaron las transformadas de Fourier (ver apéndice D) de cada caso y la medición directa sobre las gráficas. En base a los datos que se tienen se generó la función, pero se prefirió ajustar el modelo con los datos de la predicción (2014-2017) y no con los que ya se tenían (2008-2013). Se realizó lo mismo para Manzanillo y Tecomán, eliminando a Ixtlahuacán por que su forma no lo permitía.

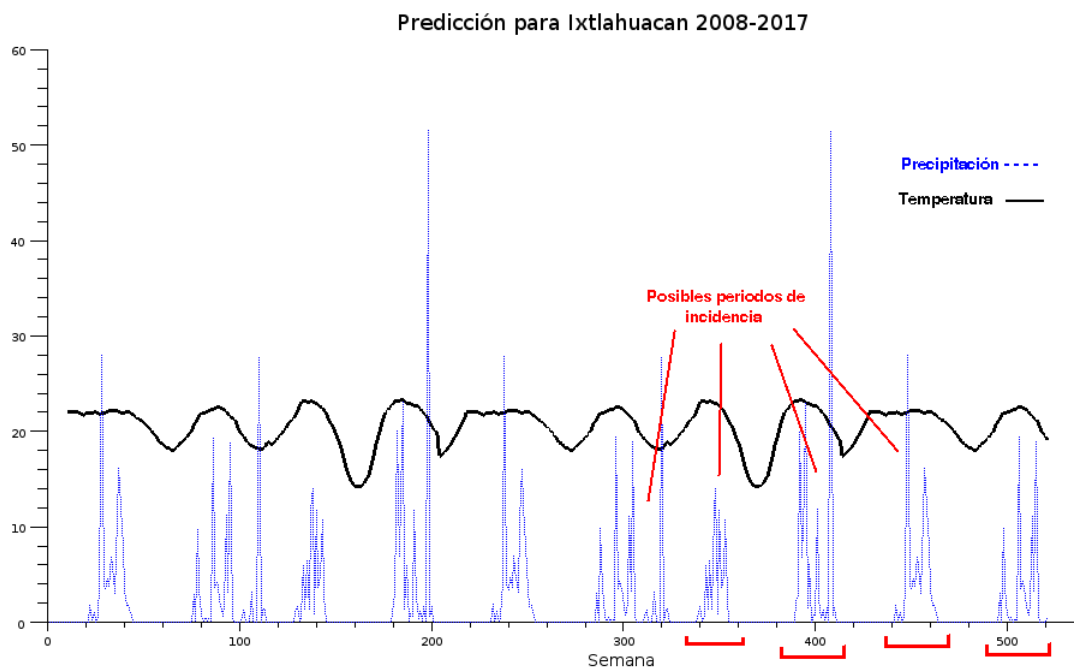


Figura 3.4: Temperatura mínima y precipitación semanal de 2008-2016 Ixtlahuacán.

3.2. Ixtlahuacán

El caso de Ixtlahuacán, de acuerdo a la figura 3.4, se puede observar que nuevamente las precipitaciones se presentan cuando la temperatura mínima aumenta; entonces, se tienen los dos posibles escenarios:

1. Si se implementan medidas de combate probablemente no se presentarían casos en 2014, 2015 y 2016 debido a que el comportamiento que se tenía previamente era que los casos iban disminuyendo, porque como por muchas semanas se consideró como foco rojo el municipio, se encontró en continua observación por la Dirección General de Epidemiología.
2. Si no se implementan medidas de combate, es decir, se olvida el programa de descacharrización y ya no se les informa a la población sobre como evitar la proliferación del mosquito, se puede deducir de la figura 3.4 que en 2014 existe una probabilidad de que desde la semana 15 a la semana 40 (semana 329 a 354 de la gráfica 3.4) se

presenten nuevos brotes; para el 2015 desde la semana 10 a la semana 45, correspondiente a los meses de abril a octubre (semana 376 a 411 de la gráfica 3.4), se presentarían casos de enfermos de dengue clásico o hemorrágico y finalmente en el 2016 los brotes se estarían dando en la semana 13 (marzo) a la 20 (mayo, semana 431 a 438 de la gráfica 3.4). Sin medidas preventivas los casos se presentarían en número probablemente como en el 2008.

3.3. Manzanillo

Manzanillo ha sido el municipio con mayor número de casos de dengue, tanto clásico como hemorrágico. En la figura 3.5 ocurre lo mismo que en Armería e Ixtlahuacán, es decir, al aumento de temperatura, aumenta la probabilidad de precipitaciones. Los escenarios en este caso serían los siguientes:

1. Con medidas preventivas, fumigación, información y descacharrización los números de casos disminuirían, no totalmente por la cantidad de población que se tiene, pero no crecerían tanto, serían menores de 50 infectados en el municipio (incluso cero) debido a que en el 2010 y 2011 no se reportaron infectados por dengue.
2. No se presentan medidas preventivas o son muy pocas, que fue lo que sucedió en 2011, cuando la Universidad de Colima dejó de participar en el proyecto. Los casos de dengue volvieron a surgir, entonces se presentarían infectados en la semana 26 a 47 (de junio a noviembre, correspondientes a la semana 340 a 361 de la gráfica 3.5) en 2014 en la semana 25 (junio) del 2015 hasta la 13 (marzo) del siguiente año (semana 391 a 431 de la gráfica 3.5), de la semana 32 (agosto) a la 43 (octubre) del 2016 (semana 450 a 461 de la gráfica 3.5) y finalmente de la semana 20 (mayo) a la 46 (noviembre) del 2017 (semana 490 a 516 de la gráfica 3.5).

3.4. Tecomán

Tecomán tiene también el comportamiento de que a mayor temperatura mínima y precipitación semanal se presentan individuos infectados. Interpretando la figura 3.6 las

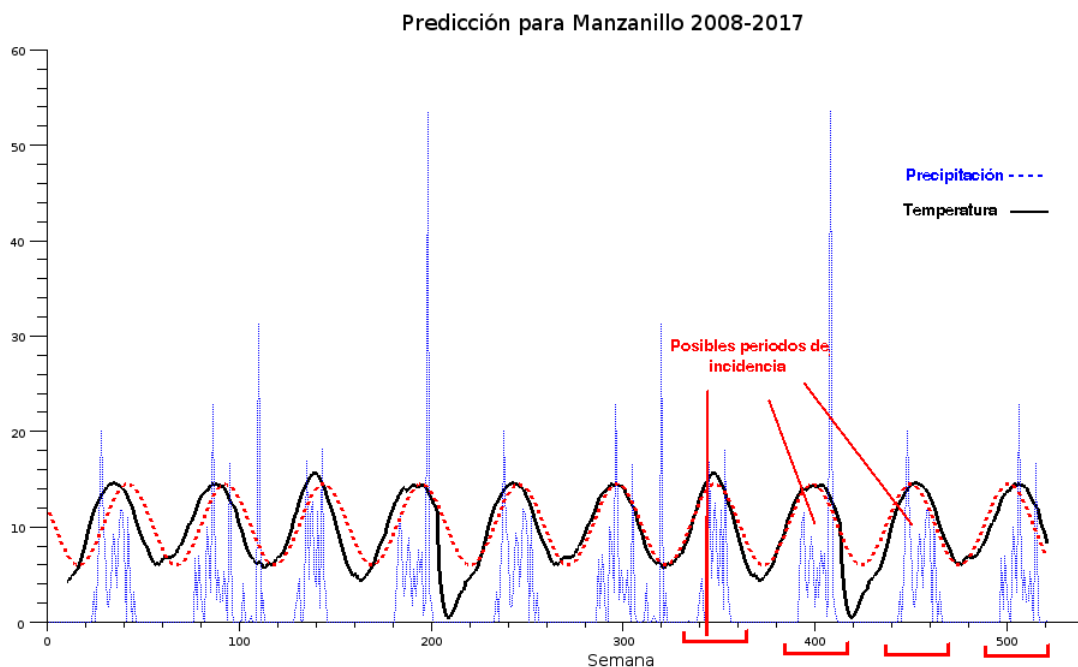


Figura 3.5: Temperatura y precipitación de 2008-2017 en Manzanillo. La línea gruesa representa la predicción, la línea punteada sobre esa línea representa la función con la que se puede modelar y las líneas punteadas por debajo de las anteriores, representa la precipitación.

predicciones serían las siguientes:

1. Si continua el programa de descacharrización, entonces existe la probabilidad de que el 2014 no se presenten casos de dengue en el municipio, pero en el 2015 existirán algunos casos en la semana 21 hasta la semana 13 de 2016 (semana 387 a 431 de la gráfica 3.6); en ese mismo año se pueden presentar casos en la semana 23 a la 41 (semana 441 a 459 de la gráfica 3.6) y en 2017 de la semana 20 a la 41 (semana 490 a 511 de la gráfica 3.6).
2. Si no se continua el programa o disminuyen las estrategias, entonces se presentarán casos en el 2014 de la semana 21 (mayo) a la 42 (octubre, semana 335 a 356 de la gráfica 3.6) y aumentarán los números de infectados en el 2015 al 2017.

