



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**

**COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE ENERGÍA**

**Estudio de la climatología y la posible correlación con el
consumo de energía eléctrica, en Quintana Roo
México.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
(ORIENTACIÓN EN ENERGÍA SOLAR)**

PRESENTA:

HÉCTOR ALONSO JIMÉNEZ OSORIO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera

Universidad Autónoma de la Ciudad de México

CODIRECTOR

Dr. Jorge González Cruz

University of Albany



Ciudad de México, marzo, 2023

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Integración del jurado

Presidente: Dr. Eduardo Armando Rincón Mejía

Secretario: Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera

Vocal: Dr. Manuel Antonio Corona Sánchez

1er. Suplente: Dr. Edgar Vicente Torres González

2do. Suplente: Dr. Jorge González Cruz

Lugar donde se realizó el posgrado:

PLANTEL DEL VALLE, UACM.

DIRECTOR DE TESIS:



Dr. Álvaro Eduardo Lentz Herrera
(Universidad Autónoma de la Ciudad de México)

CODIRECTOR DE TESIS:



Dr. Jorge González Cruz
(University of Albany)

Agradecimientos

La motivación para este escrito ha sido mi familia, en especial a mis padres Dominga Osorio Osorio y Agustín Jiménez Pérez que me han forjado hacer una persona con logros y anhelos, además a mis hermanos y amigos por el apoyo durante los años en mi estancia universitaria, ya que sin ellos no hubiese terminado con éxito esta etapa. Por otro lado, agradezco el apoyo de mis profesores por sus consejos en todo momento para el desarrollo de esta obra, al doctor Álvaro Eduardo Lentz Herrera y al doctor Jorge González Cruz por la colaboración y el apoyo para la terminación de este proyecto.

Reconozco a mi casa de estudios, la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por brindarme la facilidad de desarrollarme profesionalmente. También al maestro Luis René Sagredo Hernández, excoordinador de ciencia y tecnología, por el préstamo del aula C-401 para la construcción de este proyecto. De igual forma, a Claudia Laura Chávez Correa, asistente académico del Programa de Energía, que estuvo motivándome en seguir adelante y dándome consejos para conseguir mis objetivos.

Finalmente, en estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento por el sustento brindado a través del proyecto de investigación No. 263488 “Diseño e Instalación de un laboratorio de pruebas y certificación para colectores solares destinados al calentamiento de agua” del fondo sectorial CONACYT-SENER.

Contenido

Integración del jurado	1
Agradecimientos	2
Índice de Figuras.....	5
Índice de Tablas	7
Resumen.....	8
Capítulo 1. Introducción.	9
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Justificación.	15
1.3 Metodología.	16
1.4 Estructura de tesis	17
1.5 Hipótesis.	18
1.6 Objetivos.....	18
1.6.1 Objetivo general.....	18
1.6.2 Objetivos específicos.	18
Capítulo 2. Marco Teórico.....	18
2.1 ¿Qué es la climatología y la meteorología?	19
2.1.1 Meteorología.....	19
2.1.2 Climatología.....	20
2.2 Estación meteorológica.....	24
2.2.1. Sistema CLImate COMputing project (CLICOM).....	24
2.2.2. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	26
2.3 Cambio climático.....	27
2.3.1 Gases de Efecto invernadero.....	28
2.4 Sistema de Información Energética (SIE)	30
2.5 Geografía y población en el estado de Quintana Roo.....	31

2.5.1 Desarrollo del sector energético por tecnología en México.	39
2.5.2 Progreso en el sector energético en Quintana Roo.	43
2.5.3 Consumo de energía eléctrica en el estado de Quintana Roo.	48
Capítulo 3. Estadística descriptiva.	51
3.1 Regresión lineal simple.	51
3.1.1 Requisitos y lineamientos para la técnica de la regresión lineal.	53
3.2 Correlación lineal.	53
3.2.1 Propiedades y características de la correlación lineal.	54
3.3 Prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada (χ^2).	56
3.4 ¿Qué es el golpe de calor?	59
3.5 Confort térmico y sensación térmica.	62
Capítulo 4. Análisis de los resultados.	65
4.1 Prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada en las variables estudiadas.	65
4.2 Correlación entre las variables de temperatura y el consumo de electricidad.	66
4.3 Grados de tendencia para las variables de temperatura máxima y mínima de diez zonas estudiadas.	67
4.4 Estudio de la sensación térmica en la localidad de Cancún por épocas del año.	76
4.5 Estudio de la sensación térmica en el municipio de Cozumel por épocas del año.	80
4.6 Estudio de la sensación térmica en la localidad de Chetumal por estaciones del año. ...	83
4.7 Estudio de la sensación térmica en el municipio de Felipe Carrillo Puerto por estaciones del año.	87
Capítulo 5. Conclusiones	90
Bibliografía	95
Sitio de Internet.	99
Anexo 1. Cantidades totales de generación de energía eléctrica por tecnología en México, (GWh).	i

Anexo 2. Cantidades totales de capacidad de energía por tecnología en México, (MW).	i
Anexo 3. Algoritmo en MATLAB para el cálculo del grado de tendencia y la prueba de bondad de ajuste chi cuadrada.	ii
Anexo 4. Algoritmo en MATLAB para el cálculo de la correlación estadística.	iv

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema del procesamiento de los datos.	16
Figura 1.1 Diagrama del desarrollo de la presente tesis.	17
Figura 2.1 Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental captando topes de nubes en la región Norte de México, CONAGUA.	20
Figura 2.2 Sistema CLICOM, página de descarga de datos climatológicos.	21
Figura 2.3 Curvas de la radiación y la temperatura del aire.	22
Figura 2.4 Representación gráfica de la ecuación de Clausius-Clapeyron.	23
Figura 2.5 Estación meteorológica compacta de la marca Vaisala.	24
Figura 2.6 Página web de CLICOM.	25
Figura 2.7 Página web de SMN.	26
Figura 2.8 Evolución de las temperaturas registradas en el hemisferio norte en un periodo de 120 años.	27
Figura 2.9 La variable de temperatura, respecto a 1850 hasta 2018.	29
Figura 2.10 Sitio web del sistema de información energética (SIE).	30
Figura 2.11 Localización del espacio territorial de Quintana Roo.	31
Figura 2.12 Población del estado de Quintana Roo.	33
Figura 2.13 Localización de las reservas de áreas naturales.	34
Figura 2.14 Centros y zonas turísticos del estado de Quintana Roo.	35
Figura 2.15 Representación gráfica de la participación de la generación total de electricidad por tecnología en México.	43

Figura 2.16 Representación gráfica del progreso de la capacidad bruta de energía en Quintana Roo, en un periodo de 2002 a 2017.	44
Figura 2.16 Representación gráfica del progreso de la generación total de energía eléctrica en Quintana Roo, en un periodo de 2002 a 2017.	45
Figura 2.17 Representación gráfica del crecimiento de usuarios con electricidad en Quintana Roo, en un periodo de 2002 hasta 2019.	46
Figura 2.18 Representación gráfica del progreso de las ventas totales de electricidad, en un periodo de 2002 hasta 2019.	47
Figura 2.19 Representación gráfica de los datos de consumo de energía eléctrica del estado de Quintana Roo, México, en un periodo de 2002 hasta 2017.	49
Figura 2.20 Representación gráfica del consumo de electricidad per cápita del estado de Quintana Roo, en un periodo del 2000 hasta 2020.	50
Figura 3.1 Relación lineal positiva.	52
Figura 3.2. Algunas distribuciones de χ^2 en grados de libertad (gl).	57
Figura 3.3 Regiones de variables de rechazo.	59
Figura 3.4 Diagrama de regulación de la temperatura corporal.	60
Figura 3.5 Índices de Calor.	63
Figura 4.1 a) Tendencias de temperatura máximas para el mes de julio. b) Tendencias de temperatura máximas para el mes de agosto.	71
Figura 4.2 c) Tendencias de temperatura máximas para el mes de enero. d) Tendencias de temperatura máximas para el mes de febrero.	72
Figura 4.3 a) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de julio. b) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de agosto.	73
Figura 4.4 c) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de enero. d) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de febrero.	74
Figura 4.5 a) Tendencias de temperatura mínima en un periodo 1990 hasta el 2018. b) Tendencias de temperatura máximas en un periodo de 1990 hasta el 2018.	76

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Interpretación de las categorías de correlación lineal.	55
Tabla 4.1 Pruebas de bondad de ajuste para las variables de temperatura máximas y mínimas.	66
Tabla 4.2. Correlación entre el consumo de energía eléctrica y las temperaturas máximas y mínimas.	67
Tabla 4.3 Grado de tendencias para las variables de temperaturas máximas por mes.	68
Tabla 4.4 Grado de tendencias para las variables de temperaturas mínimas por mes.	70
Tabla 4.5 Grado de tendencias para las variables de temperaturas máximas y mínimas.	74
Tabla 4.6 Sensación térmica en la estación de primavera.	77
Tabla 4.7 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.	78
Tabla 4.8 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.	79
Tabla 4.9 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.	80
Tabla 4.10 Resultados de la sensación térmica en la estación de primavera.	81
Tabla 4.11 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.	81
Tabla 4.12 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.	82
Tabla 4.13 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.	83
Tabla 4.14. Resultados de la sensación térmica en la época de primavera.	84
Tabla 4.15 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.	85
Tabla 4.16 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.	86
Tabla 4.17. Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.	87
Tabla 4.18 Resultados de la sensación térmica en la estación de primavera.	87
Tabla 4.19 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.	88
Tabla 4.20 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.	89
Tabla 4.21 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.	90

Resumen

El desarrollo de este trabajo es sobre el estudio climatológico de diez regiones en las costas del estado de Quintana Roo, el objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento de los cambios ambientales observados recientemente en el Caribe Mexicano, de igual forma se pretende lograr un análisis de los aumentos de temperatura en la superficie del mar que atribuyen al calentamiento global.

Con diez estaciones meteorológicas del estado de Quintana Roo, se han recolectados datos históricos de temperatura máxima y mínima durante un periodo de 28 años, además se han obtenido los datos históricos de consumo de energía eléctrica en un periodo de 2002 hasta 2017.

Para estas variables se busca el grado de correlación, con este coeficiente se podría expresar si la causa del consumo de energía eléctrica es por las altas o bajas temperaturas. Se procura obtener el grado de tendencia anual con el conjunto de datos de la variable temperatura, es decir, que tanta temperatura aumenta o disminuye en cada año, estos resultados se pueden utilizar para realizar los mapas en el software ArcGIS para representar de forma gráfica los grados de tendencias anuales de las regiones estudiadas.

Con el método estadístico de prueba de ajuste de bondad Chi cuadrada, se podrán utilizar todos los datos históricos para comprobar si estos son estadísticamente significativos; o bien, no lo son, de manera que, esto significa, si las variables dadas representan razonablemente los valores que uno esperaría encontrar.

Finalmente, con la recolección de los datos históricos de humedad relativa y temperatura, se obtendrá el cálculo de la sensación térmica, con ello se dará un estudio de los índices de calor, así como la clasificación de los síntomas médicos que pueden afectar al ser humano.

Capítulo 1. Introducción.

El cambio climático es el resultado de la interacción entre varios factores, una pequeña modificación altera todo el sistema, para que el ser humano se adapte a un clima diferente se necesita saber cómo está cambiando el clima a nivel global; según los expertos, en la superficie terrestre se ha elevado hasta 1.5 °C la temperatura media del aire, este fenómeno de aumento de temperatura también es observada en los estados de la república mexicana. Es de gran importancia la fragilidad al cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos en el Caribe, está relacionada con un rápido aumento de la temperatura de la superficie del mar, la temperatura del aire y la escasez de agua. Tal como lo plantean: (Pokhrel, Ortiz, Ramírez Beltran, & González, 2019), se ha detectado un calentamiento regional para el Caribe durante los años de 1982 hasta 2013, donde la temperatura de la superficie del mar tuvo una tendencia anual de 0.0209 °C por año. Para los autores, toda la región del Caribe y Mesoamérica, se reportaron 144 eventos de calor extremo durante 1980 hasta 2014, de los cuales se registraron 11 eventos para San Juan, Puerto Rico. En esta ciudad costera tropical, se notaron efectos de isla de calor urbano durante la estación seca del Caribe en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, la temporada de lluvia temprana en los meses de abril, mayo, junio y julio y durante la temporada de lluvia tardía en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Los investigadores demostraron que la cobertura del suelo urbano generó un flujo de calor sensible de más de 70 W/m² durante un evento de isla de calor urbano. Así también, con los datos del Aeropuerto Internacional de San Juan de la isla de Puerto Rico, resultó un índice de malestar humano que alcanza un valor máximo positivo de 0.7 y un valor mínimo de 0.1, además con una energía por persona correspondiente a los 9 kWh por día y 1.3 kWh por día. Con estos datos recolectados, la temperatura como el índice de incomodidad humano mostraron un coeficiente de regresión muy alto, donde el índice de malestar humano tuvo un valor máximo de 0.42 a 0.6, con una energía por persona correspondiente a los 5.5 a 7.8 kWh por día, estos resultados son requeridos para mantener el interior en una zona de confort. Ellos consideran que, para un evento de ola de calor, la energía por persona es de un 21% más alto que en los días normales. Además, el efecto de islas de calor urbano alcanza su punto máximo a un valor de 2.5 °C durante un evento de ola de calor; y también en una ubicación urbana corresponde a un aumento del índice de malestar humano en un 12 %.

Por otra parte, según el análisis de los investigadores: (Angeles Malaspina, González Cruz, & Ramírez Beltran , 2018), la climatología de la región intra-americana evoluciona con una temperatura promedio en la superficie del mar de 25.7 °C, esto ocurre solo en la época seca.

Además, se presenta un intenso calentamiento en la superficie del océano en las temporadas de lluvias tempranas, con un promedio estacional de 27.3 °C. En las temporadas de lluvias tardías, la temperatura superficial del mar alcanza su valor máximo en el mes de agosto con un valor de 28.3 °C. Así, el calentamiento estacional del océano se traduce en una piscina de agua tibia que se extiende hasta el conjunto de islas de las Antillas Mayores e incluso más allá. Esta piscina cálida estacional mejora la evaporación, aumentando el contenido de humedad en la atmósfera con los valores más altos en la temporada de lluvias tardías. Sin embargo, en el conjunto de islas de las Antillas Mayores y Menores, Yucatán en México y la costa del Caribe Suramericano son áreas con demasiada precaución, debido a que, el índice de calor oscila entre los 29 y 32 °C. Para las costas de América Central y México junto con el interior de América del Sur, el índice térmico entre los 26 y 29 °C denota un área de precaución baja. Por otro lado, sobre América Central existe una advección cálida de 0.3×10^{-5} a 1.2×10^{-5} °C/s, en la zona del Golfo de México se tiene un rango de 0 a 0.3×10^{-5} °C/s, y en el sur de Estados Unidos y al norte de Cuba se captó una advección de 0 a 0.3×10^{-5} °C/s. Estos indicadores convierten la región intra-americana en un área de alta precaución por golpe de calor por agotamiento.

Los autores nos mencionan que en la zona intra-americana la evolución temporal del número total de olas de calor se dio durante los últimos 68 años, por lo que el número bajo de olas de calor se presentaron en los primeros 51 años con un promedio de 28 eventos. Desde 1999, el número de las olas de calor han aumentado de manera acelerada, este crecimiento está relacionado con el fortalecimiento de los índices de calor, debido a la conjunción de la disminución de la presión a nivel del mar, la advección de frío cálido y débil e incluso la intensificación del aire descendente. Durante el primer período de 1948 hasta 1998, el número bajo de olas de calor se concentra en el sur de América Central y el Caribe, costa de América del Sur con 2 a 6 eventos, mientras en México se identificó con un mayor número de olas de calor, entre 10 a 14 eventos y en el norte de Centroamérica con 10 a 16 eventos; por el contrario, en el Caribe se caracteriza por ser una región sin eventos de olas de calor. En el segundo período durante 1999 hasta 2015, el mayor cambio en el número de olas de calor se enfoca en las Antillas Mayores y Menores con un incremento de 8 y 14 eventos. La segunda área más afectada envuelve a Guyana, Surinam y la Guayana Francesa en América del Sur con un aumento de 2 a 10 eventos. En Centroamérica y México representan una región con una reducción del número de olas de calor entre -12 y cero eventos. La temporada más cálida se caracteriza por un área de alta precaución para el estrés por calor que abarca la región del Caribe, así como Yucatán en México y la costa caribeña de América del Sur. Esta gran área está

de acuerdo con la expansión de la temporada de piscinas cálidas, por la disminución de la presión a nivel del mar, después del proceso de retroalimentación de la temperatura de la superficie del mar, por el viento y la evaporación. Asimismo, se identificó una alteración climática significativa en el año 1998, con un aumento acelerado de la temperatura del aire y del índice de calor, con una tasa positiva de 0.03 °C y 0.07 °C por año, respectivamente. Así pues, los autores proyectaron eventos masivos de olas de calor en toda la región, particularmente en Centroamérica, México y el norte de Sudamérica. Además, hay una variación tanto en el número de olas de calor como en la forma de distribución de amplitud máxima, con el máximo índice térmico desplazado con un intervalo de 36 a 38 °C. De tal manera, que las implicaciones socioeconómicas de estas proyecciones para la región pueden ser significativas en términos de salud humana y en la demanda de energía.

Para darle más impulso al artículo anterior, se ha agregado una publicación con los autores: (E. Angeles, E. González, & Ramírez, 2017), donde señalan que la climatología es de tal importancia de la región intra-americana, ya que es una zona con las altas montañas en el sur de México, América central y el norte de América del sur, además la temperatura de la superficie del mar presenta aumentos superiores a 0.15 °C por década. En esta región se tiene un aumento acelerado de la temperatura del aire que podría afectar con la demanda de energía per cápita para quienes viven en edificios. La climatología en el Caribe, muestra un aumento de la temperatura de la superficie del mar y está por encima del umbral de convección de los 26 °C. El análisis planteado en esta investigación, los autores utilizaron series de tiempo anual de la temperatura de la superficie del mar para la región intra-americana, por lo que se obtuvo como resultado una tendencia de calentamiento regional de 0.01 °C por año. Las áreas con índice de calor máximo con un rango de 28 a 32 °C, se presentaron en las Antillas Mayores, el litoral caribeño de América del Sur, el litoral de América Central y la península de Yucatán, de modo que estas regiones son de precaución, donde la insolación, el agotamiento por calor o la fatiga podrían afectar la salud de la población. La demanda de energía per cápita mensual se ha promediado en un periodo de 1980 hasta 2013 sobre toda la región intra-americana, alcanzando los 169 kWh per cápita. Asimismo, la demanda de energía per cápita anual para el consumo de energía para calefacción, ventilación y aire acondicionado, también fue promediado a través de la zona intra-americana indicando un valor de 1608.5 kWh por año. En el noreste de México se caracteriza por tener una baja demanda de energía per cápita o incluso nula, debido a que la elevación de la Sierra Madre Oriental tiene una latitud de 3700 m sobre el nivel del mar, mientras que la península de Yucatán tiene demandas energéticas

similares a las Antillas Mayores alta, en un rango de 150 a 200 kWh por mes. En el Centro de México presentan tendencias significativas, que van desde los 2 hasta los 4 kWh por año. Las proyecciones futuras de la demanda ambiental de energía al norte y el sur de México se identifican por menores incrementos de demanda de energía per cápita de 10 kWh por mes.

Por lo que se refiere al artículo publicado por: (González, Georgescu, Lemos, Hosannah, & Niyogi, 2017), los países que están cerca del Golfo de México y el Mar Caribe están expuestos a los efectos de cambio climático global, de manera que en esta región los investigadores la consideran como un punto caliente, debido a su sensibilidad a los efectos climáticos. De esta forma la región experimentó una tendencia acelerada de calentamiento en las temperaturas de la superficie del mar durante 30 años, estos aumentos intensos fueron conducidos durante la temporada de lluvias. Con este estudio deducen que puede provocar tormentas tropicales, además, si existe un calentamiento excesivo adicional se pueden presentar crestas de alta presión, por lo que podrían incitar las olas de calor que tendrían consecuencias en lo social y económico.

Así pues, para entender e interpretar las tendencias de calentamiento que se han identificado en esta investigación, se ha incluido esta publicación, donde señalan: (Glenn, Comarazamy, González, & Smith, 2015), las temperaturas de la superficie del mar están aumentando anualmente en 0.015°C para el Caribe y la región circundante, esto es significativo en un 95% a nivel de confianza, debido al valor p con un resultado de 6.69×10^{-6} , estos indicadores son obtenidos durante un periodo de 30 años. La tendencia de la temporada de precipitaciones tempranas muestra un aumento en las temperaturas de la superficie del mar con una tasa anual de 0.0161°C , con un valor p de 1.75×10^{-5} , esto significa que es estadísticamente significativo en un 95% a nivel de confianza. En la temporada de lluvias tardías se muestra un aumento en las temperaturas de la superficie del mar con un ajuste anual de 0.0209°C , con un valor p de 7.3×10^{-7} , por lo que es estadísticamente significativo a un 95% a nivel de confianza. El análisis subregional reveló que, durante las dos temporadas de lluvias, el calentamiento es mayor en el Golfo de México y al norte de América del Sur. Esta observación tiene implicaciones importantes para el desarrollo de tormentas tropicales y huracanes. Aunque estas áreas reflejan mayores aumentos en comparación con el resto de la región, los cambios en las temperaturas de la superficie del mar en toda la región son estadísticamente significativos al 95%. La estación seca muestra un incremento de 0.00770°C , pero se encontró que la tendencia no es significativa, debido a que el valor p es de 0.07. Los escritores al utilizar el método de correlación estadística, en la región cálida de la temporada de lluvias tempranas que se manifiesta en el Golfo de México, se determinaron correlaciones de 0.45 y 0.41, con desfases de 2

a 8 años y una correlación negativa de 0.40, con desfase de 1 año. Existen similitudes entre las tendencias globales de la temperatura de la superficie del mar y está en la región intra-americana, donde se deduce que el calentamiento regional parece estar ocurriendo más rápido, ya que la tasa global anual se presenta con un valor de 0.011 °C.

No obstante, como se ha mencionado en los informes recientes, se ha señalado que existe un aumento acelerado de las temperaturas en la superficie del mar en el Golfo de México y el Mar del Caribe, principalmente por el calentamiento global, esto puede influir en el clima en los municipios y localidades del estado de Quintana Roo. Este calentamiento regional podría tener enormes implicaciones en las variables meteorológicas locales, tales como los cambios en las máximas y mínimas tendencias de temperatura que causan posibles atmósferas más cálidas y además que asocian los incrementos en el consumo de energía eléctrica; o bien las causas de los eventos de golpe de calor. Con la investigación se pretende realizar un estudio del comportamiento de la variable temperatura en el estado de Quintana Roo, de igual manera un análisis de la correlación estadística entre la variable de consumo de energía eléctrica; y con las frecuencias de humedad relativa obtener los indicadores más elevados de la sensación térmica por época del año, dado que esta información podría utilizarse para observar las condiciones y los efectos que se pudiera presentar en las zonas de estudio, con ello quizás se podría deducir el trastorno de los golpes de calor en los habitantes que viven en la zona.

De las diez regiones de estudio, la localidad de Cancún es uno de los territorios de suma importancia, debido a que es una zona turística, con la estación meteorológica de la localidad se obtuvieron los datos históricos de temperatura, humedad relativa y consumo de energía eléctrica. Con las frecuencias de temperaturas máximas y el consumo de electricidad se presentó un grado de correlación débil del 25.4%, para los datos mínimos de temperatura se logró un grado de correlación débil del 37.37%, estos valores porcentuales deducen que el consumo de energía eléctrica es a causa de las variaciones de temperatura. Con la manipulación de los datos de temperatura se alcanzó un grado de tendencia anual máxima y mínima negativa de -0.0619 y -0.0113, respectivamente. Estas cantidades mencionadas indican que en el territorio de Cancún durante un periodo de 28 años estuvo descendiendo la temperatura.

Para los datos máximos de humedad relativa y temperatura, el día 02 de abril de 2009 se presentó la mayor sensación térmica con un valor de 40.98, ese día se registró una temperatura máxima de 29.9 °C y una temperatura mínima de 25.1 °C. El elevado índice térmico explica que ese día se obtuvo una categoría dos con clasificación caliente, causando síntomas de insolación, calambres,

agotamiento con exposición prolongada y actividad física. En cuanto a la temperatura máxima captada se puede decir, que es probable que algunas personas padecieron los trastornos de golpe de calor. Ahora bien, los datos mínimos de humedad relativa y temperatura, el día 23 de marzo de 2010 se obtuvo un índice de calor mínimo de 33, así también se reportó una temperatura mínima de 12.3 °C y una temperatura máxima de 27.3 °C, para los valores encontrados se puede mencionar que en esta fecha se presentó una clasificación caliente, la cual significa que posiblemente las personas padecieron los síntomas de insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física. En relación con los golpes de calor se podría deducir que tal vez algunas personas tuvieron este trastorno a causa de la elevada temperatura.

A continuación, se presenta la investigación de diez regiones de Quintana Roo, las cuales conllevan a un estudio estadístico con las variables meteorológicas adquiridas por sus estaciones meteorológicas, así como con los datos históricos del consumo de electricidad.

1.1 Planteamiento del problema.

El cambio climático en nuestro planeta es uno de los problemas ambientales irreversibles que se vive hoy en día. En México cada año se experimentan cambios climatológicos por diversos factores contaminantes provocados por los gases de efecto invernadero (GEI), como, por ejemplo, los tiraderos de basura, tala de árboles, el mal uso de los suelos quema de combustibles fósiles y los desechos tóxicos del sector industrial. Esto ocasiona el aumento o la disminución de la temperatura del aire y estos cambios pueden causar los incrementos en el consumo de energía eléctrica.

En esta tesis se plantea recopilar datos de la variable temperatura y humedad relativa por medio de las estaciones meteorológicas existentes en el sistema CLimate COMputing project (CLICOM) y en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así también se debe obtener la recolección de los datos de los consumos de energía eléctrica por la Secretaría de Energía (SENER). Dicho esto, para los problemas a resolver, se plantean los siguientes métodos estadísticos, tal como: la tendencia anual, la correlación estadística y la sensación térmica. Para la correlación estadística se intenta conseguir el análisis, interpretando la asociación entre las variables del consumo de energía eléctrica y la variable de temperatura, con los resultados obtenidos se podría deducir que el consumo de energía eléctrica depende del incremento y el decremento de la temperatura.

Con el estudio de los datos mínimos y máximos de temperatura se pretende analizar la tendencia anual, es decir, los resultados logrados pretenden explicar el comportamiento de las variaciones de

la temperatura por cada año, además se podrá observar los cambios y efectos en las zonas estudiadas. En cuanto a la sensación térmica, se conseguirá exponer el análisis de las medidas calculadas. Se procura adquirir la categoría, la clasificación y el rango de índice de calor por estación del año. Para los indicadores se tendrá que seleccionar el tipo de síntoma que podría afectar al ser humano. Por último, conviene subrayar que la interpretación de los resultados será presentada con el método de estadística descriptiva, el cual se podrá utilizar gráficas y tablas para las regiones de estudio de la entidad federativa.

1.2 Justificación.

La presente investigación se enfoca en varios estudios estadísticos, como la regresión lineal, la correlación lineal, la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada y la sensación térmica. De acuerdo con los resultados de la regresión lineal se pretende descubrir el comportamiento de aumentos y disminución de la temperatura que existe en las zonas estudiadas, es decir, se intenta obtener el grado de tendencia anual de los datos históricos, además en base a la observación se puede mencionar los efectos de las variaciones de temperatura en el estado de Quintana Roo. Con la aplicación de la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada se requiere comprobar si los datos de temperatura obtenidas por estaciones meteorológicas son homogéneas y estadísticamente significativos, esto es para la aplicación de los cálculos estadísticos y evitar los errores, esto dará confianza en el procesamiento de los datos. Para el estudio de la correlación estadística se debe aplicar la combinación entre los datos de consumo de energía eléctrica y las frecuencias de temperatura tomadas por las diez regiones de la entidad federativa. La importancia de este método estadístico cuantitativo es indicar el grado de relación entre las variables de estudio, esto pretende comprobar que los cambios de temperatura existentes dependen para el consumo de energía eléctrica, es decir, que, en estos lugares con aumentos de temperaturas, la población puede utilizar ventiladores para impedir los síntomas por aumento de calor; o bien si hay un decremento en la temperatura, la población podría utilizar dispositivos de calefacción. Por lo tanto, con los efectos de la temperatura causarían consumos de energía eléctrica. En cuanto a la sensación térmica, nos facilita una medida entre el conjunto de datos de humedad relativa y temperatura, con los indicadores se pueden clasificar los síntomas médicos que afectan al ser humano, para ello se debe tomar en cuenta una tabla con los rangos de índice de calor que nos revela la NOAA, (La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica).

1.3 Metodología.

En la investigación se pretende alcanzar los objetivos mencionados para obtener un resultado satisfactorio mediante un análisis estadístico descriptivo, el enfoque metodológico es de una técnica cuantitativa, debido a que se utilizan números con la interpretación de gráficas y tablas. Se programó una planificación de diez meses y medio para recolectar los datos históricos de temperatura, humedad relativa y consumo de energía eléctrica. En el caso de las variables de temperatura y humedad relativa se eligieron diez estaciones meteorológicas de la base de datos de los sistemas de CLICOM y CONAGUA, los cuales se optaron solamente las que se ubican en el estado de Quintana Roo, en la península de Yucatán, con estos datos históricos se realizó el estudio estadístico en las variables de temperaturas y humedad relativa, tanto máximas y mínimas. Para las frecuencias históricas de temperatura se obtuvo la comprobación de confianza con el método de la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada. De igual manera, con las mismas variables se obtuvo la tendencia anual y la regresión lineal tomando un periodo de 1990 hasta 2019. También se consiguieron datos históricos del consumo de energía eléctrica, estas variables fueron recolectadas en el sistema de información energética de la SENER, las frecuencias se colocaron en una hoja de Excel para filtrarlos por periodo mensual en conjunto con los valores de temperatura, después se realizó el cálculo estadístico de correlación considerando un periodo de 2002 hasta 2017.

Por otro lado, se consiguieron las medidas de sensación térmica para el análisis de las crisis médicas en el ser humano, causadas por los aumentos de la temperatura y humedad relativa. Para finalizar este apartado, todos los resultados obtenidos tienen un procesamiento digital con el software matemático de MATLAB y el bosquejo de los mapas fueron realizados por el software ArcGIS, los cuales representan gráficamente el grado de la correlación. En la Figura 1 se muestra un diagrama del procedimiento y manejo de los datos.



Figura 1. Esquema del procesamiento de los datos.

1.4 Estructura de tesis

A continuación, se especifica la estructura de este documento.

En el capítulo uno, se describe brevemente una introducción del desarrollo del trabajo de investigación. El capítulo dos, se enfoca más a la teoría para el desarrollo de esta tesis, se expone las plataformas digitales, donde se consiguieron los datos para los cálculos estadísticos de esta investigación, se describe la geografía y la población de las regiones que se eligieron para este estudio, además se menciona la evolución del sector energético en el estado de Quintana Roo y en México. En el capítulo tres, se hace referente a la teoría de los métodos estadísticos descriptivos que se utilizaron para este trabajo, tomando en cuenta los requisitos, propiedades y características para la aplicación de los análisis estadísticos. En el capítulo cuatro, se presentan las consecuencias logradas, así como la interpretación y el análisis de la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada, la regresión lineal y el grado de tendencia anual aplicado en las variables de temperatura. De igual forma, se exhibe la técnica de correlación estadística entre las variables de temperatura y el consumo de energía eléctrica; asimismo se muestran los indicadores de la sensación térmica, se describen mediante tablas, gráficas y mapas. En el capítulo cinco, se exponen las conclusiones para los resultados logrados, por lo que se utilizan las publicaciones mencionadas para darle más aceptación a la investigación propuesta con verificación de los indicadores obtenidos. Finalmente, se mencionan las referencias bibliográficas, los sitios de internet y los anexos correspondientes. Con el siguiente diagrama de flujo se expone el procedimiento para el estudio de los datos cuantitativos de las zonas elegidas de la entidad federativa.

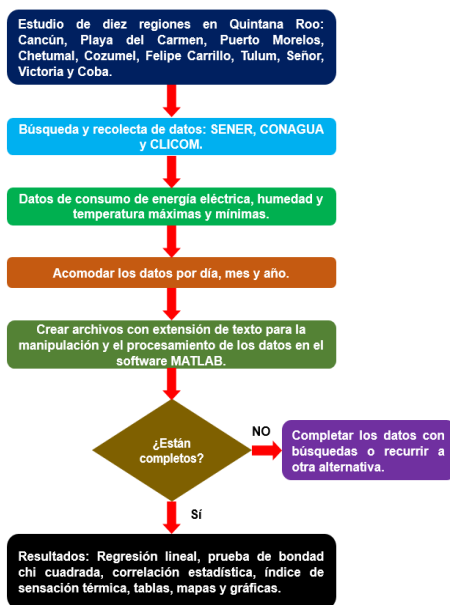


Figura 1.1 Diagrama del desarrollo de la presente tesis.

1.5 Hipótesis.

El incremento y la disminución de la temperatura en las zonas estudiadas influyen al consumo de energía eléctrica. El manejo y el cálculo de las frecuencias de temperatura y humedad relativa, nos da un resultado de la medida de sensación térmica, que puede afectar al ser humano, este indicador se puede interpretar para el riesgo de muerte a causa de los golpes de calor.

1.6 Objetivos.

1.6.1 Objetivo general.

Utilizar las técnicas estadísticas de la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada, el grado de tendencia anual, la correlación estadística y la sensación térmica para las variables adquiridas de temperatura, humedad relativa y consumos de energía eléctrica, para indicar los efectos causados en las zonas estudiadas del estado de Quintana Roo.

1.6.2 Objetivos específicos.

Recolectar datos históricos de la variable de temperatura y humedad relativa en los sitios web: CONAGUA Y CLImate COMputing Project (CLICOM).

Recopilar datos históricos del consumo de energía eléctrica publicados en el Sistema de Información Energética (SIE).

Elaborar tablas con las frecuencias obtenidas utilizando el software Excel.

Aplicar la prueba de bondad de ajuste Chi Cuadrada en las variables de temperatura obtenidas.

Calcular la regresión lineal y obtener el grado de tendencia anual.

Explicar la correlación estadística entre las variables de consumo de energía eléctrica y temperatura de las zonas de estudio.

Interpretar las medidas de sensación térmica, de acuerdo con la Tabla de la (NOAA, 2014).

Realizar un algoritmo para los cálculos estadísticos y las gráficas, utilizando el software MATLAB.

Modificar un mapa con el software ArcGIS, indicando las regiones de estudio.

Capítulo 2. Marco Teórico.

En este capítulo se mencionan los conceptos que están relacionados a esta investigación, en primer plano se describe la diferencia entre la climatología y meteorología, ya que son temas importantes que se deben conocer para el desarrollo de este trabajo. Se exponen las plataformas

digitales que se tomaron en cuenta para la recolección de los datos climatológicos, con esta información se realizaron cálculos estadísticos. Más adelante se podrá explicar los métodos de estadística que se han utilizado para el procesamiento de los datos históricos de temperatura, humedad relativa y consumos de energía eléctrica, para esto se tomará en consideración el software correspondiente para la obtención de los resultados y asimismo conseguir un análisis estadístico. Por otra parte, se menciona brevemente la geografía, el clima y la población de las zonas elegidas de la entidad federativa, además se expone brevemente el desarrollo del sector energético en México y principalmente en el estado de Quintana Roo.

2.1 ¿Qué es la climatología y la meteorología?

En la actualidad es importante tomar en cuenta el estudio del clima, con ello se logra analizar y conocer los efectos que intervienen en la producción vegetativa, además se puede alcanzar a definir las características de un país o zona mediante datos históricos. También se pueden obtener predicciones que ocurren día con día, estas son mencionadas en los medios de comunicación, como por ejemplo: la radio, el internet, la televisión y los periódicos. Los temas de la climatología y meteorología usan elementos comunes que son de gran importancia, debido a que utilizan la tecnología para lograr los estudios de estados atmosféricos en un determinado lugar; o bien el estudio de los fenómenos que se efectúan en la atmósfera del planeta. A continuación, se presentan las definiciones de los temas mencionados.

2.1.1 Meteorología.

Es la ciencia que estudia los cambios de los fenómenos atmosféricos y sus propiedades que varían en el espacio y tiempo, por lo que nos lleva a conocer las variables meteorológicas, como son: la presión atmosférica, la radiación solar, la velocidad del viento, la precipitación, la humedad relativa y la temperatura del aire. El objetivo de esta ciencia es predecir durante un periodo para alcanzar un pronóstico del tiempo, esto se realiza por métodos estadísticos con sus respectivas expresiones matemáticas, los cuales sirven para la toma de decisiones cotidianas del ser humano, como por ejemplo: vestir con ropa adecuada para evitar los aumentos de calor, prevenirse con un paraguas para las ocasiones de lluvia; o bien para la medida preventiva de los desastres naturales.