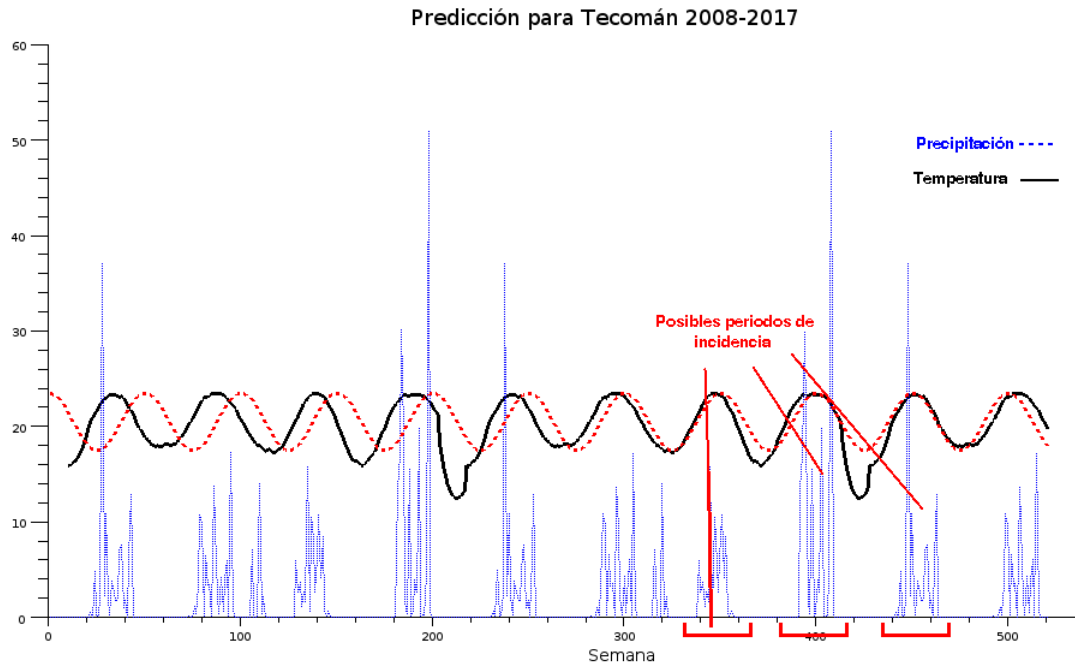


Figura 3.6: Temperatura y precipitación de 2008-2017 en Tecomán. La línea gruesa representa la predicción, la línea punteada sobre esa línea representa la función con la que se puede modelar y las líneas punteadas por debajo de las anteriores, representa la precipitación.

3.5. Las medidas preventivas

De acuerdo a las gráficas presentadas en las figuras 3.1 a 3.6 se podrían tomar medidas preventivas de manera general en el municipio:

- Hacer brigadas con ayuda de los estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Colima para informar a la población las características importantes sobre la enfermedad, cómo se produce y en general qué medidas pueden tomarse para evitarla.
- Por municipio tener un lugar destinado para recibir los cacharros o bien cada tres ó seis meses hacer recorridos para recolectar los cacharros.
- Continuar con el monitoreo de ovitrampas y poner más en las localidades que no las tienen.

- Enseñar a la población cómo puede hacer una ovitrampa y colocarla en sus hogares.
- Hacer investigación sobre la adaptación del mosquito al insecticida y su consecuente resistencia con el propósito de evitar que la fumigación en unos años ya no funcione.

3.6. Lo que se espera

La labor de un geógrafo es poder intervenir con argumentos sólidos en la toma de decisiones; por lo tanto, se espera lograr hacer un documento en donde se informe lo que puede ocurrir si continúan con las medidas de prevención. Esto funcionaría al 100 % siempre y cuando en los demás estados (Michoacán y Jalisco) también se implementen las medidas necesarias para combatir la enfermedad y con eso evitar futuras epidemias que pueden afectar económicamente las finanzas del estado de Colima debido a que se tendrían que destinar más recursos.

Es necesario esperar para comprobar si realmente las predicciones son adecuadas y si eso sucede es posible que con los datos que se tienen se pueda desarrollar un modelo matemático más general que ayude a visualizar la tendencia del desarrollo de la enfermedad.

Es importante aclarar que es necesario contar con datos más confiables ya que los del boletín de epidemiología presentan algunas incongruencias que se observaron durante el llenado de datos en una hoja de cálculo; dichos datos incongruentes fueron eliminados (siguiendo con la metodología de series de tiempo). Los picos repentinos, como ya se mencionó previamente, se deben a que no se tienen datos en semanas previas lo que ocasiona dudas sobre si realmente existieron tantos casos esas semanas o bien son los casos acumulados que se tenían desde la semana uno de dicho año, ya que el boletín no dice la metodología de recolección de datos que presenta.

Crear una cultura sobre la enfermedad en una sociedad que está acostumbrada a vivir de una cierta forma no es tan fácil, es necesario insistir en que sus costumbres deben cambiar por cuestiones de salud, al principio resultará difícil pero es necesario seguir in-

sistiendo, eso involucra el apoyo de muchas personas voluntarias, pero eso resulta difícil cuando no existe un proyecto que aporte los recursos necesarios para hacer brigadas de información, pagar los gastos del pasaje que involucra el traslado de los voluntarios a los diferentes lugares del estado, etc.

La información ya se difundió pero no ha llegado a todos los rincones del estado, es necesario seguir avanzando y no bajar la guardia; es necesario también cambiar constantemente de insecticidas ya que el mosquito evoluciona y se vuelve resistente al empleado; es necesario administrar adecuadamente los doce millones de pesos que en promedio se entregan para el dengue, de esa forma se podrá combatir la enfermedad en el estado y, por qué no, se podrá lograr que los demás estados tomen las medidas preventivas y si el modelo funciona se podrán hacer predicciones a nivel nacional, no solamente a nivel estatal o regional.

Capítulo 4

Conclusiones

4.1. Discusión

Las gráficas de dengue hemorrágico 2.8, 2.10 y 2.9 muestran picos que representan una cantidad considerable de infectados (95, 60 y 90 personas con dengue). Es importante analizar si eso se debe a que a lo largo del año se habían presentado personas infectadas (uno o dos por semana), pero que el boletín no lo reportó en ese momento porque no era significativo para ellos y los acumuló sumando esos casos en donde se presentan las grandes incidencias; o bien, que de pronto se presentan varios infectados y es en ese momento cuando se convierte en foco rojo el municipio y es por eso que de pronto se tienen picos con una cantidad considerable de individuos infectados. Sería importante aclarar dicha situación, de lo contrario se puede interpretar que surge un brote que puede ser peligroso para la población, y si esto realmente sucede sería interesante revisar qué fenómeno fue el que provocó que se presentara repentinamente dicho brote. En esta tesis se observa que podría ser el cambio de temperatura y la precipitación.

Existe una onda que se va propagando (ver figura 2.11) en los cuatro municipios, comenzando en Manzanillo (que tiene el mayor número de infectados) y Armería, continuando con Tecomán e Ixtlahuacán. El comportamiento es similar al presentado por cualquier epidemia, es decir, la onda de infección va avanzando poco a poco desde la costa con mayor población hacia el interior del estado de Colima.

El número de infectados en los cuatro municipios no se compara con la población total en dichos municipios. Sin embargo, diez casos en un municipio es considerado como foco rojo en ese municipio y empieza a monitorearse, ya que si no se hiciera se convertiría en una epidemia. Es por eso que la Dirección General de Epidemiología está en constante monitoreo con los municipios que de repente presentan más de cinco casos de infectados.

Una característica en común de los municipios de Armería y Tecmán es que existen terrenos que no se deshieran continuamente; entonces, si llegó el programa de descacharrización y limpieza a esas localidades ¿por qué no se preocuparon por limpiar sus terrenos o bien llevarse las llantas que se encuentran fuera de las casas o incluso las que se encuentran en la cancha de fútbol en Tecmán?

Los documentos oficiales reportan cifras positivas de limpieza, información a la comunidad de como evitar el dengue y de fumigación en varias casas. No obstante, con las observaciones en los tres municipios visitados se puede constatar que esas cifras no son del todo ciertas. El problema es que no en todas las localidades de todos los municipios se aplicó el programa descacharrización por esa razón el mosquito ha logrado sobrevivir hasta 2013 y de acuerdo a las predicciones seguirá en 2014 y hasta 2017, por lo que no basta con aplicar un programa solamente unos años, sino que es necesario continuar con las medidas de prevención y erradicación para que el problema del dengue quede en el pasado, como otras enfermedades que han sido erradicadas a lo largo de la historia en el país.

En unos años será interesante observar lo que sucede en el estado y corroborar si realmente la predicción funcionó o bien fracasó porque Colima continuó con las medidas preventivas (que sería lo ideal). Si el programa no continua lo único que se conseguirá es hacer más resistente al mosquito; por lo tanto, es necesario que se le diga a las personas que necesitan cambiar sus costumbres (aunque sea difícil) por ejemplo, aprender a utilizar adecuadamente las cubetas usadas como macetas aunque esto lleve un poco de más tiempo al modificarlas para tal fin. Y si no funcionan entonces deben tener el hábito de eliminarlas inmediatamente.

Es necesario que la población en su totalidad sea derechohabiente a los servicios de salud que proporciona el estado porque en los cuatro municipios (que es sólo una muestra del total de la población) un promedio de 80 % cuenta con ese servicio y el resto carece de él, así que habrá problemas si alguien de ese 20 % llega a contraer la enfermedad ya que por falta del servicio no asiste a revisión a tiempo y podría terminar infectando a los moscos y en el peor de los casos, muriendo.

Cuatro de los diez municipios que conforman el estado de Colima coinciden en que el programa se llevó a cabo sólo en algunas partes específicas de los municipios, pero que en otras colonias y/o localidades no se aplicó. Lo mismo se observa en la capital del estado, en donde el programa llegó solamente a algunas colonias. La información no fue clara y completa en todas las colonias de la capital porque no se transmitió adecuadamente o bien porque la población tiene costumbres muy arraigadas y se les dificulta cambiar sus hábitos de higiene y salud.