Los fenómenos atmosféricos son observados por satélites con instrumentación avanzada y compleja, estos dispositivos están colocados en órbita con la Tierra, con esta tecnología se captan las propiedades del planeta y se procesan los datos de las condiciones atmosféricas, logrando

imágenes para enviarlas en las estaciones meteorológicas. En la Figura 2.1 se expone una imagen captada por un satélite de CONAGUA.

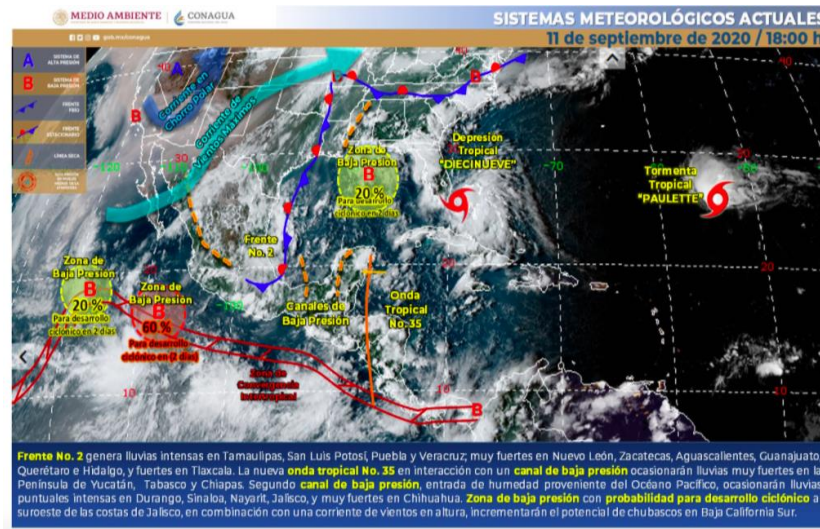


Figura 2.1 Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental captando toques de nubes en la región Norte de México, CONAGUA.

Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/pronosticos/pronosticossubmenu/pronostico-meteorologico-general>

2.1.2 Climatología.

Es la ciencia y la rama de la meteorología, el cual realiza el estudio del clima en un lugar determinado, se basa en una experimentación física de las condiciones atmosféricas que dependen de las actividades humanas; asimismo se busca la explicación de los efectos geográficos de un periodo cronológico, ligados a la obtención de datos por medio de un conjunto de instrumentación meteorológica. Las lecturas del clima se recolectan por medio de un dispositivo electrónico de adquisición de datos, con ello se pueden recopilar los datos para un análisis estadístico mediante un cálculo matemático y se logra un resultado que manifiesta las condiciones geográficas.

Existe un sitio web donde se puede explorar las variables del clima captadas por las estaciones meteorológicas y se ubican en la república mexicana, de este tema se hablará más adelante. En la Figura 2.2 se presenta la imagen de las terminales meteorológicas existentes en el estado de Quintana Roo.

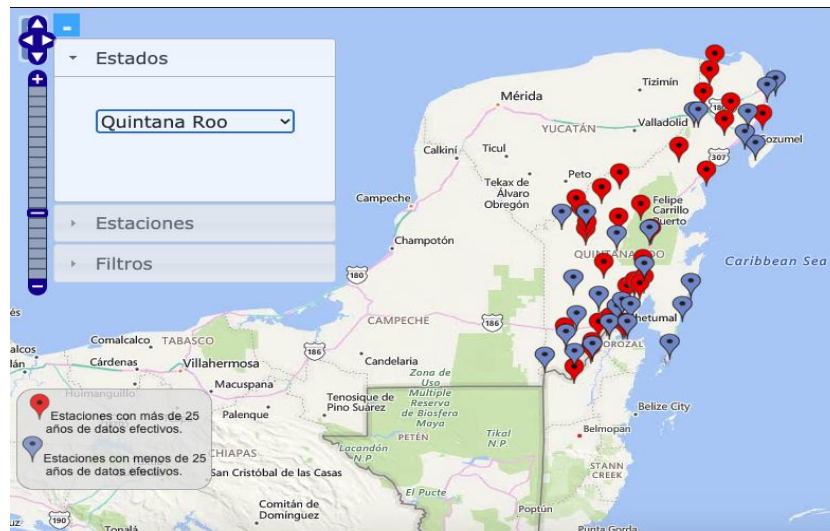


Figura 2.2 Sistema CLICOM, página de descarga de datos climatológicos.

Fuente: <http://clicom-mex.cicese.mx/>

2.1.2.1 Temperatura del aire.

Es uno de los elementos del clima que se manipulan en esta investigación, para empezar, la temperatura se utiliza para describir la atmósfera y es una propiedad básica del aire, así como una de las variables más importantes de la vida. Para la definición de la temperatura es necesario exponerla como una magnitud, que depende de la rapidez del movimiento de las partículas que componen la materia, esto quiere decir, cuando mayor sea el movimiento de las partículas, mayor será la temperatura.

La temperatura la podemos conseguir por indicadores, debido al grado de calentamiento del aire, este fenómeno de calentamiento la podemos describir al comenzar el día, es decir, el suelo recibe radiación solar y al calentarse, se va obteniendo calor en el aire que se encuentra encima, por lo que el aire se calienta con la energía solar, pero no directamente, si no después de la absorción de la superficie terrestre. Así pues, la energía solar pasa de la superficie al aire, por transmisión de calor termodinámico, tales como: radiación, convección y conducción. En la Figura 2.3, se muestra el fenómeno de calentamiento del aire. Se debe considerar que la temperatura experimenta variaciones en el tiempo, como el día y la noche, las épocas del año o por ubicaciones geográficas. El instrumento para medir la temperatura se le conoce como termómetro y fue inventada por Galileo Galilei en el año 1593, para obtener las lecturas de temperatura correctamente se necesita considerar las propiedades de la materia que podrían alterarla, como, por ejemplo: el volumen de un cuerpo, la resistencia eléctrica de algunos materiales y el color de un objeto. El modelo de

termómetro más sencillo es un tubo de vidrio graduado con un líquido, al interior puede ser alcohol o mercurio. Si se requieren los valores correctos de la temperatura del aire, se debe considerar en donde poner el termómetro, puesto que no es lo mismo colocar el instrumento a la intemperie del viento, que colocarlo cerca de una pared; o bien directamente al Sol, esto causaría diferentes medidas y podría no dar confianza en las lecturas.

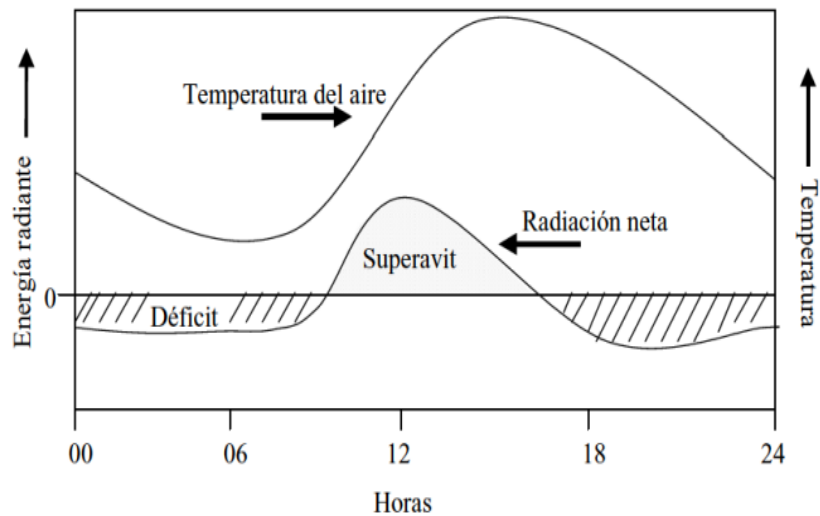


Figura 2.3 Curvas de la radiación y la temperatura del aire.

Fuente: (Andrades Rodríguez & Muñoz León, 2012).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, expresa algunos ejemplos sobre la colocación de los instrumentos termómetros. De modo que, los termómetros deben estar ventilados y protegidos de la precipitación, así como de la radiación solar directa, además el instrumento debe tener una altura del suelo, este último ejemplo es muy relevante, debido a que la superficie absorbe la energía solar y podría modificar los valores.

2.1.2.2 Humedad atmosférica.

La humedad siempre estará presente en la mayor parte de la atmósfera, cerca de la superficie terrestre. Esta no tiene una forma para observar, pero podemos sentirla, hasta olerla indirectamente, por los hongos que son nacidos gracias a ella, también cuando en el aire atmosférico hay una entrada de vapor de agua, logramos percibir los diversos factores, tales como: el agua de los suelos, la evaporación de las aguas superficiales, la transpiración de las plantas, además si llueve recientemente; o bien si estamos cerca del mar.

En las zonas tropicales de México es muy común oler la humedad, cuando entramos a una casa, esto se debe a que estuvo cerrada en un cierto periodo. Otro efecto de la humedad es en la madrugada, donde es posible apreciar la formación de gotas de agua en los vidrios de nuestras ventanas cuando se empañan. Los dos casos que se mencionan son causados por las bajas temperaturas, es decir, si la temperatura es menor, menor será la presión de vapor de agua en saturación. Dicho lo anterior, en la Figura 2.4 se expone de forma gráfica con la ecuación de Clausius-Clapeyron, la cual es usada para la predicción de las transiciones de fase, en particular en las sustancias puras. Existen dos formas importantes para exponer a la humedad atmosférica: una de ellas es la humedad absoluta y la otra es la humedad relativa. La humedad absoluta se puede definir como la totalidad de vapor de agua que contiene un volumen de aire, por lo que la humedad absoluta constituye la densidad de vapor de agua que hay en el aire. La humedad relativa indica el porcentaje de vapor disuelto en un volumen de aire debido al vapor necesario para su saturación, es decir, es el resultado del cociente entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación; las medidas pueden ser del 0% hasta el 100%, donde el 0% es equivalente al aire seco y el 100% al aire saturado de la humedad. La humedad se puede medir con precisión por un instrumento llamado aspirpsicrómetro, este contiene dos termómetros, uno de bulbo seco y otro de bulbo húmedo, los cuales están ventilados por un pequeño motor interno que simula una corriente de aire artificial, donde el ventilador se acciona por medio de un mecanismo de cuerda durante 10 minutos, esto ayuda para la toma de las lecturas entregadas por el instrumento.

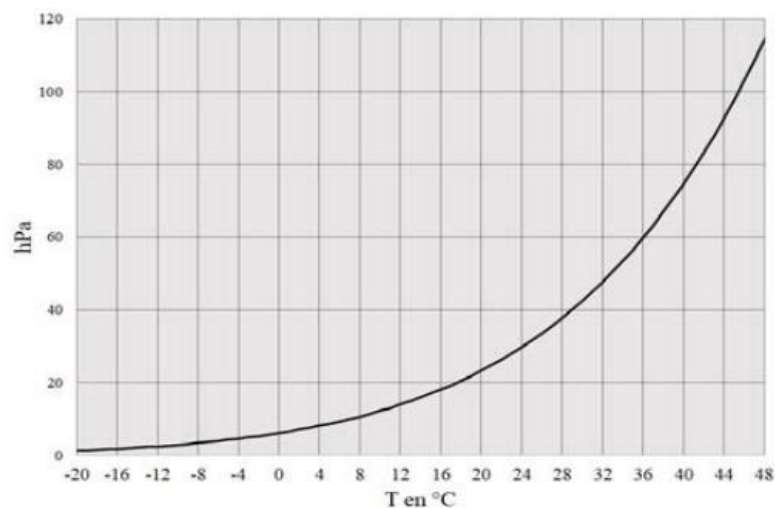


Figura 2.4 Representación gráfica de la ecuación de Clausius-Clapeyron.

Fuente: (Tejeda Martínez , Méndez Pérez, Catalina Rodríguez, & Tejeda Zacarías, 2018).

2.2 Estación meteorológica.

Una estación meteorológica es un equipo colocado en un lugar específico que realiza mediciones y registra lecturas del clima en un tiempo determinado, está constituida por un conjunto de instrumentos electrónicos que captan las variables meteorológicas, ya sean climáticas o marinas. Con un equipo de adquisición de datos se pueden procesar las variables meteorológicas para la recolección de las frecuencias, con esta información se puede realizar un cálculo y un análisis con métodos estadísticos para determinar los efectos causados en una región específica.

Para la instalación de una estación meteorológica se utilizan en particular los siguientes instrumentos: un dispositivo piranómetro en el que se capta la radiación solar, un anemómetro ultrasónico que mide la velocidad del viento, así como la temperatura del aire, la presión atmosférica y la humedad relativa, de igual forma un pirgeómetro que capta la radiación infrarroja lejana y un pluviómetro que recolecta la precipitación para las muestras de cantidad de lluvia. En la Figura 2.5, se muestra un ejemplo de una estación meteorológica de la marca Vaisala.



Figura 2.5 Estación meteorológica compacta de la marca Vaisala.

Fuente: <https://www.vaisala.com/en>

2.2.1. Sistema CLImate COMputing project (CLICOM)

El sistema CLImate COMputing project (CLICOM) es uno de los proyectos desarrollados por las Naciones Unidas y es administrado por el licenciado Alejandro González Serratos, uno de los integrantes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Este sistema está presentado en un sitio

web que utiliza una base de datos de estaciones meteorológicas que están colocadas en la superficie de algunas zonas de la república mexicana, la página web es de manera confiable, tiene un control de calidad inicial de la base de datos del SMN, además es financiada por el centro de investigación científica y de educación superior de ensenada (CICESE), donde es una de las segundas instituciones creadas en el año 2001 por los siguientes organismos: el consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACYT), el programa estatal de acción ante el cambio climático (PEACC-BC), el instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC) y la red de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos (REDESCLIM), la cual fue creada en el año 2011 por el CONACYT. Una de las funciones del sistema es realizar gráficas de las muestras obtenidas, colocando las lecturas por período anual o mensual; como, por ejemplo: algunos de los datos históricos se pueden adquirir en un periodo de 1920 hasta el año 2015. El conjunto de datos pueden ser recolectados y observados por distintos equipos electrónicos que captan las variables del clima, estas se procesan por el sistema CLICOM, luego se logra un enlace para la descarga de las variables meteorológicas y se genera un archivo con una extensión informática, que se puede ejecutar con los siguientes programas en el computador, principalmente: la hoja de cálculo Excel y el software matemático MATLAB. También este sistema tiene la facilidad de hacer una búsqueda de las estaciones meteorológicas en cada región de la República Mexicana, orientada por la latitud y la longitud. En la Figura 2.6 se expone el sitio web del sistema CLICOM.

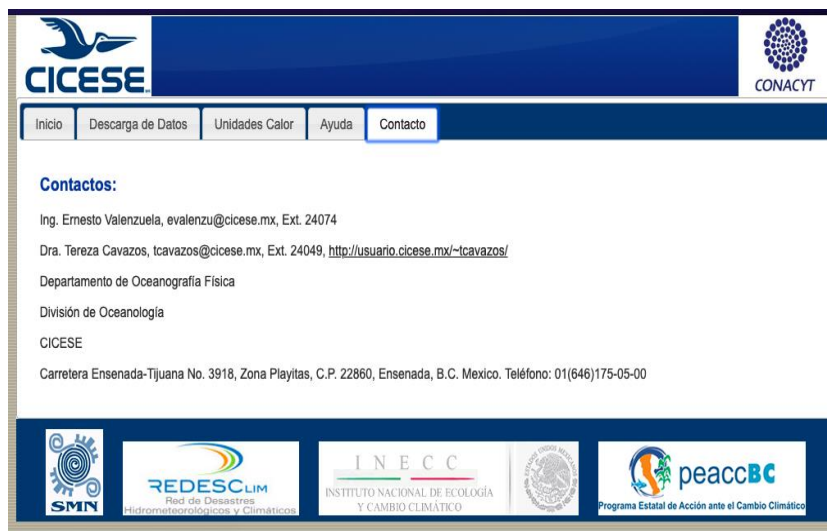


Figura 2.6 Página web de CLICOM.

Fuente: <http://clicom-mex.cicese.mx/>

2.2.2. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

La Comisión Nacional del Agua tiene 32 años de trayectoria, nace el 16 de enero de 1989 como un órgano desconcentrado de la secretaría de medio ambiente y recursos naturales, se convierte en la única autoridad federal facultada encargada en administrar y preservar las aguas nacionales de México. Algunos de los objetivos principales de la CONAGUA es tratar las aguas residuales generadas y fomentar su reúso e intercambio, incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado en las comunidades rurales y urbanas, consolidar un sistema integral de medición de los diferentes componentes del ciclo hidrológico, publicar la disponibilidad de agua en los acuíferos y cuencas del país, promover la elaboración del inventario nacional de humedales, evaluar los efectos de cambio climático en las variables del ciclo hidrológico, así como medir y evaluar los parámetros que inciden en el cambio climático. La CONAGUA tiene un portal de sistemas de información del agua, el cual se integran diversos sistemas y portales institucionales que proporcionan información de los recursos hídricos al residente. Algunos de los importantes sistemas y portales son: el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), el Sistema de Información Hidrológica (SIH), el Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA), el Monitoreo de presas, el Inventario Nacional de Humedales, Aguas subterráneas y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), este último se ha tomado en cuenta para la recolección de los datos climatológicos para esta investigación, véase en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Página web de SMN.

Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

2.3 Cambio climático.

Nuestro planeta está protegido por capas de gases de efecto invernadero, estas mantienen a la Tierra con una temperatura natural promedio de 15 grados Celsius y es esencial para todos los seres vivos. A lo largo de la historia se ha incrementado aceleradamente la temperatura de la Tierra a escala global, véase en la Figura 2.8, esto es provocado por las variaciones del clima debido a los efectos del cambio climático por lo que es un problema que se ha presentado por generaciones, en parte son originadas por fenómenos naturales y por las diversas actividades del ser humano, además es comprendida por anomalías tanto en la superficie terrestre como en algunas regiones específicas.

Según el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), la influencia del ser humano es la causante del cambio climático desde el año de 1950, como evidencia están los efectos de las emisiones continuas de GEI (Gases de Efecto Invernadero), derivado por la actividad diaria del hombre, provocando desequilibrios en el clima y poniendo en riesgo a toda forma de vida, estas emisiones mencionadas han provocado el calentamiento de la atmósfera, el calentamiento del océano, alteraciones en el ciclo global del agua, reducciones de cantidad de nieve y hielo, elevación media del nivel del mar y causas de fenómenos extremos climáticos, tales como: las sequías, las heladas y los huracanes.