Las autoridades correspondientes deberían poner un especial cuidado en los futuros proyectos que se realicen en el estado y considerar los hábitos y costumbres de la población con el propósito de evitar la pérdida de información y de recursos que se podrían emplear en otros rubros.

4.2. Conclusiones finales

Se pudo establecer la relación de precipitación semanal y temperatura mínima con la incidencia del dengue debido a que en los años analizados (2008 a 2013) se observó que en los máximos de temperatura mínima en donde ocurre precipitación, se presenta dengue clásico y/o hemorrágico.

Sacando ventaja de la periodicidad de la precipitación y temperatura se lograron hacer predicciones para los años 2014 a 2017. La metodología de la predicción se puede aplicar a otros estados de la República Mexicana que están considerados dentro de los primeros

lugares de infectados de dengue, como es el caso de Yucatán, Jalisco, etc. Esta metodología emplea matemáticas básicas (como la estadística y la aritmética) así que resulta de fácil acceso para cualquier persona interesada en analizar los datos del estado o estados y pretenda relacionar algunas variables (como las aquí empleadas) con los brotes de dengue o de alguna otra enfermedad.

Los focos rojos que fija la Dirección General de Epidemiología no necesariamente indican que sea una gran cantidad de población la que se encuentra infectada, sino que si hay incidencia repentina, se debe monitorear el municipio para evitar epidemias.

Los programas de combate al dengue deben continuar con el propósito de transmitir a la población lo más importante, que es cambiar los hábitos de limpieza en sus hogares y en los terrenos que tienen vacíos.

La labor del geógrafo no termina en hacer una investigación sobre algún aspecto específico, es necesario que implemente sus propuestas para que las autoridades puedan utilizarlas en la toma de decisiones.

Es necesario hacer notar que la Geografía de la Salud aporta elementos importantes a los tomadores de decisiones.

Hace falta establecer una relación matemática entre la precipitación y los brotes así como entre la temperatura y el dengue, o bien involucrar ambas variables en una misma relación. Aquí se construyó una que modela la temperatura (usando la función coseno) pero hace falta introducir el término que considere a los infectados y a la precipitación. Las bases ya se establecieron, falta que se continúe con el trabajo y se establezca la relación adecuada para que funcione tanto espacial como temporalmente en la misma relación.

Apéndice A

Tratamiento de datos

El Boletín Epidemiológico (1984) muestra solamente los casos de dengue de forma semanal. Se realizó una hoja de cálculo con algunos de los municipios del estado de Colima como se muestra en la figura A.1, en donde se logra observar que se presentan los casos de dengue clásico (FD) y dengue hemorrágico (FDH) por semana para el año 2008 a 2009; es importante mencionar que los casos presentados son acumulativos, por esa razón se logran ver hasta 200 casos infectados en algún municipio.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA		
	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH		
Manzanillo	77	18	84	25	93	25	94	25	98	28	102	28	103	28	103	28	111	28	111	28	114	28	114	28	115	28		
Tecmán	38	0	42	0	44	0	44	0	44	1	44	1	44	1	52	1	68	1	22	0	24	0	25	0	25	0		
Resto	66	5	69	6	70	6	74	6	76	6	78	6	79	6	97	6	120	6	187	7	200	7	200	8	204	8		
2009																												
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13			
	28di-3en	11-17 en		18-24 ene		25-31ene		1-7 feb		8-14 feb		15-21 feb		22-28 feb		1-7 mar		8-14 mar		15-21 mar		22-28 mar		29m-4ab				
	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH		
Manzanillo	10	4	20	6	53	15	67	22	97	25	107	27	120	40	6	0	13	5	14	6	17	4	18	4	24	4		
Armeria	11	0	13	0	22	0	26	0	30	1	33	1	34	2	35	2	37	2	41	2	44	1	44	1	44	1		
Resto	11	1	30	3	72	6	104	12	128	15	162	17	174	19	254	294	339	69	380	77	395	81	401	81	465	93		
2010																												
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13			
	3-9 ene	10-16 en		17-23 ene		24-30 ene		31e-6fe		7-13 feb		14-20 feb		21-27 feb		28f-6mar		7-13 mar		14-20 mar		21-27 mar		28m-3ab				
	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH	FD	FDH		
Cuatemoc	1	0	5	0	1	0	11	1	12	4	17	4	30	4	32	3	35	0	36	0	37	1	37	1	38	1		
Tecmán	1	0	3	3	5	1	49	16	79	27	96	35	116	47	134	54	153	61	158	62	167	70	180	72	189	72		
Resto	0	0	24	0	80	18	71	20	80	26	93	27	120	25	134	25	152	15	154	16	161	18	166	22	172	24		
	Ma▶Tec▶Ixt▶Armer▶Arri▶Manza																											

Figura A.1: Casos de dengue clásico (FD) y dengue hemorrágico (FDH) en algunos municipios de Colima.

Como el boletín no presenta los infectados de dengue en todas las semanas, se realizó una nueva hoja de cálculo (figura A.2) en donde se agrupó por columnas a los municipios y por renglones a las semanas, un aspecto importante es que el año 2008 inicia en la semana 21 (18 al 24 de mayo).

	2008										2009																			
	Armeria		Colima		Manzanillo		Tecomán		Resto		Armeria		Colima		Boquimatlan		Xtlahuaca		Manzanillo		Minatitlán		Tecomán		Resto		Armeria		Colima	
	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH	FD	FH
1											11	0							10	4					11	1				
2											2	0							10	2					19	2				
3											9	0							33	9					42	3	5	1		
4											4	0							14	7					32	6	6	0		
5											4	1							30	3					24	3	1	3		
6											3	0							10	2					34	2	5	0		
7											1	1							13	13					12	2	13	0		
8											1	0				6	0								120	40	2	1		
9											2	0				7	4								45	10	3	0		
10											4	0				1	0								41	8	1	0		
11											3	0				3	1								15	4	1	1		
12											0	1				1	0								6	0	0	0		
13											0	0				6	0								55	12	1	0		
14											3	0				1	0								73	15	1	0		
15											2	0				3	0								4	8	0	0		
16											1	0				1	0								16	1	0	0		
17																0	0							223	33	10	1	3	0	
18																10	0							14	0	21	2	0	0	
19																3	0							26	5	52	6	1	2	
20																7	0							17	4	18	2	0	0	
21					77	18	38	0	66	5						0	0							23	2	24	1	1	0	

Figura A.2: Semanas como renglones e infectados como columna de distintos municipios.

Para el caso de los datos de la temperatura y precipitación, la SMN-CNA (2014), presenta los datos por día, así que para empatar con los datos del dengue se realizó un promedio por semana como se muestra en la figura A.3, en donde se puede observar que simplemente se usa la instrucción =PROMEDIO(C133:C139), el siguiente =PROMEDIO(C140:C146), y así sucesivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
3	02/01/08	12759	0 NaN	44	22	2	0.0 NaN	44.4	22.1			
4	03/01/08	12760	0 NaN	44	24	3	0.0 NaN	43.4	22.6			
5	04/01/08	12761	0 NaN	45	23	4	0.0 NaN	43.6	22.0			
6	05/01/08	12762	0 NaN	44	23	5	0.0 NaN	43.7	22.0			
7	06/01/08	12763	0 NaN	45	23	6	0.0 NaN	42.1	21.3			
8	07/01/08	12764	0 NaN	44	22	7	0.0 NaN	41.4	23.0			
9	08/01/08	12765	0 NaN	45	22	8	0.0 NaN	43.1	22.0			
10	09/01/08	12766	0 NaN	44	23	9	0.0 NaN	41.9	22.4			
11	10/01/08	12767	0 NaN	44	22	10	0.0 NaN	36.7	21.1			
12	11/01/08	12768	0 NaN	44	22	11	0.0 NaN	41.6	21.6			
13	12/01/08	12769	0 NaN	45	22	12	0.0 NaN	38.5	21.9			
14	13/01/08	12770	0 NaN	45	22	13	0.0 NaN	38.9	21.5			
15	14/01/08	12771	0 NaN	44	23	14	0.0 NaN	38.0	21.1			
16	15/01/08	12772	0 NaN	43	23	15	0.0 NaN	36.0	22.0			
17	16/01/08	12773	0 NaN	43	23	16	0.0 NaN	36.1	23.3			
18	17/01/08	12774	0 NaN	43	22	17	0.0 NaN	35.7	23.0			
19	18/01/08	12775	0 NaN	44	22	18	0.0 NaN	36.3	22.0			
20	19/01/08	12776	0 NaN	43	23	19	0.0 NaN	38.2	21.6			
21	20/01/08	12777	0 NaN	44	22	20	0.0 NaN	38.6	21.9			
22	21/01/08	12778	0 NaN	45	22	21	0.0 NaN	37.9	21.7			
23	22/01/08	12779	0 NaN	44	22	22	0.0 NaN	37.6	21.0			

Figura A.3: Las columnas de la C a la K muestra la precipitación (C), la humedad (D), temperatura máxima (E), la temperatura mínima (F), la semana (G), el promedio por semana de la precipitación (H), humedad (I), temperatura máxima (J) y temperatura mínima (K).

Apéndice B

Series de tiempo

Una serie de tiempo o serie cronológica es un conjunto de observaciones hechas en momentos determinados, generalmente a intervalos iguales. El conjunto de observaciones se simbolizan como $y(t1), y(t2), \dots, y(tn)$ (Hamilton, 1994).