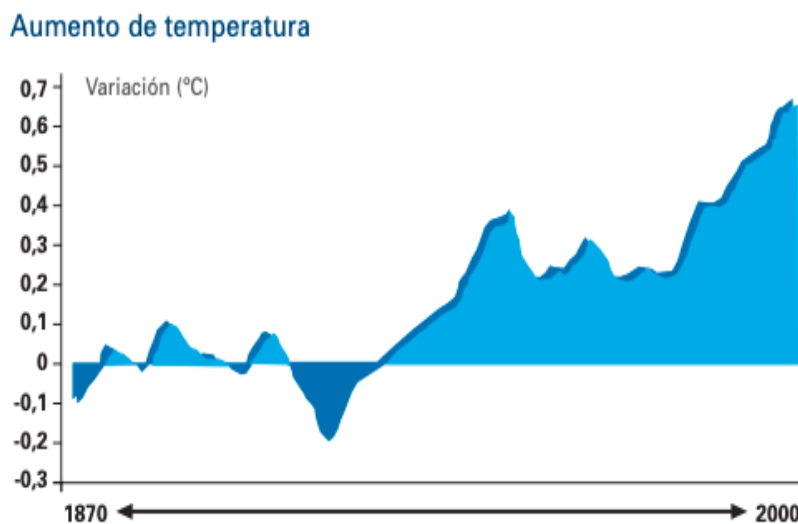


Figura 2.8 Evolución de las temperaturas registradas en el hemisferio norte en un periodo de 120 años.

Fuente: (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004).

Asimismo, como lo plantean (Rodríguez Jiménez, Benito Capa, & Portela Lozano, 2004), los cambios climáticos pueden tener un origen natural externo, es decir, por las variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre con una periodicidad aproximada de 100 000 años, asimismo las modificaciones en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, cuya periodicidad es de unos 41 000 años, así como los cambios en la actividad solar o el número de manchas solares, que varían cada 11 años.

2.3.1 Gases de Efecto invernadero

El planeta Tierra es un gran invernadero, el cual tiene una capa delgada de gas (atmósfera) que mantiene a la vida, esta capa está formada por una mezcla de gases, se compone de un 0.07% de vapor de agua, ozono, bióxido de carbono, hidrógeno, neón, helio y Kriptón, un 0.93% de argón, un 20.9 % de oxígeno y un 78.1% de nitrógeno. La atmósfera tiene una función demasiado significativa, la cual regula la temperatura del planeta por medio del efecto invernadero, funciona como un filtro para la radiación ultravioleta y sirve como un escudo, destruyendo cantidades de meteoritos que llegan a la superficie terrestre. Existen gases que tienen un gran efecto en la temperatura de la Tierra, esencialmente, el metano, el dióxido de carbono, el óxido nitroso, el vapor de agua y el ozono, a estos gases se les conoce como el fenómeno GEI (Gases de Efecto Invernadero), los cuales dejan pasar la luz solar que llegan a la superficie terrestre y marina. Sin embargo, la energía que pasa es transformada en calor (radiación infrarroja), de modo que una fracción de ésta es enviada a la atmósfera y otra parte es dirigida en los mares y continentes. Ahora bien, sin el fenómeno GEI es probable que la vida no se hubiese desarrollado, debido a que la temperatura de la Tierra tendría un descenso y el agua del planeta estaría congelada con un promedio de 33 °C. Algunos expertos teorizan: que a mayor cantidad de GEI, la superficie terrestre alcanzará un incremento alto en la temperatura, debido a la mayor cantidad de calor absorbida, este desbalance se podría reflejar en los cambios del clima.

Por otra parte, como lo expresan (Rojas González & Rodríguez Ramírez, 2012), los gases de efecto invernadero se han generado por fuentes naturales a lo largo de la historia, pero los seres humanos han contribuido en su generación, como en la quema de combustibles fósiles para los transportes, el uso de energía para las actividades domésticas y procesos industriales, la deforestación, como el cultivar las tierras para producir alimentos, la obtención de madera para la construcción o generación de calor en los hogares, los residuos que por su mal manejo pueden

contaminar los ríos, los mares, el suelo y el aire, la producción de alimentos como granos, frutas, verduras y carnes.

Por lo tanto, se puede señalar que estas actividades diarias expuestas han provocado un desequilibrio en el clima, poniendo en riesgo a los seres vivos del planeta. Por ello es importante realizar las acciones de mitigación o adaptación para evitar los efectos del cambio climático. Con respecto a la llamada mitigación, se aplicaría el uso de las energías renovables, el consumo óptimo de energía para el suministro del agua, el transporte eficiente y la eficiencia energética en edificios y hogares, estas acciones del ser humano pueden reducir las fuentes de emisiones GEI.

En cuanto a la adaptación, se puede reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos, aplicando la creación de huertos urbanos, sistemas de captación pluvial, campañas de protección civil y la recuperación de parques, jardines y bosques urbanos. Como información relevante, en el informe de IPCC nos indica que en el periodo de 2007 hasta 2016 las emisiones de GEI se estimaron en un 23% del total de las emisiones antropogénicas, es decir, que este indicador porcentual fue procedente del hombre por la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Por último, los expertos señalan que desde 1850 hasta 2015 la temperatura media del aire en la superficie terrestre aumentó 1.53 grados Celsius, mientras que la temperatura media global en la superficie ascendió un 0.87 grados Celsius. En la Figura 2.9 se muestra la evolución de las frecuencias de temperatura.

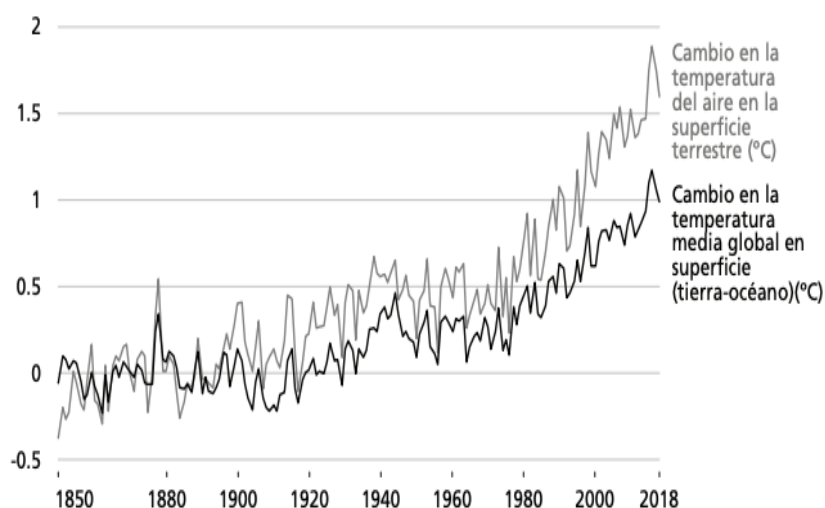


Figura 2.9 La variable de temperatura, respecto a 1850 hasta 2018.

Fuente: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

2.4 Sistema de Información Energética (SIE)

El SIE es un sistema libre que recolecta información de estadística y es georreferenciada para una base de datos, es sustentada principalmente por la secretaría de energía (SENER), incluyendo también a los institutos, las comisiones y las empresas, relacionadas al sector energético en México. El comité técnico especializado de la información del sector energético (CTE-ISE), es la autoridad del Sistema de Información Energética y es administrado por el subsecretario de planeación y transición energética de la Secretaría de Energía, asimismo participan los representantes nombrados por las instituciones de investigación, las comisiones que integran al sector energético y principalmente por las entidades federativas de nuestro país, al igual que los funcionarios que conforman la SENER y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Para la visualización de la información se tiene un portal de internet, (véase la Figura 2.10), en donde los datos se encuentran acomodados por tablas y actualizadas periódicamente, de este modo se ofrecen como servicio público a los especialistas que deseen realizar consultas y análisis; o bien ampliar su conocimiento sobre los temas en materia energética.



Figura 2.10 Sitio web del sistema de información energética (SIE).

Fuente: <http://sie.energia.gob.mx/>

Para la recolecta de los datos históricos, en el portal de internet del SIE, se tiene que seleccionar la información estadística del sector energético, logrando un enlace de la descarga de las variables, en este sitio web se podría elegir en las opciones de consulta de la periodicidad de los datos. Luego de obtener los datos, se muestra una tabla con la información histórica, donde se puede revisar si

el conjunto de los datos está correcto, después se podría exportar a un archivo con una extensión de informática, donde se puede ejecutar con la hoja de cálculo Excel.

2.5 Geografía y población en el estado de Quintana Roo.

El estado de Quintana Roo se localiza en la península de Yucatán, la capital de esta entidad federativa es la Ciudad de Chetumal. Según, con la referencia de los puntos cardinales, el estado colinda al norte con Yucatán y con el Golfo de México, al este con el Mar Caribe, al sur con Belice y al oeste con Campeche y Yucatán, véase en la Figura 2.11. Quintana Roo cuenta con un área de transición de 1 176 kilómetros entre ecosistemas terrestres y marinos, con 264 000 hectáreas de bahías, una superficie de 50 843 kilómetros cuadrados, además el clima en la mayor parte del territorio se presenta con cálido subhúmedo. El relieve de esta entidad federativa es plano con una pendiente en dirección con los puntos cardinales de oeste a este hacia el mar Caribe, y una mínima inclinación de 0.01%, asimismo se presentan algunas colinas pequeñas y terrenos hondos. La máxima elevación se localiza en la parte sur poniente del estado, el lugar es llamado como el cerro El Charro con una altura de 230 metros sobre el nivel del mar, así también el cerro El Pavo y el cerro Nuevo Bécar con 120 y 180 metros sobre el nivel del mar, respectivamente. La parte restante del estado es plano, como se ha mencionado.

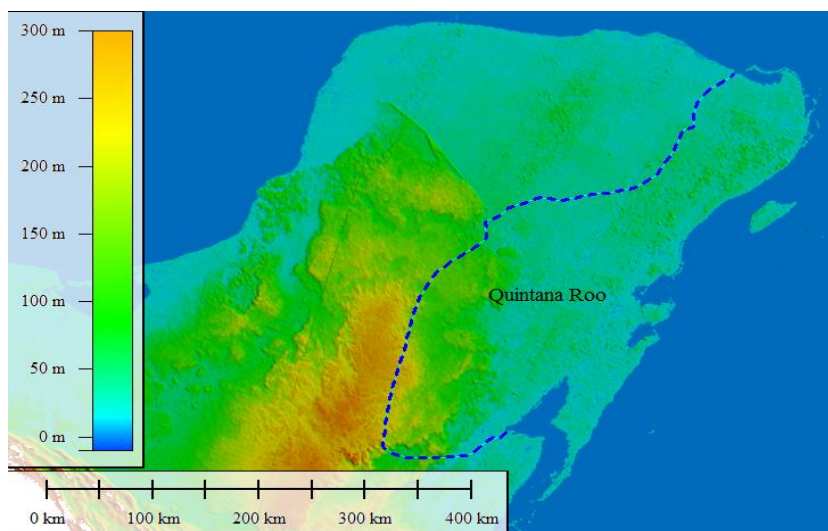


Figura 2.11 Localización del espacio territorial de Quintana Roo.

En el año 2020, el estado de Quintana Roo obtuvo una población total de 1 857 985 personas y en el año de 1910 se presentó un número mínimo de personas de 9 109. En la Figura 2.12, se

observa que en el año de 1970 se inicia un incremento exponencial, alcanzando los 88 150 personas y con respecto al año de 1910 el aumento de la población fue del 867.72%. En el año 2000 y 2005 ascendió el número de personas en 874 963 y en 1 135 309, sucesivamente. Si en estos dos años se realiza una comparación, se obtiene que la población incrementó en un 29.75%. Con el balance realizado en el periodo de 2000 hasta 2020, se puede deducir que la población creció hasta un 112.35%; y en el periodo 2005 hasta 2020, aumentó hasta un 63.65%. Por otra parte, la entidad federativa es de un clima cálido subhúmedo de un 98.9%, solo en la Isla Cozumel se presenta un clima cálido húmedo del 1.1%. Quintana Roo al estar posicionada al sur del trópico de cáncer, se puede alcanzar una temperatura media anual de 26 grados Celsius, además la temperatura máxima y mínima promedio es de 33 y 17 grados Celsius, respectivamente. El clima cálido subhúmedo, se distribuye en la zona continental, en las Islas Mujeres y Contoy, donde se puede cultivar el chile jalapeño, maíz, arroz, caña de azúcar, chicozapote, toronja, naranja, papaya, limón, piña y mango; en particular el clima en el mes de enero es menos caluroso, de diciembre hasta febrero es más frío y mientras que en los meses, de mayo, junio, julio, incluso el mes de agosto se presenta más cálido.

La época de lluvias comprende los meses de mayo a octubre; o inclusive hasta el mes de noviembre, la precipitación anual varía entre los 800 hasta los 1500 mm. Los fenómenos meteorológicos que se despliegan en la entidad federativa son los siguientes: la onda tropical, las cuales forman nubes o tormentas eléctricas que se mueven del este al oeste y producen algunas lluvias. La depresión tropical, la cual agrupa nubes y tormentas eléctricas con vientos a velocidades de 63 km/h. Y la tormenta tropical, que al igual agrupa nubes con fuertes tormentas eléctricas con vientos de 63 hasta 117 km/h, estos fenómenos en específico, se puede convertir en huracanes.

De manera que el fenómeno de huracán alcanza velocidades de viento superiores a 119 km/h. Los cuerpos de agua que existen en Quintana Roo son tan importantes, que se debe preservar el recurso y utilizarse con responsabilidad para la necesidad de la región. Según (Pozo, Armijo Canto, & Calmé, 2011), en el año 2007 los recursos hídricos del estado disponían un promedio anual de 6 187.2 hectómetros cúbicos de agua, también el volumen de agua concesionada fue de 459.8 hectómetros cúbicos, los cuales el 20.2% se destinaron en actividades agrícolas, es decir, en el uso agropecuario, pecuario y acuacultura, además el 60% se tomó para el uso industrial, así como en los autoabastecimientos; y el 19.8% para el suministro público. Este último es poco significativo, solamente representa el 0.2% de la extracción anual, ya que el 99.8% proviene de 2 640 pozos y fuentes subterráneas.

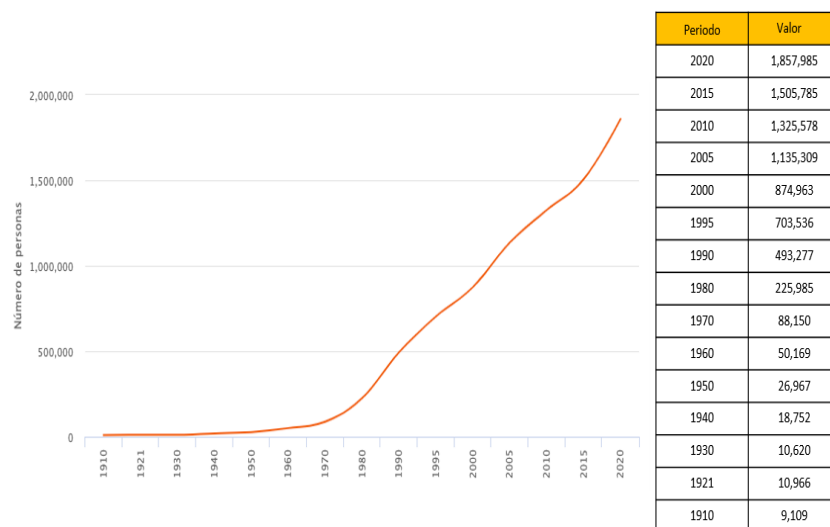


Figura 2.12 Población del estado de Quintana Roo.

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/>

En general, las áreas naturales protegidas en el estado de Quintana Roo son los siguientes: las reservas de la biósfera, que se encuentran localizadas en la zona del Banco de Chinchorro; los Arrecifes de Sian Ka'an, Puerto Morelos, Cozumel, Xcalak, la Isla Contoy, la Costa Occidental de Isla Mujeres, la Punta Cancún, la Punta Nizuc, Ría Lagartos, Sian Ka'an y Tiburón ballena; los parques nacionales, que están ubicadas en las regiones de Tulum; los santuarios, situados en la zona de Playa de Isla Contoy; así como las áreas de protección de flora y fauna que se encuentran en los lugares de Yum Balam, Uaymil, Otoch Ma'ax Yetel Kooh, Manglares de Nichupté y Bala'an K'aax, véase en la Figura 2.13.

La Fauna está distribuida en selva húmeda, bosques, ambientes acuáticos, el mezquite, el matorral, los humedales y los cenotes. Con respecto al reino animal, en la selva húmeda se encuentran: la culebra de labios blancos, el gato moro, el ave jabirú, el coralillo, la boa, el cocodrilo, la tortuga pintada y la tortuga de pantano. En los bosques se manifiesta: el tlacuache, la comadreja, el tigrillo, el armadillo, el murciélago, el felino ocelote, la garza, el zopilote, la chachalaca, el águila pescadora y el faisán negro (ave galliforme). En los ambientes acuáticos se presentan: el cangrejo ermitaño, el coral, el camaroncillo, el langostino y el delfín. En el mezquite y matorral, el animal principal que reside es la lechuza; en los humedales y cenotes, habitan animales como la nutria, el flamenco, el pato y el sapo excavador. Para la flora, el 90% de la entidad federativa es usualmente selva, que están formadas por vegetación de árboles de origen tropical, algunas de estas especies de vegetación se encuentran: la amapola, el bayo rojo y blanco, el colorin, el guayabillo, la

pimienta, el laurelillo, la pitahaya, el guayacán, el naranjillo, el matapalo, el frijolillo, el granadillo, la mora, el zapotillo y la pata de vaca. Particularmente, en la selva se extrae madera del tipo caoba y cedro rojo para su uso comercial.

En la flora, también se presenta el manglar, la cual es una agrupación de árboles, donde predomina el árbol del mangle y esta se caracteriza por su adaptación por las aguas de alta salinidad. Algunas otras especies de vegetación que representan el manglar son: el tule, el tulillo, el zacate, el mangle blanco, negro y rojo, el botoncillo y la navajuela. Otros tipos de vegetación en el estado son las dunas costeras y el palmar, por lo que los géneros vegetativos en el palmar son: el cocoyol, el corozo, el huano, la palma real y la palmita maya; y los tipos de vegetación en las dunas costeras, lo atribuyen: el orégano, la uva de mar, el pino caribeño, el carrizo, el frijolillo playero, la hierba de arena.

En Quintana Roo no podría faltar un ecosistema marino, donde están los arrecifes de coral que son tan importantes, dado que, albergan más del 25% de la especies marinas, además contribuyen al 9% para la producción pesquera mundial y para las bellas playas existentes, que mantienen su majestuosa industria turística. Así también las praderas de pastos marinos, son tan relevantes, que evitan la erosión de las costas, forman regiones para la crianza, alimentación y protección para invertebrados y peces. Los expertos dicen que las praderas de los pastos marinos estabilizan el fondo marino.