El conjunto de técnicas de estudio de series de observaciones dependientes ordenadas en el tiempo se denomina Análisis de Series Temporales. El instrumento que se suele utilizar para realizar ese análisis es un modelo que permita reproducir el comportamiento de la variable de interés (González, 2000).

Los Modelos de Series Temporales pueden ser:

- Univariantes. Si se analiza una serie temporal en función de su propio pasado.
- Multivariante. Se analizan varias series temporales al mismo tiempo.

B.1. Análisis de la serie

El paso más simple para el análisis de una serie de tiempo consiste en graficar la serie. El gráfico permitirá detectar

- Outliers: los puntos de la serie que se escapan de lo normal. Si eso ocurre se debe reunir información adicional sobre posibles factores que afectan el proceso.

- Tendencias. El comportamiento predominante de la serie. Puede ser creciente o periodico.
- Variaciones cíclicas y estacionales: Representa un movimiento periódico de la serie de tiempo. La duración del período puede ser un año, un trimestre, un mes, un día, etc. Cíclica se refiere a ciclos grandes, en donde el periodo no se le atribuye a ninguna causa (ejemplo fenómenos climáticos que tienen ciclos que duran varios años). Estacionaria ocurre en periodos identificables como por ejemplo la venta de ciertos productos en cierta época del año.
- Variaciones aleatorias. Movimientos irregulares (al azar) representan todos los tipos de movimientos de una serie de tiempo que no sea tendencia, variaciones estacionales y fluctuaciones cíclicas.

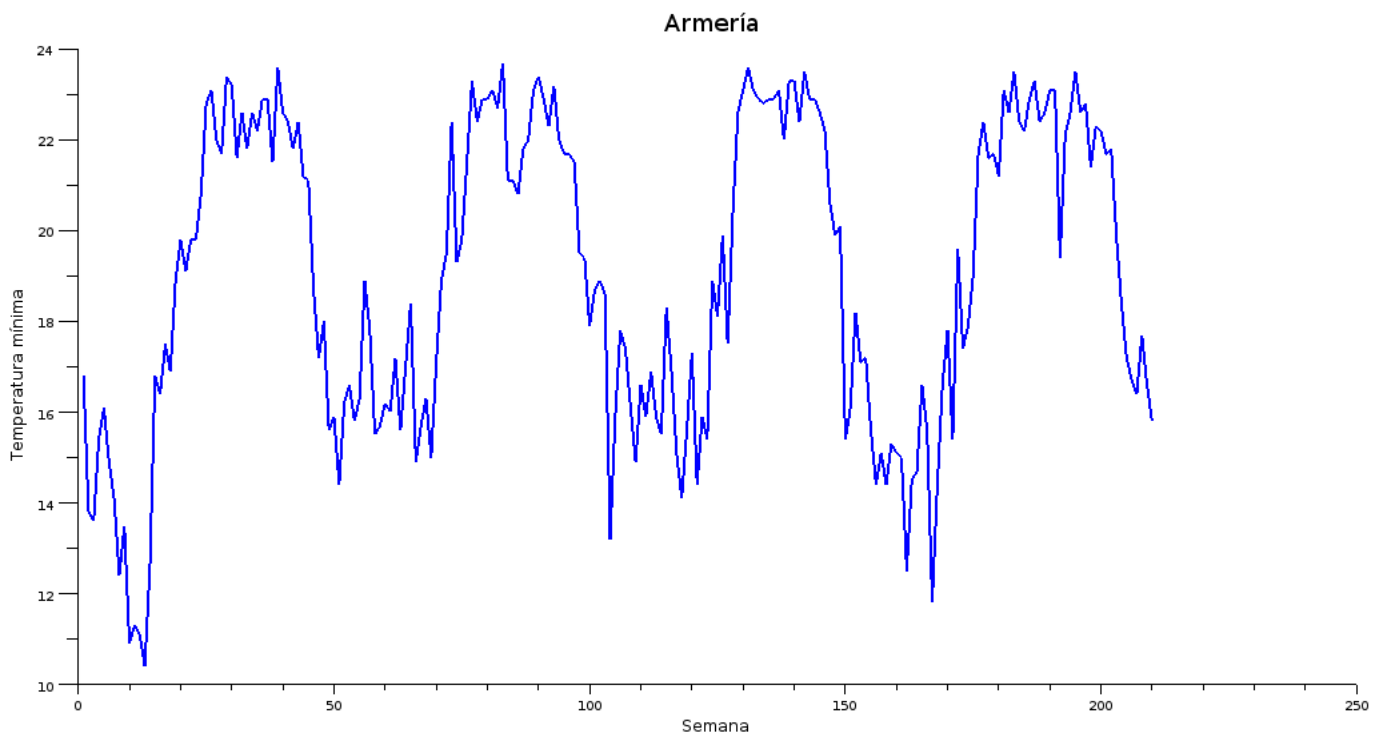
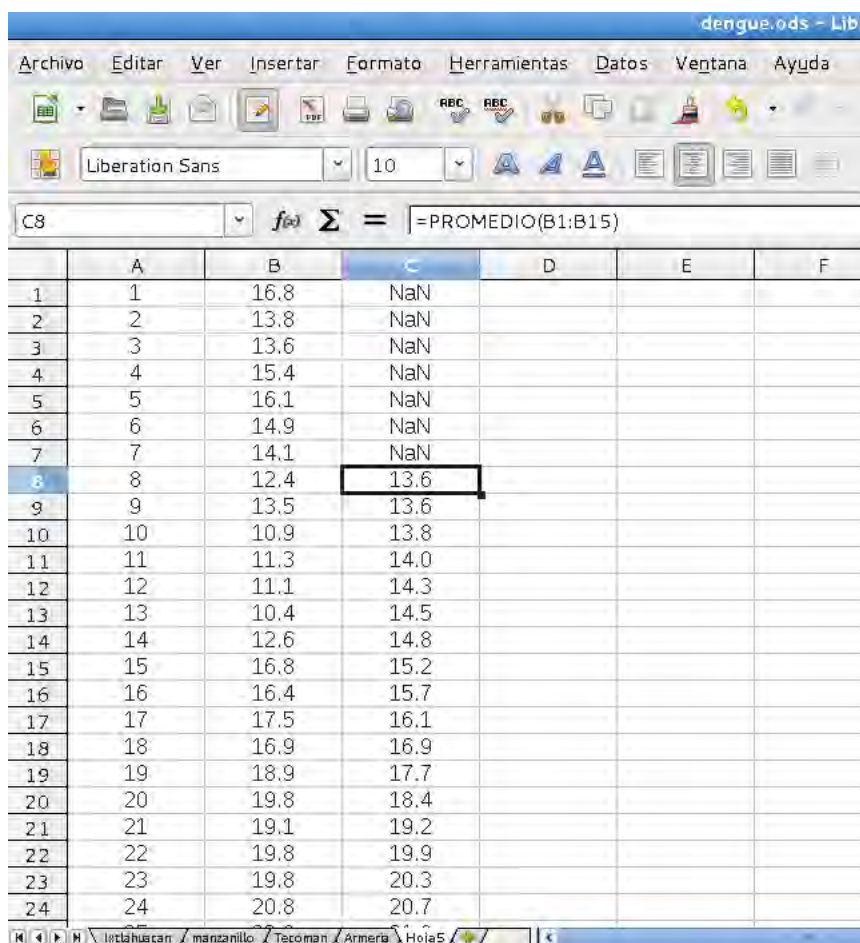


Figura B.1: Temperatura mínima en el municipio de Armería de 2008 a 2011.

Por ejemplo para caso de Armería al graficar los datos de la temperatura mínima (figura B.1) se puede observar que no presenta datos que se escapan de lo normal (es decir no hay puntos que salgan de la forma de la figura presentada). Su tendencia es periódica. La variación es estacional porque en cada año se observa que la temperatura mínima se eleva en las mismas semanas aproximadamente, de la semana 15 a la 45, que corresponde a la primera o segunda semana de abril hasta la primera o segunda semana de noviembre. No presenta variaciones aleatorias (porque no tiene movimientos al azar).



	A	B	C	D	E	F
1	1	16.8	NaN			
2	2	13.8	NaN			
3	3	13.6	NaN			
4	4	15.4	NaN			
5	5	16.1	NaN			
6	6	14.9	NaN			
7	7	14.1	NaN			
8	8	12.4	13.6			
9	9	13.5	13.6			
10	10	10.9	13.8			
11	11	11.3	14.0			
12	12	11.1	14.3			
13	13	10.4	14.5			
14	14	12.6	14.8			
15	15	16.8	15.2			
16	16	16.4	15.7			
17	17	17.5	16.1			
18	18	16.9	16.9			
19	19	18.9	17.7			
20	20	19.8	18.4			
21	21	19.1	19.2			
22	22	19.8	19.9			
23	23	19.8	20.3			
24	24	20.8	20.7			

Figura B.2: Primera columna corresponde a la semana, la segunda a la temperatura mínima y la tercera a la media móvil.

B.2. Suavizamiento de la serie.

El suavizamiento de la serie es una forma de visualizar la tendencia. Para poderlo realizar es necesario utilizar los datos con los que se cuenta originalmente (ver figura B.2) y definir una nueva serie que filtra (suaviza) los efectos ajenos a la tendencia de tal forma que sea posible observar la tendencia de la serie.

B.2.1. Media móvil

Es un método de suavizamiento que se utiliza para describir la tendencia. Consiste en fijar un número k , preferentemente impar, y calcular los promedios de todos los grupos de k términos consecutivos de la serie, obteniendo una nueva serie suavizada.