Figura 2.13 Localización de las reservas de áreas naturales.

Fuente: (SEDETUR, Módulo 2. Aspectos históricos del destino, 2011-2016).

Sobre la actividad económica en Quintana Roo se tiene un Producto Interno Bruto (PIB) de 1.49%, es decir, 185 015 millones de pesos, tal como lo dice (SE, 2017-2018). Por otra parte, la entidad federativa está formada por diez municipios: Felipe Carrillo Puerto, Othón P. Blanco, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad, Benito Juárez, Tulum, Isla Mujeres, Cozumel y Bacalar, de estos municipios el 49.9% de la población habita en el municipio de Benito Juárez, el 1.2 % en Islas mujeres y el resto porcentual en los demás municipios.

Según el (INEGI, 2013), en infraestructura y desarrollo, el estado tiene el primer lugar de longitud en amarres de embarcaciones, en cruceros y transbordadores marítimos, así también en cuartos de hospedaje de cinco estrellas. Es el segundo lugar en aviación comercial, puertos y terminales portuarias, al igual suscriptores de televisión restringida por cada mil habitantes. Es el cuarto lugar en bares turísticos y establecimiento de hospedaje. Los principales centros turísticos de Quintana Roo se localizan al norte como: Cancún, Cozumel, Playa del Carmen, Riviera Maya, Isla Mujeres, Chetumal, Costa Maya. Y las principales zonas arqueológicas se ubican: en Tulum, Cobá, Kohunlich, Dzibanché, Kinichná, véase en la Figura 2.14.



Figura 2.14 Centros y zonas turísticas del estado de Quintana Roo.

Fuente: (SEDETUR, Módulo 2. Aspectos históricos del destino, 2011-2016).

Con relación a lo anterior, se describen brevemente algunas de las regiones que conlleva a esta investigación. La localidad de Cancún, es una de las playas principales del municipio de Benito Juárez por lo que a nivel mundial está reconocido como uno de los centros turísticos de primera categoría; está rodeada por el mar Caribe y por extensas lagunas, cuenta con una amplia oferta de

servicios, tal como la zona hotelera que es un paraíso para las actividades acuáticas; las zonas arqueológicas mayas, están ubicadas en: El Meco, San Miguelito y El Rey, así como los sitios como Punta Cancún, Punta Nizuc, Bahía de Mujeres y Laguna Nichupté. El clima en la playa es causado por las corrientes marinas calientes, principalmente la que llega desde el Golfo de México, la cual favorece a un clima cálido y lluvioso, en el transcurso del año la temperatura varía entre los 20 a 32 grados Celsius y el total de precipitación anual, oscila entre los 1 000 y 1 300 mm. En la época de verano, la región es afectada por ciclones y tormentas tropicales, igualmente la temporada de huracanes empieza a mediados del mes de junio y los meses más afectados suelen ser el mes de septiembre y el mes de octubre. Respecto al municipio de Benito Juárez, ocupa una superficie del 5.10% de la entidad federativa, el clima en su totalidad es cálido subhúmedo con lluvias en verano. Sobre la población total en el municipio, hubo 311 696 personas en el año de 1995, con un incremento en el año 2020 de 911 503 personas. No obstante, en la localidad de Cancún se registró en el año 2000, una población total de 397 191 habitantes y en el año 2010 ascendió a una población total de 628 306 personas.

La Isla de Cozumel, es uno de los municipios del estado de Quintana Roo, su capital es San Miguel, ocupa el 1.2% de la superficie de la entidad, es decir, aproximadamente 392 km². La isla también fue un sitio importante para la red comercial en el periodo posclásico (última etapa del desarrollo independiente de la civilización mesoamericana), es una de las regiones cubierta de bosque seco y suelos frágiles. La isla en su totalidad es plana y la mayor parte de elevación alcanza solo los 15 metros, además la zona está rodeada por numerosos arrecifes de coral. El clima de la región es cálido y húmedo con abundantes lluvias en el verano, la cual presenta una dimensión de precipitación de 1 500 mm y una variación de la temperatura entre los 24 a 28 grados Celsius. Cozumel tiene una amplia infraestructura hotelera y servicios turísticos y es la isla más grande de México con una zona arqueológica conocida como San Gervasio. En el año de 1995, la isla tuvo una población total de 48 385 personas y en el año 2020 creció la población exponencialmente hasta las 88 626 personas.

Felipe Carrillo Puerto, es una región que tiene un clima subhúmedo con lluvias, donde se manifiesta una precipitación con una longitud mínima de 1 100 mm y una máxima de 1 500 mm, la temperatura de la zona es de una magnitud mínima de 24 grados Celsius y una máxima de 28 grados Celsius. En cuanto a la población total del municipio, en el año de 1995 se obtuvo 56 001 personas y en el año 2020 se alcanzó un aumento exponencialmente de 83 990 personas; asimismo el municipio es un pueblo que conserva varias bellezas naturales, ruinas históricas y culturales,

tales como: la Iglesia Católica Balam Nah y el Santuario de la cruz parlante. La comunidad de Señor se ubica a 30 km al norte del municipio de Felipe Carrillo Puerto, el lugar posee un pequeño poblado que experimenta la cultura maya viva, con tradiciones y costumbre. En el año 2015, la localidad registró una población total aproximada a 3 077 personas e incrementó en el año 2020 a 3 785 habitantes, además el 80% de la población se dedica a la agricultura, principalmente a la siembra y cosecha del maíz, a través de la experiencia “Milpa Maya”, también se dedican a la venta de artesanía locales, uno de sus principales atractivos.

El puerto marítimo de Tulum ocupa el 4.91% de la superficie de la entidad y cuenta con 98 localidades, por lo que se asume que la población total en el año 2010 fue de 28 263 personas y en el año 2020 aumentó la población en un total de 46 721 personas. La ciudad posee un clima cálido subhúmedo con una humedad elevada y lluvias en verano, además la cantidad de precipitación es de una longitud de 1 300 mm. Sobre la temperatura del aire, se presenta entre un valor mínimo de 24 grados Celsius y un máximo de 28 grados Celsius. Entre las estructuras del puerto, se encuentran: el Castillo, el Templo del Dios Descendente y el Templo de los Frescos. Como dato agregado, la región de Tulum se consideró uno de los puertos de comercio Maya más importante, en la época de 1200 al 1521 d.C. (antes de la llegada de los españoles).

Por otro lado, Cobá es un enorme sitio que está localizado en el sureste de México, a 90 km al este de Chichén Itzá y a 42.1 km al noroeste de Tulum, la zona contiene más de 6 500 ruinas en estructuras arquitectónicas, tales como: los templos piramidales que son los más altos y espectaculares de la península, uno de ellos conocido como el Nohoch Mul; o bien los dos edificios en paralelo que forman un pasillo para la cancha del juego de pelota. La población de Cobá, en el año 2005 se registró 1 167 habitantes y en el año 2020 se presentó un crecimiento de 1 738 habitantes. Sobre el clima en la región es muy caliente y es parcialmente nublado en la estación de verano y durante el transcurso del año la temperatura oscila entre los 15 a 35 grados Celsius, a veces baja hasta los 10 grados Celsius o aumenta hasta los 38 grados Celsius. La precipitación, cae alrededor del 24 de septiembre con una acumulación promedio máxima de 167 mm y en el mes de marzo se registra con una acumulación mínima de 35 mm.

Otro de los lugares de estudio, es el municipio de Puerto Morelos, el cual tiene un típico pueblo de pescadores y es conocido por su barrera de arrecife, esta forma parte del Gran Cinturón de arrecifes del Atlántico Occidental, además es catalogado por ser el segundo arrecife más grande en el planeta. El puerto costero está ubicado entre Cancún y Playa del Carmen en el lado oriente de la península de Yucatán, en el Mar Caribe. La población en el año 2010, se presentó con 16 258

personas y en el año 2020 se registró un aumento de 26 921 de individuos. También el clima en el puerto es cálido subhúmedo, con una temperatura máxima en el verano de 35.5 grados Celsius y en la estación de invierno se manifiesta con un mínimo de 13 grados Celsius.

La localidad de Playa del Carmen, es la cabecera del municipio de Solidaridad, además está bañada por las aguas del Mar Caribe y es la ciudad central de la Riviera Maya, es una región turística con 120 km de extensión costera con flora y fauna abundante, con extensas playas, parques ecológicos y zonas arqueológicas. Los lugares que conforman la Riviera Maya son: Holbox, Isla Mujeres, la misma Playa del Carmen, Cancún, Contoy, Cozumel, Punta Bete, Xcaret, Puerto Aventuras, Akumal, Xpu Ha, Xelhá y Tulum. La población total del Municipio de Solidaridad, se registró en el año de 1995 una población total de 28 747 personas y en el año 2020 creció exponencialmente en 333 800 de personas. El clima del municipio es de un cálido subhúmedo con lluvias en verano y con una mayor humedad, de manera que posee una acumulación máxima de precipitación de 1 500 mm y una mínima de 1 100 mm; en cuanto a la temperatura en el municipio, oscila entre los 24 y 28 grados Celsius.

La región de Chetumal, es una de las localidades del municipio de Othón Pompeyo Blanco, con todos los servicios e infraestructura hotelera, en los alrededores de la ciudad se encuentran riquezas naturales que contienen lagunas, ríos y selvas, así también tiene algunos sitios turísticos, tales como: el Bacalar, Palmar, Xcalac y Mahahual, además posee sitios arqueológicos importantes como: Kohunlich, Dzibanché y Kinichná. Sobre el clima de Chetumal, los veranos son muy calientes, largos, mojados y nublados. La temperatura varía entre los 20 hasta los 32 grados Celsius; en ocasiones la temperatura de la zona baja a menos de los 16 grados Celsius y algunas veces aumenta hasta los 33 grados Celsius. La precipitación promedio durante el año, se asume con un depósito mínimo de 24 mm y un máximo de 182 mm. Sin embargo, el municipio de Othón P. Blanco, ocupa el 36.79% de la superficie del estado de Quintana Roo, además alcanzó una población total de 202 046 personas en el año de 1995 e incrementó en el año 2020 hasta los 233 648 individuos. Y en la localidad de Chetumal se obtuvo una población total de 159 096 personas, entre el periodo de 2016 a 2018.

La ciudad de Lázaro Cárdenas es un municipio que cuenta con 72 localidades, por lo que está ubicada al norte con el estado de Yucatán y el Golfo de México, al este con los municipios de Benito Juárez, Solidaridad e Islas Mujeres, al oeste con el municipio de Tulum y al sur con los municipios de Solidaridad y parte de Tulum. La ciudad cuenta con el 9.71% de la superficie de la entidad federativa y conserva un clima cálido subhúmedo, con una mayor humedad y lluvias en

verano, la acumulación de precipitación se asume con una longitud de 1 500 mm y la temperatura del aire cambia entre los 24 hasta los 26 grados Celsius. En el año de 1995 la población total en Lázaro Cárdenas fue de 18 307 personas y en el año 2020 aumentó hasta las 19 171 personas. Por otra parte, la región de Guadalupe Victoria se tomó en cuenta para la recolecta de datos climatológicos, que se podrán presentar más adelante. Esta zona es una de las 72 localidades del municipio, ostenta con una temperatura media anual de 24.1 grados Celsius y acumula una precipitación promedio anual de 1 216.3 mm. Por último, sobre la población en la localidad, en el año 2005 se asumió una población total de 53 habitantes y aumentó en el año 2020 hasta los 77 habitantes.

2.5.1 Desarrollo del sector energético por tecnología en México.

Para sintetizar sobre el sector energético en el estado de Quintana Roo, primero se debe conocer el sector energético nacional, básicamente la capacidad efectiva de energía y la generación bruta de electricidad por tecnología, también es necesario considerar el progreso del Sistema Eléctrico Nacional en un periodo de 2002 hasta 2017. En el Anexo I, se muestra la información recolectada del sector energético por tecnología, con estos datos anuales se debe tomar en cuenta los aumentos y decrementos más importantes que ocurren para la producción de la electricidad en México. En el portal web del Sistema de Información Energética (SIE), se consiguió una generación bruta de electricidad por tecnología, dada por una cantidad de 3 806.81 TWh. Las centrales eléctricas que participaron en México para la producción total de esta energía eléctrica, fueron las siguientes: las tecnologías de turbogás, termoeléctrica, combustión interna, carboeléctrica, geotermoléctrica, nucleoléctrica, hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica. A continuación, se describe la colaboración de cada central eléctrica en México.

La central de turbogás contiene una capacidad de energía de 504.25 GW, con esta central se aportó un total de electricidad de 65.80 TWh, esto representa el 1.72% del total en el país. Cabe mencionar que en el año 2003 la tecnología registró una máxima de electricidad de 6 934.43 GWh y en el año 2005 una cantidad mínima de 1 358.17 GWh. En el año 2006 se ha generado 1 523.12 GWh, este valor incrementó la producción de electricidad en un 12.14% respecto al año 2005; de esta forma la generación de energía eléctrica se estuvo recuperando hasta el año 2012 con una aportación de 6 216.61 GWh. En el año 2014 se ha reportado una caída en la generación de electricidad logrando una cantidad de 2 877.62 GWh, en relación con el año 2013 se presentó un decremento de -25.10%. Nuevamente la producción de electricidad siguió creciendo hasta el año

2017, registrando un valor de energía eléctrica de 5 990.09 GWh, en balance con el año 2016 se ha adquirido una tasa de crecimiento de 1.65%.

La central termoeléctrica tiene una capacidad instalada de energía de 5 910.76 GW, esta tecnología ha logrado una producción total de electricidad de 2 550.93 TWh, es decir el 67.01% del total del país. En el año 2002, se generó una cantidad mínima de energía eléctrica de 130.31 TWh y en el año 2016 una electricidad máxima de 180.73 TWh. Con la información obtenida, en el año 2014 se ha registrado una caída de generación de energía eléctrica de 168.73 TWh. En este año se obtuvo una disminución de electricidad de -5.78%, el dato porcentual se obtiene al realizar la comparación con el año 2013, donde se colaboró con una producción de electricidad de 179.09 TWh. Para el año 2015 se ha reportado un aumento de electricidad de 177.14 TWh, equivalente a una tasa de crecimiento de 4.99% en relación con el año 2014.

La tecnología de combustión interna posee una capacidad de energía de 43 GW, esta central colaboró con un total de energía eléctrica de 19.09 TWh, equivalente al 0.5% del total de la producción nacional. En el año 2002 se generó una cantidad mínima de electricidad de 555.48 GWh y en el año 2016 un valor máximo de 1 881.59 GWh; con la información recolectada en el SIE, se puede observar que en el año 2003 hubo un crecimiento en la producción de electricidad de 754.90 GWh, si este año se compara con el año 2002 el aumento representa un 35.90% en la producción. En el año 2004 la planta eléctrica produjo 609.75 GWh de electricidad, de modo que en este año se ha reportado un descenso de generación de energía eléctrica de -19.24%, este porcentaje es considerado por el balance con el año 2003. Después del año 2004 ha crecido la producción de electricidad hasta el año 2010 con una cantidad de 1 242.32 GWh. En el año 2011 se presentó un descenso en la generación de electricidad de 1 131.31 GWh. Con el balance realizado entre estos dos años se obtuvo un decremento de -8.94%. Asimismo, se ha incrementado la producción de energía eléctrica, logrando hasta el año 2013 una cantidad de 1 498.98 GWh; y en el año 2014 se reportó una disminución de 1 465.72 GWh, revelando una reducción de -2.22% de electricidad respecto al año 2013.

La central carboeléctrica tiene una capacidad de energía de 590.88 GW, esta tecnología participó con una generación total de electricidad de 320.74 TWh, la cual corresponde al 8.42% del total de la producción nacional; los datos adquiridos por el SIE muestran que en el año 2013 se consiguió una electricidad mínima de 16 044.44 GWh y en el año 2016 una máxima de 34 208.20 GWh. Durante los años 2002 hasta el 2005 se ha reportado un crecimiento en la producción de electricidad equivalente a 18 380.28 GWh. En balance con el año 2004 se ha presentado un aumento de 2.78%.

Respectivamente, en los años 2009 y 2010 se obtuvieron los totales de 16 886.20 GWh y 16 485.07 GWh, con estas cantidades se ha notado una variación mínima en los valores obteniendo una caída de -2.38%. En cambio, en el año 2011 aumentó la electricidad a 18 158.43 GWh; en balance con el año 2010 se logró un aumento del 10.15%. Después de este año, con el conjunto de datos se muestra una reducción en la producción de electricidad, registrando en el año 2013 un total de 16 044.44 GWh. Posteriormente la generación de energía eléctrica incrementó, adquiriendo en el año 2016 un valor efectivo de 34 208.20 GWh. Nuevamente en el año 2017 descendió la producción de electricidad, consiguiendo un total de 30 751.59 GWh y un desplome de -10.10% respecto a la cantidad reportada en el año 2016.

La tecnología geotermoléctrica reporta una capacidad de energía de 172.65 GW, esta central eléctrica contribuyó a una producción de electricidad de 102.69 TWh, donde representa el 2.70% de la generación de energía eléctrica en el país. En el año 2007 se consiguió una cantidad máxima de electricidad de 7 403.85 GWh y en el año 2002 una electricidad mínima de 5 397.61 GWh. En el conjunto de datos del Anexo I, se muestra que desde el año 2002 hasta el año 2005 se obtuvo un aumento en la producción de energía eléctrica de 7 298.51 GWh. En cambio, en el año 2006 se obtuvo una caída de electricidad de 6 685.38 GWh, es decir, se obtuvo una disminución de energía eléctrica de -8.40%. Con la producción de electricidad del año 2007 y del año 2006 se ha dado una tasa de crecimiento anual de 10.75%. No obstante, a partir del año 2007 la producción de electricidad fue reduciendo hasta obtener en el año 2012 una caída de 5 816.64 GWh, en balance con el año 2011 se obtuvo un declive anual de -10.60%, y con el año 2013 se ha logrado un crecimiento de 4.35%, con una producción de electricidad de 6 069.71 GWh; durante este año se ha observado un incremento de electricidad hasta el año 2015, donde se alcanzó una producción bruta de 6 292.15 GWh. Nuevamente, en los años 2016 y 2017 se ha originado una baja en la generación de energía eléctrica de 6 032.80 GWh y 5 924.53 GWh, respectivamente. En balance con los años 2015 y 2016 la producción de electricidad presentó una caída de -4.11% y en los años 2016 y 2017 una disminución de -1.79%.