Por ejemplo, los datos de la temperatura mínima en el municipio de Armería que se presentan en la tabla de la figura, la primera columna corresponde a la semana, la segunda a la temperatura mínima y la tercera de ellas a la media móvil.

Semana t	$Y(t)$	$Z(t)$ media móvil de orden $k = 15$
1 - 7	$Y(1)$ a $Y(7)$	—
8	$Y(8)$	$Z(8) = \frac{Y(1)+Y(2)+\dots+Y(15)}{15}$
9	$Y(9)$	$Z(9) = \frac{Y(2)+Y(3)+\dots+Y(16)}{15}$
10	$Y(10)$	$Z(10) = \frac{Y(3)+Y(4)+\dots+Y(17)}{15}$
\vdots	\vdots	\vdots
203	$Y(203)$	$Z(203) = \frac{Y(196)+Y(197)+\dots+Y(210)}{15}$

Figura B.3: Obtención de la media móvil.

La media móvil se obtiene de la siguiente manera:

- Como la temperatura aumenta en la semana 15, se toma a $k=15$, lo que significa que se pierden $\frac{k}{2}$ términos de la serie, es decir 7 términos al principio y 7 al final;

así para $Y(8)$ se tiene entonces que son 7 términos al principio, es decir, $Y(1)$ a $Y(7)$ y 7 términos al final $Y(9)$ a $Y(15)$.

- La media móvil son los promedios que se obtienen como se presenta en la gráfica de la figura B.3. Para obtener los promedios se utiliza la hoja de cálculo con la instrucción `=PROMEDIO(B1:B15)` en la casilla 8 (ver figura B.2); posteriormente se arrastran los datos hasta la casilla 203.
- Finalmente se grafica y se observan los datos suavizados.

Apéndice C

Scilab

Scilab es un programa de acceso libre que se puede descargar de <http://www.scilab.org/>. Se encuentra disponible para varios sistemas operativos como Windows y Linux, dependiendo del gusto del usuario.

El programa se abre (ver figura C.1), posteriormente se debe cambiar a la carpeta donde se tienen los archivos con los datos que se desean graficar, presionando el botón que tiene la carpeta y aparece una nueva ventana que conducirá a la ruta de los archivos (figura C.2).

Una vez abierto el directorio es necesario abrir el archivo escribiendo `w=file('open', 'armep.dat', 'old')`, eso significa que en la variable `w` se guardará la información, `open` es para abrir el archivo (figura C.3). Después se introduce el comando `x=read(w,-1,5)`, nuevamente en `x` se guardará la información, `-1` es porque no sabemos cuántos datos tenemos y `5`, es el número de columnas que se tienen guardados. Aparecerán los datos que se tienen, si se quieren ver todos se oprime la letra `S`, si no simplemente se oprime `N`; puede ser en mayúsculas o minúsculas, el programa entiende las dos formas. Es bueno que se desplieguen los datos para verificar que los está leyendo bien, pero si no se quiere que se desplieguen se pone al final `"j"` es decir `x=read(w,-1,5)j`.

El siguiente paso es graficar, si se quiere por ejemplo la columna 5, que corresponde

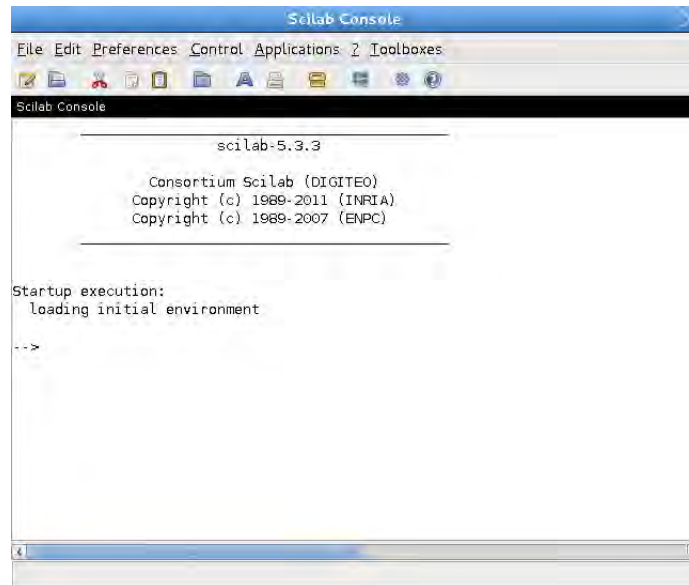


Figura C.1: Pantalla inicial del scilab.

a la temperatura mínima, se escribe el siguiente comando: `plot2d(x(:,1),x(:,5))`, la `x` es porque en ese sitio se guardó la información, los dos puntos es para que los grafique todos, el 1 corresponde a la columna 1, que son las semanas, y el 5 a la temperatura mínima, aparece la gráfica (figura C.4). Si se quiere graficar otra columna se escribe lo mismo pero ahora se varia la columna a graficar, por ejemplo si se quiere graficar la precipitación que es la columna 2, entonces se escribe `plot2d(x(:,1),x(:,2))` y la gráfica aparecerá sin borrar la ya existente (figura C.5).

Para poner el título, el nombre a los ejes, cambiar color, etc., en la ventana de la gráfica, se abre el menú Edit, opción “axes properties” y aparece un cuadro como en la figura C.6.

Si lo que se quiere es modificar el color de las gráficas se le da doble click a Compound(1) o Compound(2), por ejemplo se da doble click en Compound(1) y después en Polyline(1) en donde se puede modificar el color (figura C.7).

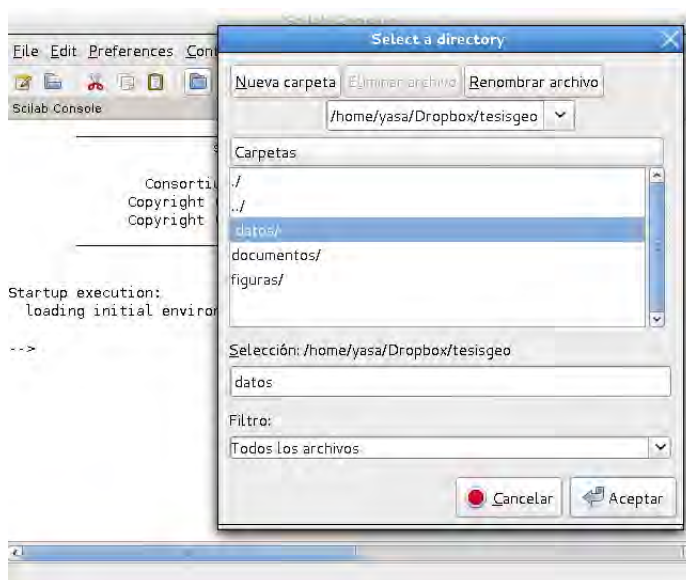


Figura C.2: Cambio de directorio.

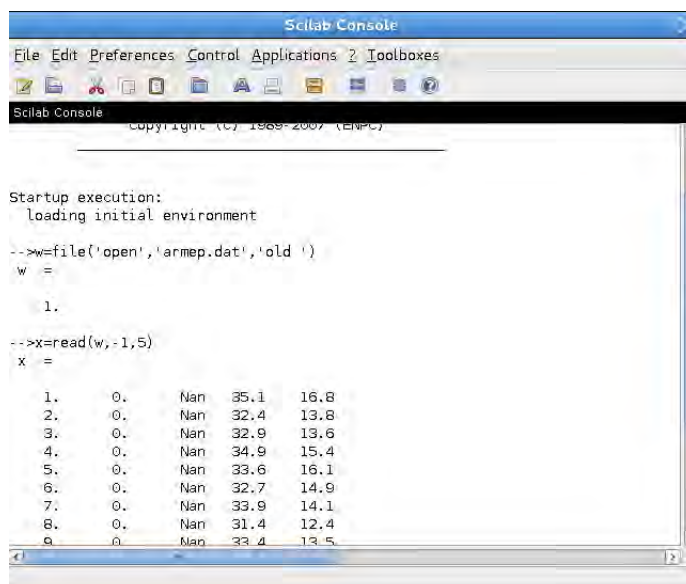


Figura C.3: Abrir el archivo y leerlo.

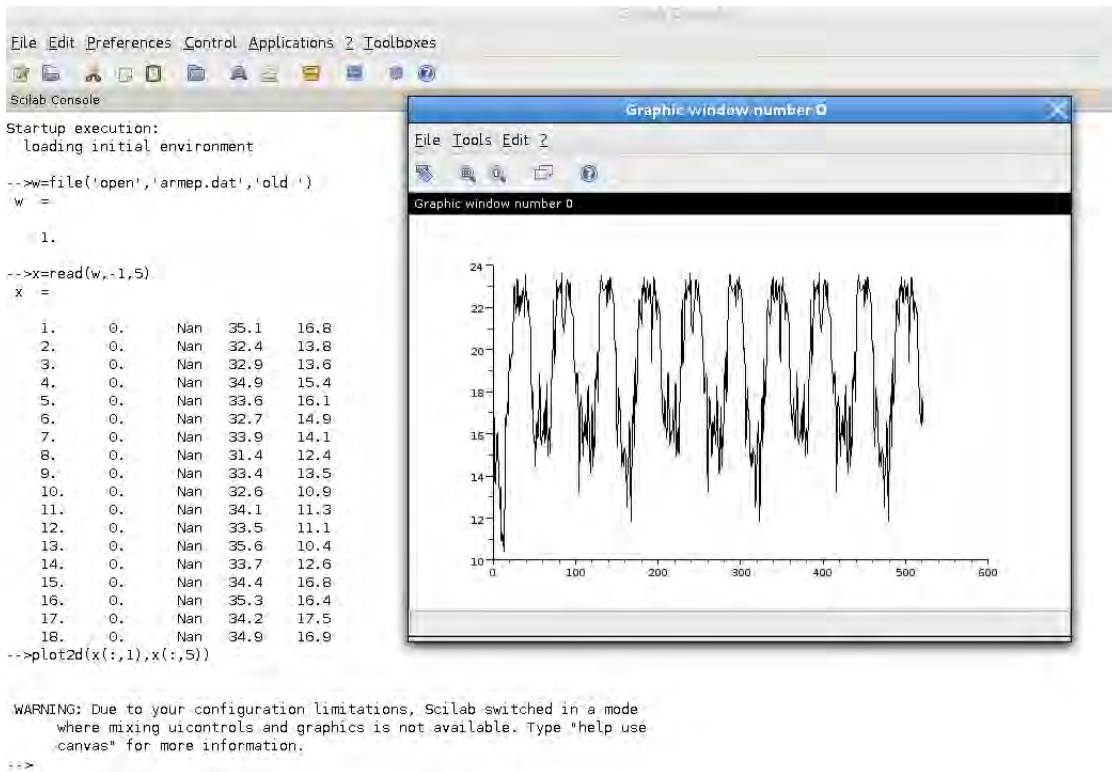


Figura C.4: Graficar semanas contra temperatura mínima.