La central nucleoelectrónica o planta nuclear representa una capacidad de energía de 273.17 GW, esta tecnología aportó 161.08 TWh de electricidad, la cual representa el 4.23% de la producción bruta nacional. Con los valores obtenidos de la central, en el año 2010 se consiguió una cantidad mínima de electricidad de 5 879.24 GWh y en el año 2013 un valor máximo de 11 799.86 GWh. En el año 2004 se ha obtenido una disminución en la generación de electricidad de 9 193.93 GWh y en el año 2003 un incremento de electricidad de 10 501.50 GWh, en balance entre los dos años

se manifiesta un declive de -12.45%. En el año 2005 se logró una tasa de crecimiento anual de 17.52%, obteniendo una producción de energía eléctrica de 10 804.90 GWh. En el año 2009 se reportó una electricidad de 10 501.07 GWh y en el año 2010, tal como se mencionó se ha adquirió un valor mínimo de electricidad, el balance anual representa una caída de energía eléctrica de -41.01%. Y en el año 2011 se logró un aumento de electricidad de 10 089.19 GWh, en comparación con el año 2010 la producción de energía eléctrica creció un 71.61%.

La central eléctrica eólica, contiene una capacidad de energía de 42.02 GW, con esta central se produjo un total de electricidad de 13.80 TWh equivalente a un 0.36% de la generada en todo el país. Con los datos obtenidos de esta tecnología se ha reportado en el año 2016 una electricidad máxima de 2 461.54 GWh y en el año 2005 una producción mínima de 4.99 GWh. En el año 2009 se aportó una cantidad de electricidad de 249.24 GWh y en el año 2010 se obtuvo una electricidad de 166.39 GWh, en balance con los dos años se ha obtenido un declive de -33.24%; En el año 2011 hubo una producción de electricidad de 357.28 GWh, en balance con el año 2010 se alcanzó un incremento de 114.72%. Durante el año 2012 hasta el año 2016 se ha reportado un incremento de electricidad de 2 461.54 GWh. Y en el año 2017 se registró un descenso de electricidad de 1 976.43 GWh, obteniendo una caída anual de electricidad de -19.71%.

La central hidroeléctrica posee una capacidad de energía de 2 143.03 GW, con esta central se ha conseguido una producción efectiva de electricidad de 478.69 TWh la cual representa el 12.57% de la generación total del país. Con los datos adquiridos por esta tecnología, en el año 2008 se consiguió una cantidad máxima de electricidad de 38 892.03 GWh y en el año 2003 una electricidad mínima de 19 753.19 GWh; después de este año se estuvo incrementando la producción de energía eléctrica hasta el año 2006 donde se aportó un total de 30 304.84 GWh, asimismo en el año 2007 se obtuvo una electricidad de 27 042.15 GWh, en balance a estos dos años se obtiene una caída en la producción de -10.77%. Tal como se ha mencionado, en el año 2008 se adquirió un valor máximo de electricidad, de modo que al realizar el balance con el año 2007 se asume un crecimiento de 43.82%. En el año 2009 se ha reportado un descenso de electricidad de 26 444.96 GWh, esto representa una baja anual de -32% en relación con el año 2008. En el año 2010 se ha registrado un aumento en la producción de energía eléctrica de 36 738.46 GWh, con una tasa de crecimiento anual de 38.92%. Nuevamente para el año 2013 se obtiene una disminución en la producción de electricidad logrando un total de 27 444.13 GWh, y en el año 2012 un total de electricidad de 31 316.57 GWh, con estos valores efectivos se adquiere un declive anual de -12.37%. En el año 2014 la hidroeléctrica generó un valor pico de electricidad de 38 144.77 GWh, en comparación con el

año 2013 se obtiene un crecimiento en la producción de energía eléctrica de 38.99%. En el año 2015 la central redujo la producción en 30 050.76 GWh, con este total se obtuvo una caída de producción de electricidad de -21.22% en relación con el año 2014.

Por último, la central eléctrica fotovoltaica ostenta una capacidad de energía de 341 MW, esta tecnología generó una electricidad bruta de 63.86 GWh donde representa el 0.0017% de la producción total del país. La central fotovoltaica ha registrado en el año 2013 una cantidad máxima de electricidad de 13.09 GWh y en el año 2012 un valor mínimo de 2.07 GWh. Con los datos recolectados por la central, se muestra que desde el año 2002 hasta el año 2011 no se han registrado cantidades de la producción de electricidad. A partir del año 2012 hasta el año 2017 comienzan los registros de la producción de energía eléctrica, logrando así una cantidad bruta de 10.89 GWh. Para el balance entre los años 2013 y 2014 se registra una caída anual de electricidad de -3.06%, de igual forma al comparar los años 2016 y 2017 se obtiene un decremento anual en la producción de electricidad de -11.86%. En la Figura 2.15, se muestran los porcentajes equivalentes de la generación total de electricidad por tecnología.

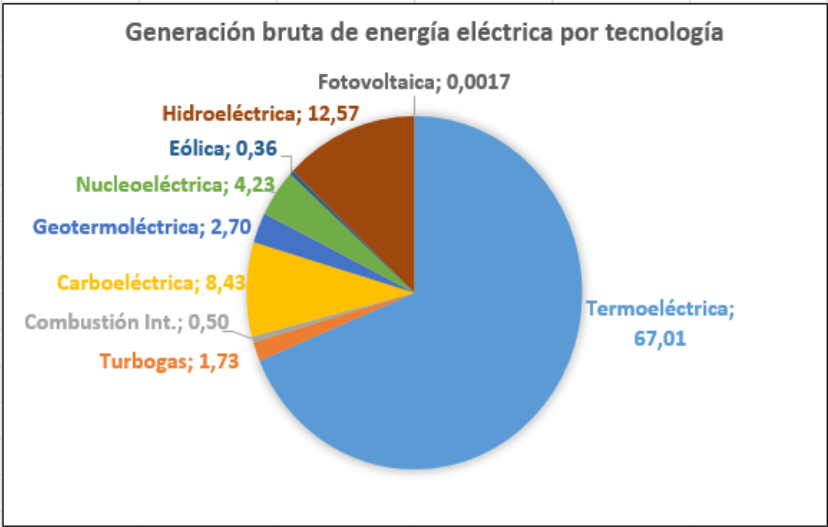


Figura 2.15 Representación gráfica de la participación de la generación total de electricidad por tecnología en México.

2.5.2 Progreso en el sector energético en Quintana Roo.

En este apartado se presenta el desarrollo del sector energético en el estado de Quintana Roo, de este modo con el Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER) se obtuvieron datos históricos referentes a un periodo del 2002 hasta 2017. Esta información es

dada por las centrales eléctricas que se encuentran instaladas en la entidad federativa, con esto se expone la capacidad efectiva de energía por año. En el país se ha reportado una capacidad total de energía de 9 662.47 GW, este total ha sido entregado con la participación de 27 entidades federativas incluyendo plantas eléctricas móviles; en el estado de Quintana Roo se ha dado una aportación de capacidad de energía de 70 847.77 MW, esto es el 0.73% de la capacidad total en el país. En el año 2012 se ha logrado una capacidad máxima de energía de 22 261.53 MW y en el año 2002 una cantidad mínima de 3 091.24 MW, respectivamente estas cantidades corresponden a un 31.42% y el 4.36% de la capacidad bruta instalada en Quintana Roo. Sin embargo, el total de energía que se ha reportado en el año 2012 se debe a que no hubo cambios en la capacidad de energía, es decir, en los 12 meses las centrales eléctricas registraron una cantidad igual de 1 855.12 MW. En el año 2011 se observa que hubo una colaboración de 3 414.10 MW, en balance con el año 2012 se ha logrado una tasa de crecimiento anual de 552.05%. También se muestra que durante el periodo del 2013 hasta 2017 se ha registrado una capacidad uniforme de 3 448.80 MW, en la representación gráfica se visualiza que no hay cambios en la capacidad instalada de energía, de modo que en balance con el año 2012 y 2013 se obtiene un decremento de -84.51%. En la Figura 2.16 se muestra la evolución de la capacidad de energía en la entidad federativa.

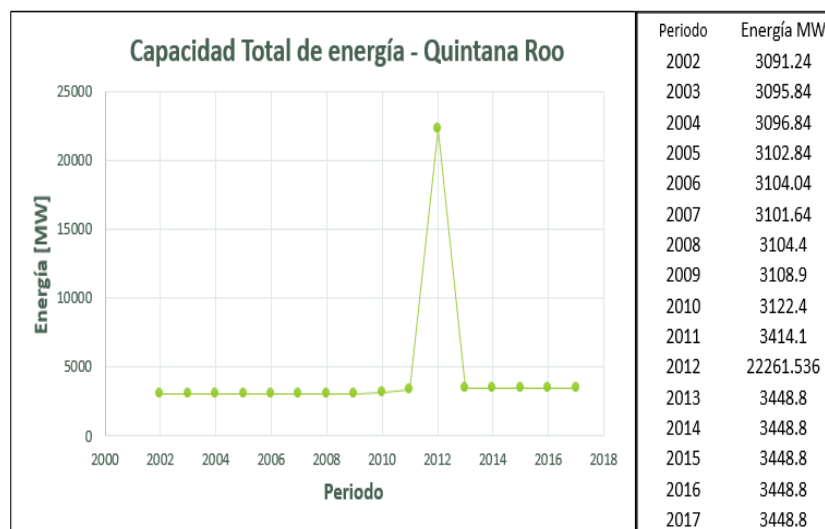


Figura 2.16 Representación gráfica del progreso de la capacidad bruta de energía en Quintana Roo, en un periodo de 2002 a 2017.

En México, la generación total de energía eléctrica está dada por 3 803.41 TWh, esta cantidad representa a un periodo de 2002 a 2017, también son aportados por las centrales eléctricas

instaladas en 27 estados de la república mexicana e incluso las plantas eléctricas móviles. La producción total de energía eléctrica que se ha generado en la entidad es de una participación de 1 575.12 GWh, esto corresponde al 0.04% de la producción total del país. Dada la información por el SIE, se han recolectado datos de generación de electricidad, de los cuales se puede observar que en el año 2003 presenta una producción máxima de electricidad de 215.46 GWh y en el año 2011 una producción mínima de 28.70 GWh, respectivamente estos valores representan el 13.68% y el 1.83% de la generación total en la entidad. Para los puntos dados en la gráfica se exhibe un primer descenso en el año 2004 con una aportación de energía eléctrica de 104.14 GWh, en balance con el año anterior se obtiene un declive de -51.66%. En el año 2005 se ha registrado un crecimiento de electricidad de 201.39 GWh equivalente al 93.37% respecto al año 2004.

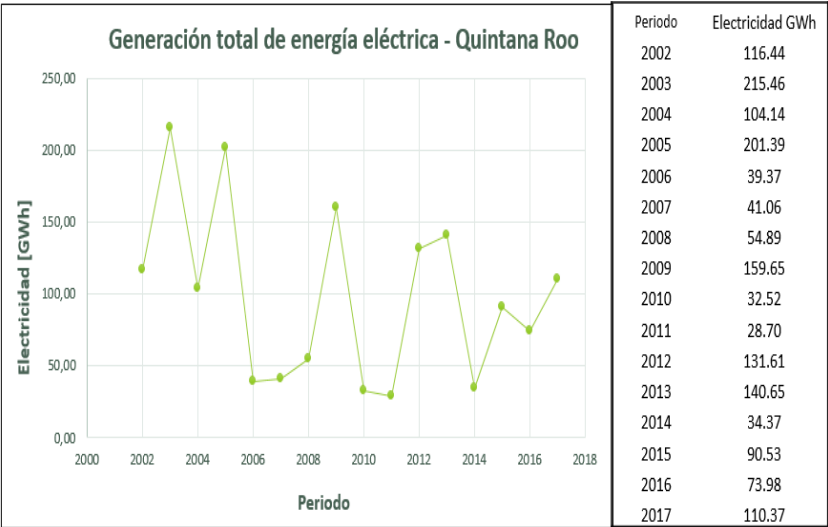


Figura 2.16 Representación gráfica del progreso de la generación total de energía eléctrica en Quintana Roo, en un periodo de 2002 a 2017.

La segunda disminución importante en la producción de electricidad se da en el año 2006 con una cantidad de 39.37 GWh, que corresponde a -80.45% en balance con el año 2005. Desde el año 2006 se ha incrementado la generación de energía eléctrica hasta llegar en el año 2009 con un valor pico de 159.65 GWh. De nuevo en el año 2011 se registró un descenso en la producción de electricidad de -11.75% en comparación con el año 2010. No obstante, en el año 2013 se ha logrado una generación de electricidad de 140.65 GWh y en el año 2014 se obtuvo otra mayor caída en la producción de electricidad de 34.37 GWh, esto representa a una caída de -75.56%. En el año 2015 se vuelve a registrar un incremento de electricidad de 90.53 GWh, respecto al año 2014 el valor

total corresponde a una tasa de crecimiento anual de 163.40%. En la Figura 2.16 se muestra la generación de electricidad en Quintana Roo a partir del año 2002 hasta el 2017.

De acuerdo con los reportes anuales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el estado de Quintana Roo se suministra el servicio de energía eléctrica a los usuarios que se clasifican por el sector doméstico, comercial, servicios, agrícola e industrial. De esta manera se describe la evolución de las ventas totales y suministro de energía eléctrica a usuarios de la entidad Federativa en un periodo de 2002 hasta 2019. Tal como se muestra en la Figura 2.17, durante 17 años se ha incrementado el servicio de electricidad en los consumidores, por lo que se ha conseguido un total efectivo de 8 848 429 usuarios, esta cantidad representa el 1.41% del total en el país.

En el año 2019 se ha logrado una cantidad máxima de 772 336 clientes y en el año 2002 una cantidad mínima de 262 756 clientes. Los años que se han reportado con una mayor tasa de crecimiento anual en usuarios se puede mencionar del siguiente modo: en el año 2004 con 8.64%, el año 2006 con 8.29%, el año 2008 con 8.07% y el año 2003 con el mayor incremento de consumidores de electricidad de 9.34%. Por el contrario, los años que registraron un descenso de usuarios con el servicio de energía eléctrica son los siguientes: en el año 2012 con 4.69%, el año 2015 con 4.08% y el año 2009 con una caída de 3.60%.

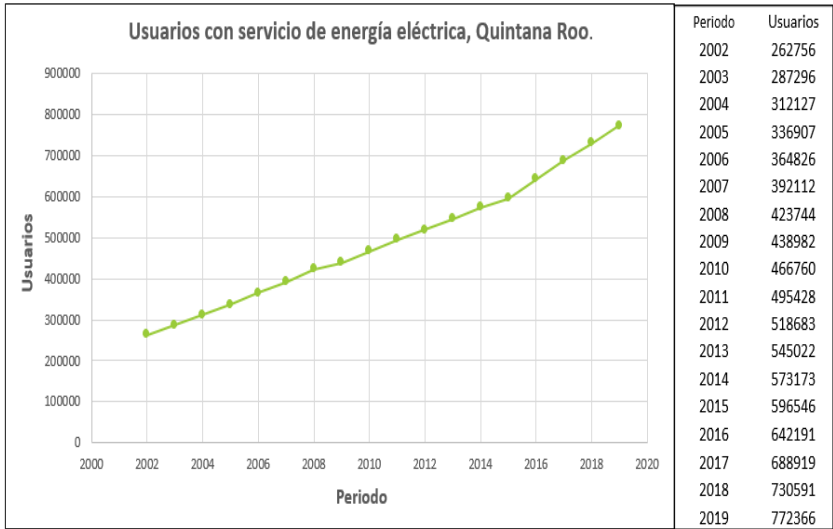


Figura 2.17 Representación gráfica del crecimiento de usuarios con electricidad en Quintana Roo, en un periodo de 2002 hasta 2019.

Con los mismos datos históricos que se han recolectado en la CFE, se exponen las ventas de electricidad en el estado de Quintana Roo durante un periodo de 2002 a 2019. La venta efectiva en

la entidad está entregada por 65 080.60 GWh, donde representa el 1.91% del total de ventas en el país. También en el año 2019 se ha reportado un valor máximo en ventas de 5 297 400.00 MWh y en el año 2002 una cantidad mínima de 2 176 166.00 MWh. Asimismo, los años que han reportado una mayor tasa de crecimiento anual en ventas de electricidad son las siguientes: en el año 2008 con una venta efectiva de 3 543 614.00 MWh, correspondiente a una tasa de crecimiento anual de 9.92%, esto es una aportación de electricidad a 423 744 clientes.

En el año 2018 con una venta de energía eléctrica de 5 012 400.00 MWh, equivalente a un incremento anual en ventas de 11.28%, con ello se ha facilitado electricidad a 730 591 clientes. En el año 2006 con una venta total de 2 772 850 MWh, con estas ventas se ha dado un incremento anual de 12.02%, suministrando electricidad a 364 826 usuarios. Y en el año 2007 se ha registrado un mayor crecimiento anual en ventas de electricidad de 16.26%, con una venta reportada de 3 223 757.00 MWh, con este total se ha abastecido electricidad a 392 112 consumidores. En la Figura 2.18 se muestra el progreso de las ventas de electricidad en el estado de Quintana Roo.

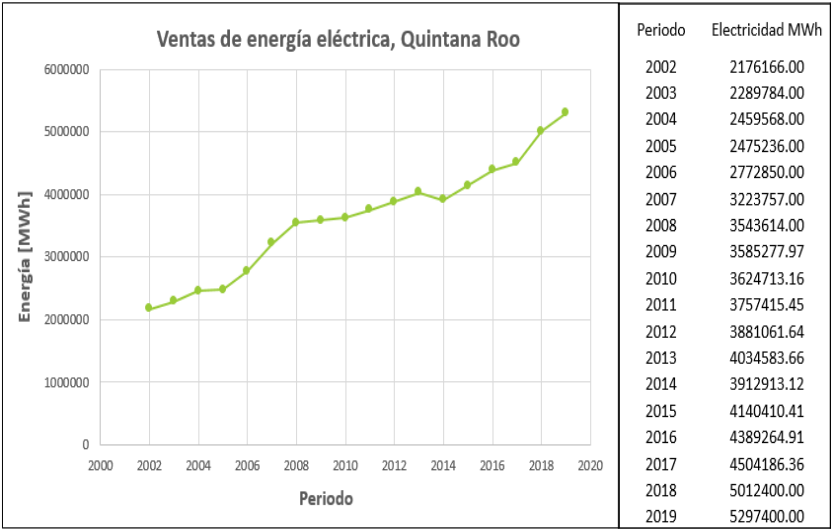


Figura 2.18 Representación gráfica del progreso de las ventas totales de electricidad, en un periodo de 2002 hasta 2019.