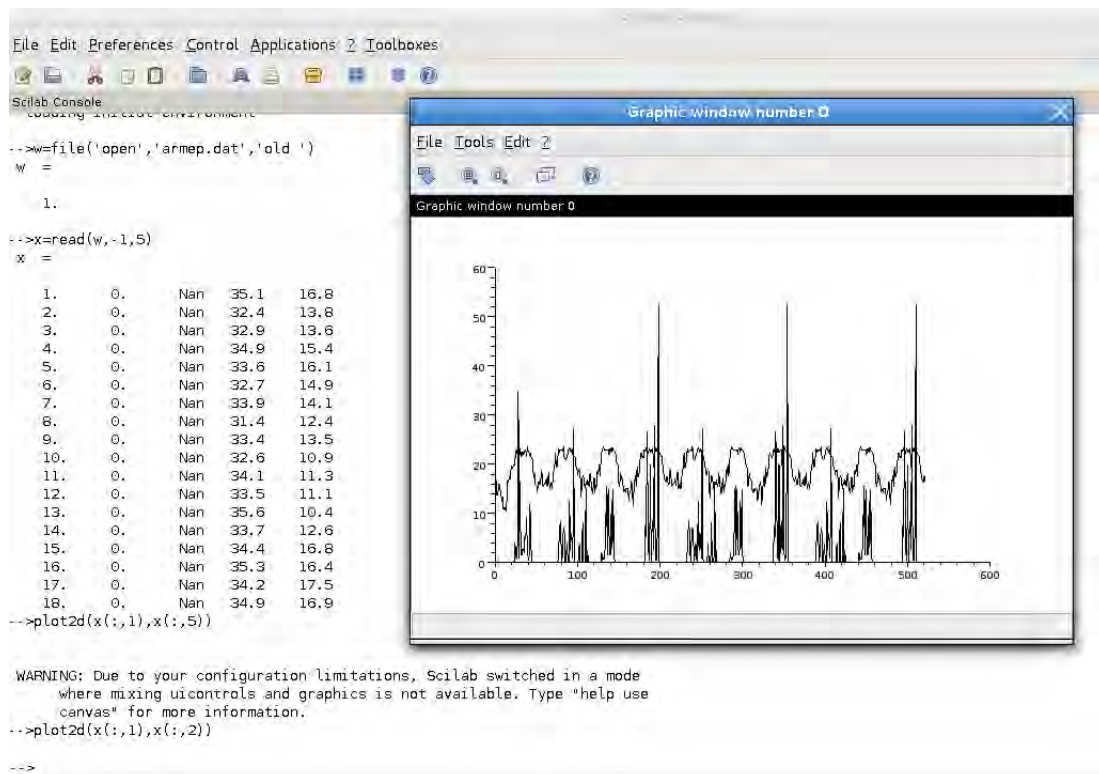


Figura C.5: Graficar semanas contra temperatura mínima y precipitación semanal.

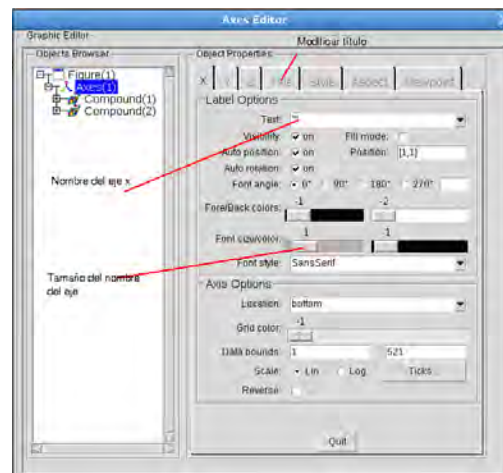


Figura C.6: Modificar título y ejes.

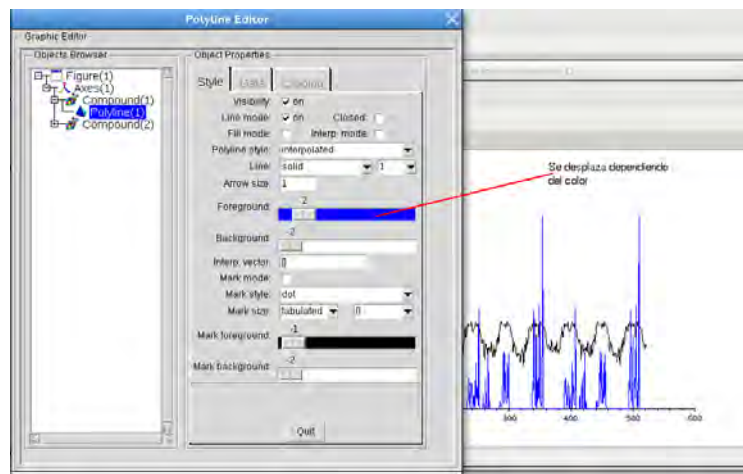


Figura C.7: Cambiar el color de la gráfica.

Apéndice D

Periodicidad

A simple vista se puede observar que los datos de temperatura mínima tienen forma periódica. Sin embargo hay una forma de corroborar esta periodicidad: sacando la transformada rápida de Fourier y encontrar las frecuencias que gobiernan el sistema.

Para este análisis se toma el caso de Armería. Observando la figura 2.2 se puede estimar que el periodo de la función “temperatura mínima” es de aproximadamente 50 semanas¹. La frecuencia y el periodo tiene una relación inversa, es decir:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{D.1}$$

donde T es el periodo².

La transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés) es un algoritmo que calcula la transformada discreta de Fourier pero optimizando los recursos informáticos y el tiempo de cálculo (Burden, 2002). Matemáticamente significa que se calcularán los coeficientes que representan a la función en un desarrollo en serie de funciones trigonométricas, es decir, aprovechando la ortogonalidad de las funciones seno y coseno, se puede representar cualquier función como una serie de Fourier, en la cual lo que caracteriza a la función

¹Se estiman 50 semanas, con la transformada rápida se tienen 55, un promedio entre estas dos es de 52.5.

²Para mayor referencia consultar (López-Sánchez, 2013)

son los coeficientes por los que se multiplican las funciones seno y coseno.

Así, si la función de la temperatura que se llamará $f(t)$ es periódica, se puede encontrar la frecuencia o frecuencias que la representan de la siguiente forma:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{2i\pi\omega_k t} \quad (\text{D.2})$$

donde las funciones trigonométricas se obtienen con la fórmula de Euler:

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta$$

con $i = \sqrt{-1}$ es el número imaginario unitario ³.

Se toman los datos originales, es decir, de la semana 1 a la 210 y se saca la FFT usando scilab, posteriormente se grafica y el resultado se muestra en la figura D.1.

En la figura D.1 se pueden apreciar dos picos, uno en $\omega \approx 0.04$ y otro en $\omega \approx 0.114$. Las figuras D.2 muestran un acercamiento a los picos.

Usando la ecuación D.1 para calcular los dos periodos se obtienen:

$$T_1 = \frac{2\pi}{0.038} = 165$$

y

$$T_2 = \frac{2\pi}{0.114} = 55.12$$

Esto significa que la función temperatura mínima tiene en realidad dos frecuencias, es decir, es periódica con dos periodos: 55 semanas y 165 semanas. El periodo de 55 semanas es congruente con lo observado a simple vista. Y el periodo de 165 semanas resultó porque si se ve a la función de manera completa, en realidad los tres periodos que aparecen en los datos originales se pueden ver como un sólo periodo; es decir, la masa de datos se repite cada 165 semanas.

Como un ejemplo analítico podemos graficar a la función seno de 0 a 6π (la gráfica se muestra en la figura D.3). Se sabe que el periodo mínimo de la función seno es 2π , sin

³Es importante aclarar que los números imaginarios no se consideran para los cálculos, debido a que físicamente no tienen sentido.

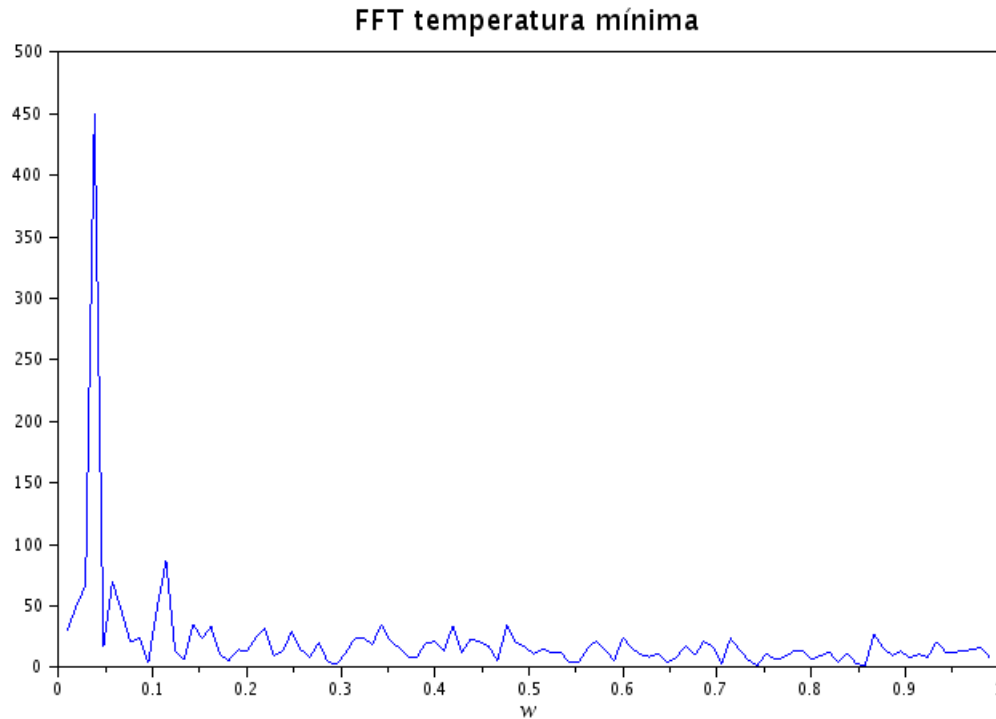


Figura D.1: Gráfica de la transformada rápida de Fourier de los datos de Temperatura mínima.

embargo esa función también tiene periodo 6π , de hecho tiene periodo $2n\pi$, siendo n un número natural. En este caso, el periodo mínimo de la función seno es 2π .

Así que en los datos originales esos dos periodos están relacionados porque uno es tres veces el otro y el periodo mínimo de la función temperatura mínima es 55 semanas. Por lo tanto, los datos tienen un comportamiento periódico.

D.0.2. Interpolación cúbica

La interpolación se usa cuando se conoce el valor de una función $f(x)$ en una serie de puntos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, pero no se conoce una expresión analítica de $f(x)$ que permita calcular el valor de la función para un punto arbitrario. Se realiza a partir de la construcción de una curva o superficie que une los puntos donde se han realizado las mediciones y cuyo valor sí se conoce (Burden, 2002).

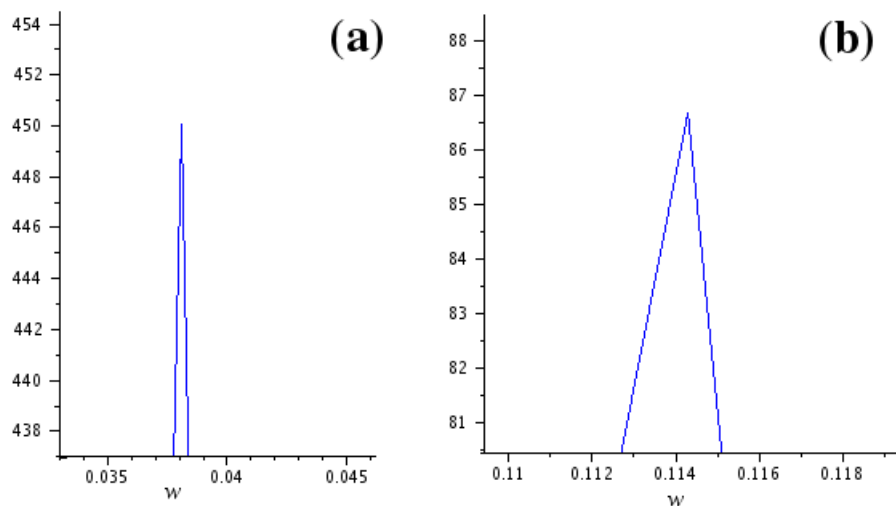


Figura D.2: Acercamiento para apreciar el valor de las frecuencias ω en la que se encuentran los picos.

El objetivo de los splines cúbicos es generar una función de interpolación que tenga una primera derivada suavizada y una segunda derivada continua, tanto dentro de los intervalos como en los puntos x_k . Un polinómico cúbico contiene cuatro constantes; entonces, se plantean cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, por ejemplo el caso de Armería (ver figura D.4), cuando se hace la media móvil, faltarían 7 datos al final y 7 datos al principio, entonces se conocen los puntos: $(202, 20.1)$, $(203, 19.6)$, $(218, 13.6)$ y $(219, 13.6)$ las ecuaciones que se plantean son las siguientes.

$$\begin{aligned}
 A(202)^3 + B(202)^2 + C(202) + D &= 20.1 \\
 A(203)^3 + B(203)^2 + C(203) + D &= 19.6 \\
 A(218)^3 + B(218)^2 + C(218) + D &= 13.6 \\
 A(219)^3 + B(219)^2 + C(219) + D &= 13.6
 \end{aligned}
 \tag{D.3}$$

Que se puede escribir como una matriz de la siguiente forma:

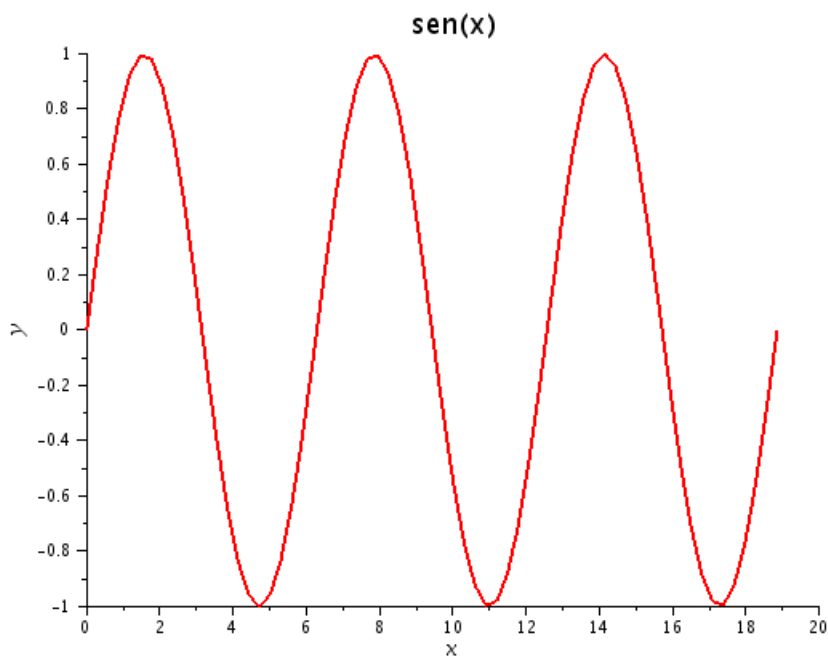


Figura D.3: Función seno.

$$\begin{pmatrix} 202^3 & 202^2 & 202 & 1 \\ 203^3 & 203^2 & 203 & 1 \\ 218^3 & 218^2 & 218 & 1 \\ 219^3 & 219^2 & 219 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 20.1 \\ 19.6 \\ 13.6 \\ 13.6 \end{pmatrix}$$

Con ayuda de Scilab se introduce la matriz M (figura D.5) y la matriz N , posteriormente se obtiene la inversa de M con la instrucción $inv(M)$ y se nombra como la matriz O y finalmente se multiplica $M * N = E$ donde E será el valor de las constantes de la ecuación D.4, en donde $A = 0.0011029$, $B = -0.6808824$, $C = 139.57463$ y $D = -9482.1434$.

Los valores se introducen en la hoja de cálculo en la semana 204, en la columna de la media móvil como: $= 0.00110294 * A204^3 - 0.680882 * A204^2 + 139.575 * A204 - 9482.14$ con el propósito de conocer esos valores desconocidos y de esa forma poder hacer la predicción (ver figura D.6).

	A	B	C	D	E
198	198	21.4	21.4		
199	199	22.3	21.0		
200	200	22.2	20.8		
201	201	21.7	20.5		
202	202	21.8	20.1		
203	203	19.9	19.6		
204	204	18.4	NaN		
205	205	17.2	NaN		
206	206	16.7	NaN		
207	207	16.4	NaN		
208	208	17.7	NaN		
209	209	16.6	NaN		
210	210	15.8	NaN		
211	211	16.8	NaN		
212	212	13.8	NaN		
213	213	13.6	NaN		
214	214	15.4	NaN		
215	215	16.1	NaN		
216	216	14.9	NaN		
217	217	14.1	NaN		
218	218	12.4	13.4		
219	219	13.5	13.1		
220	220	10.9	13.0		
221	221	11.3	13.0		

Figura D.4: Primera columna representa las semanas, la segunda la temperatura mínima y la tercera la media móvil.

```

Scilab Console
File Edit Preferences Control Applications ? Toolboxes
Scilab Console
-->M=[202^3 202^2 202 1; 203^3 203^2 203 1; 218^3 218^2 218 1; 219^3 219^2 219 1]
M =

      8242408.      40804.      202.      1.
      8365427.      41209.      203.      1.
     10360232.      47524.      218.      1.
     10503459.      47961.      219.      1.
-->N=[20.1; 19.6; 13.6; 13.6]
N =

      20.1
      19.6
      13.6
      13.6
-->O=inv(M)
Warning :
matrix is close to singular or badly scaled. rcond = 0.0000D+00
O =

: 0.0036765  0.0041667  0.0041667  0.0036765
: 2.3529412  2.6625  2.6  2.2904412
: 501.66544  566.73333  540.42083  475.35294
: 35630.978  40182.85  37417.975  32865.103
-->E=O*N
E =

      0.0011029
      0.6808824
     139.57463
    -9482.1434

```

Figura D.5: Muestra como se introduce una matriz en Scilab, como se obtiene su inversa y como se multiplica una matrial.