Los años que obtuvieron una menor tasa de crecimiento anual en las ventas de energía eléctrica, se exponen de la siguiente manera: en el año 2009 se ha suministrado energía eléctrica a 438 982 usuarios, con un total en ventas de 3 585 277.97 MWh, este total es equivalente a un incremento anual en ventas de 1.18%. En el año 2010 se abasteció electricidad a 466 760 usuarios, con un total de ventas de 3 624 713.00 MWh, esta cantidad corresponde a un incremento anual en ventas de

1.10%. En el año 2005 se ha entregado energía eléctrica a 336 907 clientes, obteniendo una venta total de electricidad de 2 475 236.00 MWh, esto pertenece a un incremento anual en ventas de 0.64%. Aunque en el año 2014 se ha reportado una venta total de 3 912 913.12 MWh y una contribución de electricidad a 573 173 usuarios, la caída anual en ventas fue de -3.02%.

2.5.3 Consumo de energía eléctrica en el estado de Quintana Roo.

En el estado de Quintana Roo se considera que el consumo de energía eléctrica tiene un aumento anual, se ha reportado durante el año 2002 hasta el 2017 un consumo total de electricidad de 54 770.80 GWh, el cual corresponde el 1.85% del consumo total en México. De los datos recolectados se exhibe en el mes de febrero del año 2002 un consumo mínimo de electricidad de 150.176 GWh y en el mes de septiembre del año 2017 un consumo máximo de 490.151 GWh. Desde el periodo del 2002 hasta el 2017 se ha obtenido un grado de tendencia positiva donde cada año se presenta un incremento de 16.21 GWh, además en la dispersión de los datos de la Figura 2.19 se observa una línea de ajuste creciente.

De la información recolectada se han tomado en cuenta los meses que contienen los valores con mayor consumo de electricidad, tal como el año 2005 que ha registrado un consumo total de energía eléctrica de 2 475.23 GWh, además se ha conseguido una tasa de crecimiento anual de 0.64%, asimismo en el mes de noviembre se presentó una disminución en el consumo de energía eléctrica de 154.692 GWh y en el mes de septiembre un aumento de 246.325 GWh. En el año 2010 se ha exhibido un consumo efectivo de electricidad de 3 624.71 GWh, con este total se obtuvo un incremento anual de 1.10%, en este mismo año en el mes de febrero se registró una caída en el consumo de electricidad de 240.92 GWh y en el mes de julio un incremento de 365.16 GWh. En el año 2006 se consiguió una tasa de crecimiento anual de 12.02% con un consumo total de 2 772.85 GWh, en este año en el mes de febrero se adquirió un descenso en el consumo de electricidad de 170.363 GWh y en el mes de septiembre un crecimiento de 272.995 GWh. Respecto al año 2007 se ha logrado un crecimiento total en el consumo de energía eléctrica de 3 223.75 GWh, con esta cantidad de electricidad se alcanzó una tasa de crecimiento anual de 16.26%, en este año se han presentado valores con menor y mayor consumo de electricidad, donde en el mes de febrero se reportó un consumo de electricidad de 231.70 GWh y en el mes de julio un total de 311.69 GWh. Para terminar, solo en el año 2014 se presentó un declive anual en el consumo de electricidad de -3.02%, en este mismo año se obtuvo un consumo total de electricidad de 3 912.91

GWh, con esta cantidad distribuida se ha reportado en el mes de febrero un consumo mínimo de electricidad de 301.83 GWh y en el mes de agosto una máxima de 411.34 GWh.

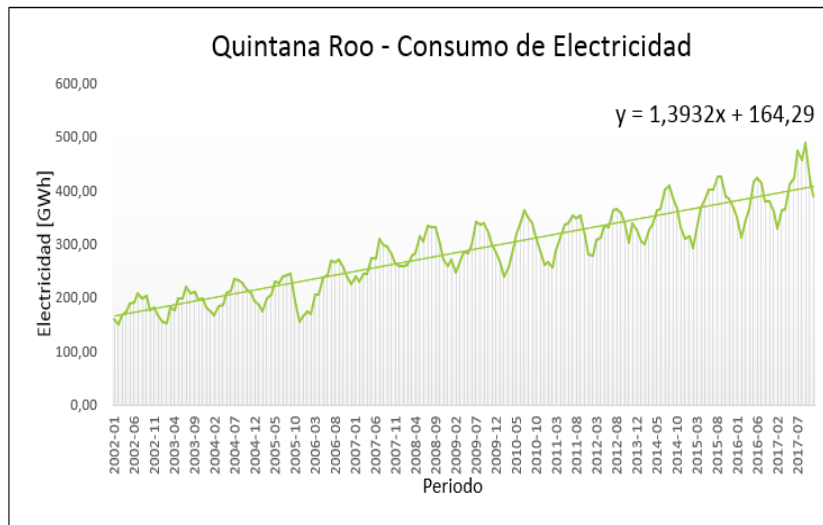


Figura 2.19 Representación gráfica de los datos de consumo de energía eléctrica del estado de Quintana Roo, México, en un periodo de 2002 hasta 2017.

En la Figura 2.20 se expone el comportamiento del consumo de energía eléctrica por persona en un periodo de 2000 hasta el 2020, en el sitio web del INEGI se ha adquirido información de la población de la entidad federativa y en el portal web de la SENER se obtuvieron los totales de consumo de energía eléctrica. Como se muestra en la representación gráfica, en el año 2020 se registró un mínimo uso de electricidad por individuo de 1 141.72 KWh, en este mismo año el INEGI reportó una población total en Quintana Roo de 1 857 985 habitantes y SENER registró un consumo de energía eléctrica de 2 121.30 GWh. En el año 2015 se ha presentado un incremento en el consumo de electricidad por persona de 2 749.66 KWh, esta cantidad corresponde a una población total de 1 505 785 usuarios y un consumo de electricidad de 4 140.41 GWh.

También desde este año hasta el año 2020 se puede observar que hay una inclinación de -58.47% en el consumo de energía eléctrica por persona. En cambio, en los años 2005 y 2010 se ha reportado un crecimiento de 25.42% en el uso de electricidad por cada habitante, respectivamente en los dos años se adquirió un uso de electricidad por persona de 2 180.23 KWh y 2 734.43 KWh. Todavía entre los años 2000 y 2005 se ha conseguido un crecimiento en el consumo de electricidad por individuo de 1.97%, igualmente durante los años 2010 y 2015 alcanzaron un incremento en el consumo de energía eléctrica de 0.56%.

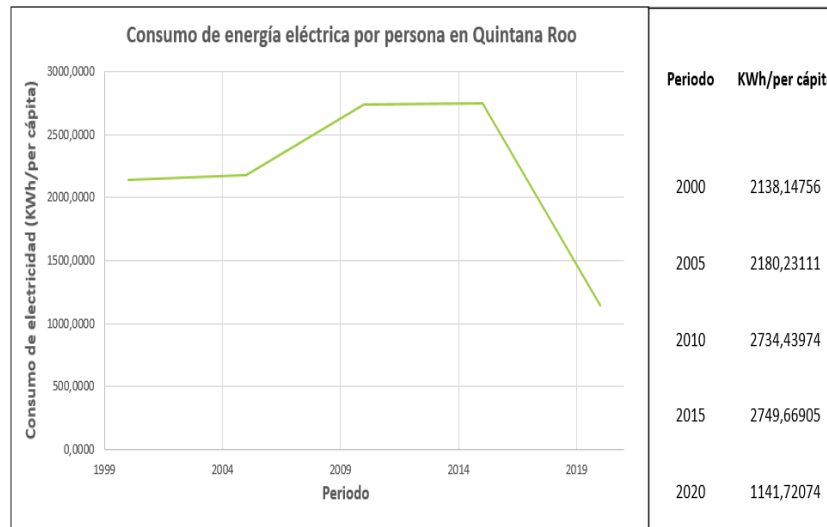


Figura 2.20 Representación gráfica del consumo de electricidad per cápita del estado de Quintana Roo, en un periodo del 2000 hasta 2020.

Por último, como información relevante, la PRODESEN refiere que desde el año 2014 hasta en la actualidad existe un proyecto de interconexión en la isla de Holbox, el cual está ubicada en el extremo norte de la entidad federativa, muy cerca del municipio de Lázaro Cárdenas. Las actividades de la isla demandan una energía de 2.5 MW, con ello se abastecen por medio de una central eléctrica con capacidad de 3.2 MW, está conformada por cuatro unidades de combustión interna por diésel a 440 V y dos plantas móviles adicionales como respaldo con la capacidad de 1.8 MW. También se cuenta con dos circuitos de distribución, 1 422 centros de carga de baja tensión y 23 en media tensión.

De igual forma existen dos interconexiones internacionales con Centroamérica, una de ellas se localiza en el estado de Quintana Roo y se enlaza con Belice, la otra se ubica en el estado de Chiapas y se vincula con Guatemala. Con la interconexión Peninsular, el enlace está desde la localidad Xul-Ha, ubicada al sur en la ribera de la Laguna de Bacalar hasta la ciudad de West ubicada en Belice, la capacidad de transferencia es de 55 MW y la capacidad total de transferencia es de 70 MW, con un nivel de tensión de 115 kV.

Por otro lado (CENACE, 2020-2034), revela que en el año 2017 la energía eléctrica del enlace internacional de Xul-Ha a West, tuvo una importación de 27.62 MWh y una exportación de 230 085 MWh, además en el año 2018 incrementó la exportación de energía eléctrica en 235 046 MWh, en ese mismo año aumentó la importación de electricidad hasta 143.79 MWh. En el año 2019 se

redujo la importación de electricidad en 12.58 MWh y en la exportación se logró un aumento de 383 725 MWh. Y en el año 2020 se logró una importación de 23.45 MWh con una exportación de 270 309 MWh.

Capítulo 3. Estadística descriptiva.

La estadística descriptiva es la ciencia matemática que se utiliza para analizar y describir un conjunto de datos cuantitativos, además se puede realizar un estudio del comportamiento de la información, logrando gráficas, un resultado numérico específico, y principalmente el cálculo de las medidas de tendencia central, tales como: la moda, mediana, media geométrica; o bien, las medidas de dispersión, como: la regresión lineal, desviación estándar, rango y la varianza.

Los valores numéricos serán recolectados mediante una base de datos, informes anuales o por estaciones meteorológicas, asimismo se ha considerado que tengan una gran dimensión periódica con diferentes características. En esta investigación se ha elegido un software informático moderno especializado para la obtención de los modelos matemáticos, cálculos estadísticos, mapas y gráficas; el software de MATLAB se tomó en cuenta para el análisis estadístico, con este programa se logra un algoritmo para la solución de problemas matemáticos y el procesamiento de la información.

3.1 Regresión lineal simple.

La regresión lineal es un método estadístico en el que se realiza un cálculo con un conjunto de datos logrando una representación gráfica de la dispersión y por encima de esta una recta de regresión lineal, también conocida, como la recta del mejor ajuste; o bien recta de mínimos cuadrados. Con el método estadístico se puede obtener una expresión algebraica que puede ser utilizada para predicciones, además esto podría describir la relación entre la variable independiente y la variable dependiente, donde la primera variable en ocasiones es llamada la variable de predicción, o variable explicativa, esta es expresada por una letra “x”. La segunda variable a veces es nombrada la variable de respuesta y se expresa con una letra “y”, (véase en la Figura 3.1).

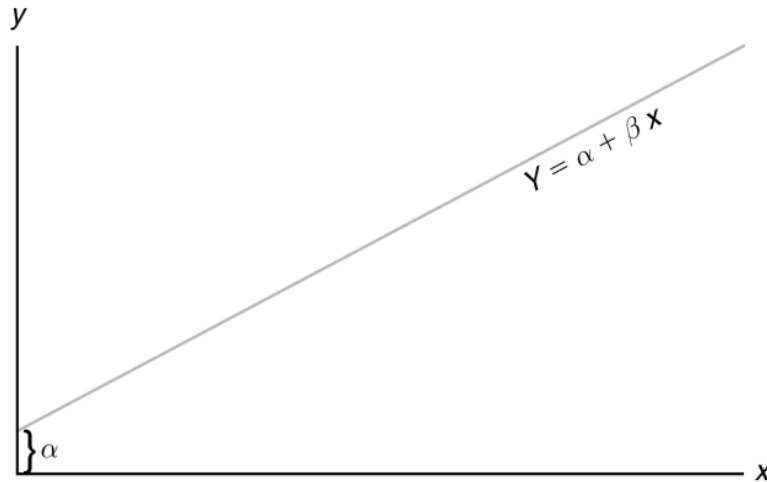


Figura 3.1 Relación lineal positiva.

Fuente: (Johnson & Kuby, 2008).

El modelo matemático de la regresión lineal simple es similar a la ecuación de la recta y está dada por la siguiente expresión matemática (3.1):

$$y = \alpha + \beta x \quad (3.1)$$

Las características de la ecuación son: el parámetro α es la intersección en la variable independiente y el parámetro β es conocida como la pendiente, los parámetros mencionados se pueden calcular como se muestran en los siguientes términos matemáticos (3.2) y (3.3):

$$\beta = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3.2)$$

$$\alpha = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3.3)$$

Las expresiones matemáticas (3.2) y (3.3), se pueden calcular con el uso de la tecnología, es decir, existen algunas herramientas de trabajo escolar, como las graficadoras, calculadoras, programas de cómputo y aplicaciones para los teléfonos móviles. Sin embargo, el modelo de la regresión lineal se podría utilizar para interpretar los efectos en una variable, esto es cuando la variable presenta cambios en un conjunto determinado.

Con el estudio de la regresión lineal se han obtenido algunos casos particulares, tales como: una pendiente positiva o negativa, además se podría presentar una regresión curvilínea, donde se expone una expresión cuadrática, también que no haya relación alguna, este caso depende del conjunto de datos cuantitativos por sus distintas características. Por otro lado, los modelos de regresión en ocasiones son utilizadas para las predicciones en la vida real, como, por ejemplo: las

ventas anuales de una tienda departamental, los pronósticos del clima e incluso se utilizan en la medicina para las curas de enfermedades. A continuación, se muestran algunos modelos matemáticos de predicción.

Lineal	$y = \alpha + \beta x$
Cuadrático	$y = a + bx + cx^2$
Exponencial	$y = a(b^x)$
Logarítmica	$y = a \log_b x$

3.1.1 Requisitos y lineamientos para la técnica de la regresión lineal.

Según el libro (F. Triola, Estadística, 2009), manifiesta que los requisitos para la aplicación de la regresión lineal simple corresponde a un conjunto de datos cuantitativos aleatorios apareados, esto es, que los diversos datos se encuentran en la variable dependiente e independiente, además los puntos en la dispersión descriptiva deben aproximarse a una línea recta, a su vez que la distribución de los datos en la variable respuesta posean una distribución con forma de campana, y las medias deberán estar situadas en la misma línea recta, asimismo con la revisión del conjunto de datos se deberán desechar las muestras que tengan un valor excesivo, se debe realizar si se sabe que es un error, de lo contrario tendría efectos en el método estadístico.

A veces cuando se utiliza la expresión de regresión lineal para la predicción se presentan los errores y se deben considerar los siguientes lineamientos: si no existe una correlación entre los datos cuantitativos no utilizar la ecuación de regresión lineal, ya que sería un error que viola este lineamiento. Se debe considerar en el ámbito los datos cuantitativos disponibles, esto es si existen dos variables que se asocian, por ejemplo: la estatura y el número de calzado de los hombres; sería una equivocación predecir la talla de calzado de un hombre que mide 5 pies de estatura. Así también, una ecuación de regresión lineal que está fundamentada en datos antiguos no es precisamente válida en la actualidad. Por último, no se debe realizar predicciones acerca de una población distinta, por lo que debe ser la población en donde se recolectaron los datos cuantitativos.

3.2 Correlación lineal.

Una definición básica de la correlación es cuando se presenta entre dos variables, es decir cuando una de las variables está asociada con la otra. De acuerdo con (F. Triola, Estadística, 2009), la correlación lineal es un coeficiente de medida que indica la relación lineal entre dos variables cuantitativos y el coeficiente se identifica con el símbolo de la “r”. La correlación lineal también

se conoce como el coeficiente de correlación de Pearson (llamado producto - momento de Pearson), el matemático Karl Pearson fue quien desarrolló este factor de medida en el año de 1900. Con el coeficiente de correlación se puede adoptar cualquier valor de -1 a +1, en el caso de obtener este indicador, la correlación corresponde a ser perfecta. La expresión matemática (3.4) se utiliza para el cálculo de la correlación lineal:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (3.4)$$

La notación científica de las variables es de la siguiente manera:

- n Es el número de los datos cuantitativos.
- $\sum x$ Nos indica que se deben sumar todas las muestras de la variable x .
- $\sum y^2$ Nos indica que cada valor de la variable y se deben elevar a la potencia dos y posteriormente deben sumarse esos cuadrados.
- $(\sum x)^2$ Es la suma de todas las muestras de la variable x y el total se debe de elevar a una potencia de dos.
- $\sum xy$ Es la multiplicación de cada muestra de la variable x con la variable y , posteriormente se suman los productos obtenidos.
- r Es el coeficiente de correlación lineal de un conjunto de datos cuantitativos.

Para cualquier recolección de datos cuantitativos comparados (x , y), se debe calcular el coeficiente de correlación lineal para obtener un análisis del comportamiento de las muestras, para ello se deben cumplir los siguientes requisitos: como las cantidades de la variable dependiente e independiente, los cuales se exhiben con una muestra aleatoria simple de los datos cuantitativos. El análisis visual de los diagramas de dispersión, donde los puntos se aproximan a un modelo de una línea recta. Los resultados podrían ser afectados por valores extraños, es preciso eliminar cualquier cantidad extrema, sabiendo que se trata de un error.

3.2.1 Propiedades y características de la correlación lineal.

Para realizar el análisis de un conjunto de muestras, se debe considerar las siguientes propiedades para la correlación lineal: El valor del coeficiente de correlación siempre estará en el rango de -1 a +1 y se presenta con la expresión matemática: $-1 \leq r \leq +1$. Si la mayoría de los valores de diferente variable de “ r ” se transforman a una escala diferente, el resultado del coeficiente de correlación no cambia. El valor de “ r ” no debe de ser afectado por la elección de la

variable dependiente e independiente, es decir si son intercambiados todos los valores de “x” y “y”, el resultado del coeficiente de correlación no cambiará. El coeficiente de correlación mide la fuerza de una relación lineal, pero no está diseñada para medir la fuerza de una relación no lineal, además es sensible ante los valores extraños, de modo que si existe un único valor de este tipo podría afectar drásticamente el resultado.