	A	B	C	D	E	F	G	H
198	198	21.4	21.4					
199	199	22.3	21.0					
200	200	22.2	20.8					
201	201	21.7	20.5					
202	202	21.8	20.1					
203	203	19.9	19.6					
204								
205	205	17.2	18.6					
206	206	16.7	18.1					
207	207	16.4	17.6					
208	208	17.7	17.0					
209	209	16.6	16.5					
210	210	15.8	16.0					
211	211	16.8	15.6					
212	212	13.8	15.2					
213	213	13.6	14.8					
214	214	15.4	14.4					
215	215	16.1	14.1					
216	216	14.9	13.9					
217	217	14.1	13.8					
218	218	12.4	13.6					
219	219	13.5	13.6					
220	220	10.9	13.8					
221	221	11.3	14.0					

Figura D.6: Muestra la forma en que se introducen los valores desconocidos de A, B, C y D en la hoja de cálculo en la columna de la media móvil.

Bibliografía

- S. ÁLVAREZ, E. GALINDO, M. GARCÍA. (2010) Dengue clásico y hemorrágico en la población de Monterrico, Santa Rosa, Guatemala; Informe final; Universidad de San Carlos Guatemala; Guatemala.
- M. ANGUIANO, M. AGUAYO, M. ÁLVAREZ, P. TORRES, A. LARA. (2011) Estrategia estatal de combate al dengue en Colima; Med Int Mex 2011;27(2):131-140
- J. K. BOWMAN. (2012) A Mathematical Model for Dengue Fever in a Virgin Environment; Senior Honors Projects. Paper 295. Disponible en: <http://digitalcommons.uri.edu/srhonorsprog/295>
- R. BURDEN, J. FAIRES. (2002) Análisis numérico; Thomson learning; séptima edición; México, D.F.
- J. CASTAÑEDA. (2006) La enseñanza de la geografía en México. Una visión histórica: 1821-2005; Plaza y Valdés, S.A. de C.V.; México.
- M. CHÁVEZ. (2010) Armería, dos etapas de su historia; Gobierno del Estado de Colima, Secretaría de Cultura; Colima, Colima.
- M. DEROUICH, A. BOUTAYEB, & E.H. TWIZELL. (2003) A model of dengue fever; Bio-Medical Engineering OnLine, 2:4; Disponible en: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/2/1/4>
- P. ESTÉBANEZ. (2005) Medicina Humanitaria; Díaz de Santos; España.

- C. FERREIRA, S. PINHO, L. ESTEVA. (2010) Modelling the dynamics of dengue real epidemics; Anais do CNMAC (congreso nacional de matemáticas aplicadas e computacional) vol 3; publicacao da SBMAC.
- M. P. GONZÁLEZ (2000) Análisis de series temporales, modelo ARIMA; Departamento de Economía Aplicada III (Econometría y Estadística), Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales; Universidad del país Vasco. ISBN 978-84-692-3814-1
- J. D. HAMILTON. (1994) Time series analysis; Princeton Univ. Press. USA.
- J. HELMERSSON. (2012) Mathematical Modeling of Dengue Temperature Effect on Vectorial Capacity; Universitet.
- L. IÑIGUEZ-ROJAS. (1998) Geografía y salud: temas y perspectivas en América Latina; Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 14(4):701-711, out-dez.
- J. THIRION. (2013) El mosquito Aedes Aegypti y el dengue en México; Bayer Environment Science; México.
- A. JIMÉNEZ-SASTRÉ, X. BOLDO-LEÓN, H. PRIEGO-ÁLVAREZ, E. QUEVEDO-TEJERO Y M. A. ZAVALA-GONZÁLEZ. (2012) Distribución geográfica de casos de fiebre de dengue en zonas anegadas de Villahermosa, Tabasco, México, 2010; Rev. Chil. Infect. 2012; 29 (1): 32-36.
- G. JORI. (2013) El estudio de la salud y la enfermedad desde una perspectiva geográfica: temas, enfoques y métodos; Biblio 3W, Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales; Universidad de Barcelona; Vol. XVIII, número 1029, 15 de junio de 2013.
- L. LÓPEZ, A. MUÑOZ-LOAIZA, G. OLIVAR-TOST, J. BETANCOURT-BETHENCOURT. (2012) Modelo matemático para el control de la transmisión del Dengue; Revista de Salud Pública, vol. 14, núm. 3, 2012, pp. 512-523; Universidad Nacional de Colombia; Bogotá, Colombia.
- E. J. LÓPEZ SÁNCHEZ. (2013) La Geografía vista desde las Matemáticas; Tesis de licenciatura en Geografía, abril 2013, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México.

- M. MANCHENO. (2001) No más problemas de salud causados por insectos: manual técnico para el control de malaria, dengue, chagas, Leishmaniosis y oncocerosis; Pax México; México, D.F.
- J. M. MARISCAL. (2005) Monografía de Ixtlahuacán; Gobierno del Estado de Colima; Secretaría de Cultura; Colima, Col.
- L. MOSQUERA, H. PEREA. (2006) Modelo matemático para la enfermedad del dengue; Boletín de Matemáticas; Nueva Serie, Volumen XIII No. 2; pp. 176–185; ISSN 0120-0380
- J. NARRO-ROBLES, H. GÓMEZ-DANTES. (1995) El dengue en México, un problema prioritario de salud pública. *Salud Pública de México*, 1995;37 supl:12-20.
- V. SÁEZ. (2004) Consideraciones sobre Geografía Médica: estudio de la ocurrencia de casos de dengue, período 1994-1997, Municipio Libertador del Distrito Capital; Terra Nueva Etapa, vol. XX, núm. 29, pp. 13-33; Universidad Central de Venezuela; Venezuela.
- M. V. SANTANA. (2009) Condiciones geográficas y de salud de la población del Estado de México; Tesis de doctorado en geografía; Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México; México.
- SECRETARÍA DE SALUD (2008) Programa de acción específico 2007-2008 Dengue; México, D.F.
- J. SALAZAR. (2004) Monografía Tecomán; Secretaría de Cultura; Gobierno del Estado de Colima; Colima, Col.
- SANTOS, M. (1986) Espacio y método. *Geocrítica. Cuadernos críticos de geografía humana*. Año XII, **65** Universidad de Barcelona, España. Sitio web: <http://www.ub.es/geocrit/goe65.htm>
- M. C. TRIFIRÓ. (1997) 6to encuentro de geógrafos de América Latina. Territorios en redefinición. Lugar y mundo en América Latina. Capítulo del libro: Consideraciones acerca de la actualidad de la Geografía de la Salud; Pablo Ciccolella (Coordinador);

Comisión Organizadora Nacional Inst. geografía, facultad de Filosofía y Letras; Universidad Nacional Buenos Aires; Buenos Aires Argentina.

Páginas de internet

BOLETÍN EPIDEMIOLÓGICO (1984-2014) Subsecretaría de Salubridad

<http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/boletin/>

Consultado en diciembre 2013.

BOLETÍN EPIDEMIOLÓGICO (1984-2014) Subsecretaría de Salubridad

http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/dgae/panodengue/historicos_dengue.html

Consultado en octubre 2013.

Boletín de la página oficial del municipio de Armería

<http://www.armeria.gob.mx/new/inician-campanas-de-descacharrizacion-para-prevenir-el-dengue-en-armeria-2230.aspx>

Consultada en febrero de 2014.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (2014) <http://smn.cna.gob.mx/>

[index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75)

folleto de Sector Salud disponible en: <http://promocion.salud.gob.mx/dgps/interior1/>

[programas/dengue_herramientas_12.html](http://promocion.salud.gob.mx/dgps/interior1/programas/dengue_herramientas_12.html)

INEGI (2014) <http://www.inegi.org.mx/>

video <http://www.youtube.com/watch?v=HryqyQduh8w>

imagen obtenida de: <http://www.interdomicilio.com.mx/blog/>

[la-importancia-de-fumigar-tu-hogar/](http://www.interdomicilio.com.mx/blog/la-importancia-de-fumigar-tu-hogar/)

UNIVERSIDAD DE COLIMA (2009) Programa de descacarrización

<http://cenedic.ucol.mx/noaldengue/udc.php>. Consultada en octubre 2013.

MAPA DE COLIMA <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/estados/>

libros/colima/html/sec_77.html. Consultada en octubre 2013.

Periódicos

Diario de Colima (2013) año 60, número 20, miércoles 16 de octubre; Colima, Col. Disponible en línea <http://www1.ucol.mx/hemeroteca/pdfs/161013.pdf>

Diario de Colima, hemeroteca. <http://www1.ucol.mx/hemeroteca/>
Consultado en noviembre 2013

Recursos en salud disponible en: <http://www.saludcolima.gob.mx/transparencia/CO-AFASPE-COL-2011.pdf> Consultada 3 de marzo 2014, página 6.

Monografía de Manzanillo disponible en: <http://www.manzanillo.gob.mx/2009/archivo/monografia.htm> Consultada en enero 2014