También, se deben considerar algunas características para el coeficiente de correlación lineal, las cuales se resumen a continuación: El coeficiente de correlación de las muestras se identifica por lo general con la letra minúscula “r”. El coeficiente de correlación muestra la dirección y la fuerza de la relación lineal, es decir una recta pendiente entre dos variables en escala de intervalo. Como se ha dicho, varía en un rango de -1 hasta +1. Si en el coeficiente de correlación existe un valor muy cercano a 0, demuestra que hay poca relación entre las variables. Si se obtiene un valor muy cerca del 1, indica una asociación directa entre las variables y representa una recta lineal creciente, donde los puntos están encima de una pendiente perfecta positiva.

Si se logra un valor bastante cercano a -1, se concluye que hay entre las variables una asociación inversa, por lo que posee una recta lineal descendiente, donde los puntos están arriba de una pendiente perfecta negativa. La importancia de la correlación lineal es indicar la relación entre dos variables cuantitativas, los valores obtenidos son unidimensionales que pueden estar entre -1 hasta +1. Los rangos de correlación también se pueden interpretar de la siguiente manera: si el coeficiente de correlación lineal tiene un rango de 0 a 0.09 sea positivo y negativo, significa que no hay una relación lineal entre los datos cuantitativos y se deduce que hay una correlación nula.

Tabla 3.1. Interpretación de las categorías de correlación lineal.

± 0.00	± 0.09	Correlación nula
± 0.10	± 0.19	Correlación muy débil
± 0.20	± 0.49	Correlación débil
± 0.50	± 0.69	Correlación moderada
± 0.70	± 0.84	Correlación significativa
± 0.85	± 0.95	Correlación fuerte
± 0.96	± 1.00	Correlación perfecta

Si se consigue un rango entre 0.20 a 0.49 (positivo o negativo), indica una correlación débil entre los datos cuantitativos. Si el rango está entre 0.70 a 0.84 (negativo o positivo), se dice que la

asociación de las variables cuantitativas es significativa. Por último, si el rango reside entre 0.96 a 1.00 (negativo o positivo), se puede concluir que presenta una relación perfecta entre los datos cuantitativos, además como se ha mencionado anteriormente, puede representar una pendiente ascendente o descendente entre la variable “y” y “x”. En la Tabla 3.1 se describen todas las opciones para la interpretación del coeficiente de correlación lineal.

Según (F. Triola, Estadística, 2018), los errores más comunes en la correlación lineal se efectúan cuando se interpretan los resultados alcanzados. Un error común es concluir que la correlación implica causalidad. Otro error proviene de los datos promedios, es decir, que los promedios eliminan la variación individual y pueden expandir el coeficiente de correlación. Un último error implica en la propiedad de linealidad, por lo que, si no existe una correlación lineal, podría existir una correlación que no es lineal.

3.3 Prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada (χ^2).

Como plantea (F. Triola, Estadística, 2018), Karl Pearson es conocido como uno de los padres de la estadística moderna fue quien inventó la chi-cuadrada (χ^2) y la correlación lineal en el año de 1900. La chi-cuadrada se utiliza actualmente a menudo en la economía y negocios, también es una de las técnicas estadísticas usadas en la evaluación de datos de conteo o frecuencias (número de veces que se repite el valor de una variable). Para el uso de la distribución chi-cuadrada (χ^2), se debe considerar las siguientes propiedades, véase también la Figura 3.2:

- 1.- χ^2 no es negativa en su valor, es decir, es de 0 a infinito; o positivo por la suma de valores elevados al cuadrado.
- 2.- χ^2 no es simétrica y se inclina a la derecha.
- 3.- χ^2 está distribuida para formar una familia de distribuciones, una distribución separada para cada número diferente en grados de libertad.

La chi-cuadrada (χ^2) es una prueba de libre distribución que mide la diferencia entre los datos esperados y observados, además existen tres métodos relevantes: la prueba de bondad de ajuste que se aplica en una sola variable, la prueba de independencia que se utiliza para dos variables y la prueba de homogeneidad que se aplica también para dos variables. En esta investigación tendrá mayor énfasis al uso de la primera prueba. Dicho esto, la prueba de bondad de ajuste tiene el objetivo de comparar las frecuencias observadas para una muestra específica, es decir, el número

de elementos de la muestra en los que la variable toma un valor o intervalo determinado además tiene el propósito en dar una respuesta por si los datos se desvían estadísticamente significativo en relación al modelo predictivo, asimismo esta prueba consiste en formular dos hipótesis: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

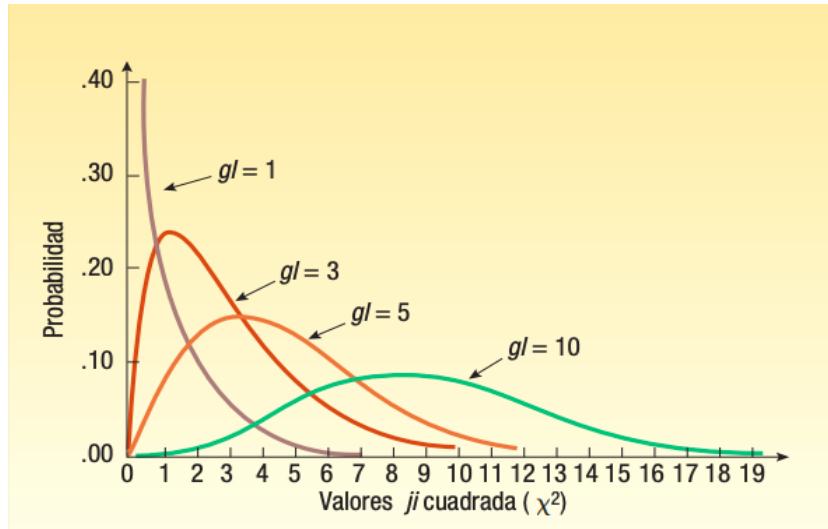


Figura 3.2. Algunas distribuciones de χ^2 en grados de libertad (gl).

Fuente: (A. Ling, G. Marchal, & A. Wathen, 2008).

La hipótesis nula (H_0), corresponde a un enunciado relativo al valor de un parámetro poblacional formulado, con el fin de probar evidencia numérica, para su interpretación se usa la frase: “no hay diferencia en la distribución afirmada”. La hipótesis alternativa (H_1), es la afirmación que se acepta si los datos de la muestra ofrecen suficiente evidencia para el rechazo de la hipótesis nula, en su interpretación se usa la frase: “hay diferencia en la distribución afirmada”.

Por otra parte, los requisitos para la aplicación de la prueba de bondad de ajuste son las siguientes: Los datos de las muestras deben ser escogidos aleatoriamente. Los datos de las muestras de diferentes clases deben ser por conteos de frecuencias. Para cada categoría, la frecuencia esperada es de al menos cinco, si la frecuencia esperada es menor a cinco puede llevar a una intervención incorrecta en la prueba de hipótesis de X^2 . Para el cálculo de la prueba de bondad de ajuste se muestra el siguiente modelo matemático (3.5), con $K - 1$ grados de libertad:

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} \tag{3.5}$$

Donde, la notación científica de las variables es de la siguiente manera:

O.- Representa la frecuencia observada de un resultado, se encuentra a partir de los datos de las muestras en una categoría particular.

E.- Representa la frecuencia esperada de un resultado, se encuentra al suponer que la distribución es como se afirma, en una categoría particular.

k.- Representa el número de categorías.

Sin embargo, en la investigación se ha considerado el método estadístico de valor *p*, el cual consiste en calcular la probabilidad usando la prueba de estadística, es decir que es el resultado de un solo número calculado a partir de los datos muestrales. Cualquiera de estas mediciones actúa para la toma de decisiones del investigador, por lo cual se decide si rechazar o aceptar la hipótesis nula. Según el libro de (Mendenhall, J. Beaver, & M. Beaver, 2010), el valor *p* es un nivel de significancia observada de una prueba estadística, es el valor más pequeño de α para el cual la hipótesis nula se puede rechazar. Si H_0 es rechazada con base al valor observado de la prueba estadística se puede cometer un error de tipo I, de modo que para la prueba estadística es el error de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. En otras palabras, en este caso el valor *p* mide la evidencia contra la hipótesis nula.

Ahora bien, si el valor *p* es pequeño, indica que el valor observado de la prueba de estadística se encuentra alejado del valor hipotético de la media, este caso representa fuerte evidencia de que la hipótesis nula es falsa y sería rechazada a favor de la hipótesis alternativa. Por el contrario, si el valor *p* es grande indica que la estadística observada de prueba no está alejada de la media hipotética y no apoya el rechazo de H_0 . Otro caso, sería si el valor *p* es menor o igual a un nivel de significancia α , entonces la H_0 puede ser rechazada y los resultados podrían ser estadísticamente significativos al nivel de significancia.

Para la interpretación del valor *p* se puede informar con un pequeño ejemplo: si en la prueba de cola a la derecha corresponde a la prueba estadística de $z = 2.03$, se puede rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 5 %, dado que la prueba estadística se excede de $z = 1.645$. También, se puede rechazar la hipótesis nula al nivel de significancia del 1%, debido a que la prueba de estadística es menor a $z = 2.33$, (véase la Figura 3.3).

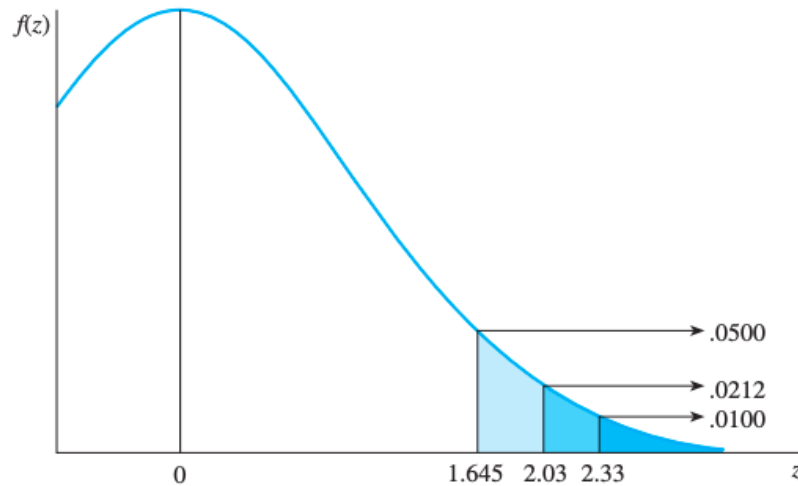


Figura 3.3 Regiones de variables de rechazo.

Fuente: (Mendenhall, J. Beaver, & M. Beaver, 2010).

Para terminar, la prueba de hipótesis formal puede determinar si existe una correlación lineal significativa entre dos variables, o sea que se debe considerar la hipótesis nula y alternativa. Se utiliza la letra ρ para representar el coeficiente de correlación lineal de la población, en otras palabras, $H_0: \rho = 0$ (no existe correlación lineal) y $H_1: \rho \neq 0$ (existe correlación lineal). Por lo tanto, si se rechaza H_0 se puede concluir que hay una correlación lineal, de lo contrario, si no se rechaza la hipótesis nula, entonces no existe evidencia alguna para que se posea una correlación lineal, (F. Triola, Estadística, 2018).

3.4 ¿Qué es el golpe de calor?

Antes de obtener una respuesta, se tiene que saber cómo el calor actúa y afecta el organismo del ser humano. Según (Finklea, y otros, 1998), los seres humanos pueden soportar temperaturas internas inferiores a los 35 °C, o superiores a 41 °C, esto es en periodos muy cortos de tiempo. La principal fuente de calor para el organismo es la producción de calor metabólico, con una eficiencia mecánica máxima entre el 75% hasta el 80% de la energía, implicada en el trabajo muscular liberada en forma de calor. Un ejemplo muy particular, es cuando existe una intensidad de trabajo moderado, la temperatura interna del organismo puede aumentar aproximadamente 1 grado Celsius cada 15 minutos, es decir, si no existe un medio eficaz para la disipación de calor.

Las personas que están en muy buena forma física pueden producir más de 1200 W de calor durante un periodo de 1 a 3 horas sin sufrir trastornos por el calor. En un trabajo en estado estable la persona genera aproximadamente 350 W de calor y consume 1 litro de oxígeno por minuto.

En reposo, el individuo posee una tasa metabólica de 0.3 litros de oxígeno por minuto, donde se crea una carga térmica de aproximadamente 100 W; por lo tanto, un individuo sin hacer absolutamente nada y sin ningún tipo de actividad física, posee un gasto de energía mínima para mantener el organismo vivo, tal como se ha dicho se genera una energía entre 65 y 100 W de calor, esto depende de la edad, sexo y superficie corporal. Esta situación se puede comparar con la energía de una bombilla incandescente de 60 W que proporciona aproximadamente 55 W de calor. Otra de las fuentes de calor sería el que nos provee el medio ambiente, el cual puede absorberse por radiación y convección, es decir la temperatura del planeta y la temperatura del aire sobrepasan la temperatura de la piel.

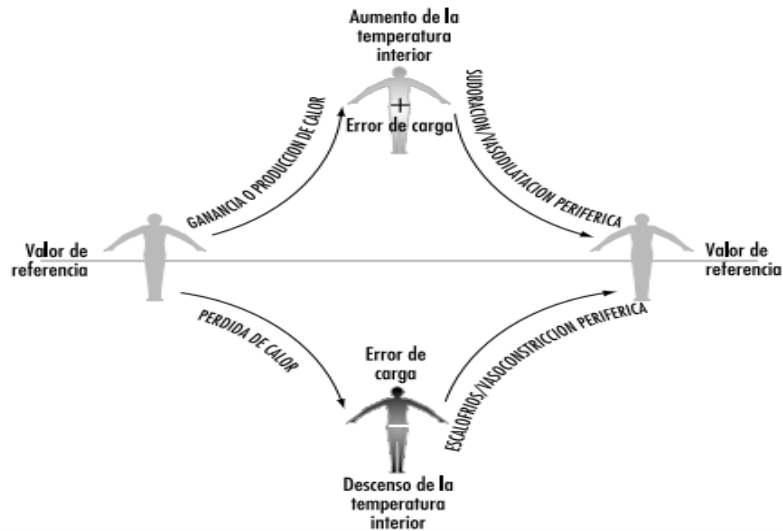


Figura 3.4 Diagrama de regulación de la temperatura corporal.

Fuente: (Finklea, y otros, 1998).

Con base a la Figura 3.4, el valor de temperatura de referencia es relativamente estable, no es afectada por el medio ambiente, ni tampoco por el trabajo, pero si existe un aumento en la temperatura interior respecto a la referencia se genera un error de carga positiva que activa a las células nerviosas que ejecutan una respuesta ante la vasodilatación periférica y sudoración; o bien cuando hay un descenso en la temperatura interior respecto a la referencia se crea un error negativo que causa los procesos de escalofríos y vasoconstricción periférica. Todo esto corresponde a una reacción del organismo manteniendo un equilibrio térmico que es iniciada y controlada por un error

de carga, en otras palabras, en ambos casos la transferencia de calor resultante reduce el error de carga y ayuda a estabilizar la temperatura corporal.

Como expresa (Finklea, y otros, 1998), la reacción de vasodilatación periférica es la cantidad de calor transferido del núcleo a la periferia que depende del flujo sanguíneo, o sea que el gradiente de temperatura entre el centro, la periferia y el calor específico de la sangre es inferior a los 4 KJ/°C por litro de sangre. La vasoconstricción periférica es la estrategia eficaz contra la pérdida de calor corporal por radiación y convección, debido a que consiste en aumentar el aislamiento efectivo proporcionado por la periferia, es decir, en el ser humano se consigue reducir el flujo sanguíneo periférico.

Por otra parte, los trastornos producidos por el calor se ocasionan por el aumento en la temperatura ambiente, humedad o la insuficiente disipación del calor. Entre los trastornos pueden ser: el edema, sistemáticos, calambres, agotamiento y golpe de calor. Para este fragmento de la investigación, solo será enfocado en el trastorno de golpe de calor. Para empezar, el golpe de calor es una urgencia médica grave que puede incitar la muerte, es caracterizada por el aumento de la temperatura central del cuerpo con una magnitud encima de los 42 °C, además causa alteraciones en el sistema nervioso central por un error agudo del sistema termorregulador, por tanto, se puede decir que es una hipertermia sin control causando lesiones en los tejidos. Existen dos tipos de golpe de calor: el primero es el golpe de calor clásico, el cual afecta a personas muy jóvenes, personas con edad avanzada y personas obesas; o bien a personas sin preparación física. El segundo es el golpe de calor inducido por el esfuerzo, el cual se produce en adultos jóvenes al realizar actividades físicas intensas. En relación con las personas de edad avanzada pueden presentar un elevado riesgo por golpe de calor clásico, más aún quienes padecen enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, alcoholismo, trastornos crónicos e incluso los que reciben fármacos psicotrópicos, los cuales se utilizan para la esquizofrenia, el trastorno afectivo bipolar, la depresión y ansiedad. Las personas que trabajan en ambientes calurosos y húmedos también corren un gran riesgo por golpe de calor, provocado por los esfuerzos, como por ejemplo: los atletas que se someten a un gran esfuerzo físico pueden desarrollar hipertermia (alta temperatura corporal), al producir calor metabólico a gran rapidez.

Los niños en comparación con los adultos son los más vulnerables en sufrir los golpes de calor, esto es que los niños producen más calor metabólico por unidad de masa y su cualidad de disipación de calor es menor por su pequeña capacidad de transpiración. En definitiva, el golpe de calor se puede concretar en tres criterios: la hipertermia severa con una temperatura corporal profunda

normalmente superior a los 42 °C como se mencionó en este apartado. Las alteraciones del sistema nervioso central, así como la piel caliente y seca con interrupción de la sudoración. Por lo tanto, para un buen diagnóstico de los golpes de calor se deben cumplir las tres razones mencionadas.

3.5 Confort térmico y sensación térmica.

El ser humano siempre ha querido tener un ambiente térmico agradable y cómodo, pero para lograr este ambiente térmico se deben considerar algunos factores, como son: el nivel del ruido, la luz, la humedad y la temperatura del aire; o bien hasta la evaluación de nuestro ambiente de trabajo. No obstante, algunos expertos han dicho que para las funciones de los mecanismos físicos y químicos del ser humano existe un estado de confort térmico, los cuales dependen de parámetros del clima. Según la (Norma ISO 7730, 2006), el confort térmico se define como aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico.

Para cada persona la sensación de confort es diferente, por lo que se ha considerado importante crear ambientes térmicos, donde se diseñan y se construyen viviendas teniendo en cuenta factores como la radiación solar a la que se someten las paredes y techos, asimismo los materiales relacionados con la conductividad térmica e incluso la ventilación que garantice las condiciones con las propiedades termodinámicas para el movimiento y la pureza del aire. Tal como dice (Hernández Hernández , Acosta López, & Sangüinety Peláez, 2018), en los países tropicales, principalmente Cuba, los edificios se diseñan para ser ventiladas de forma natural, es decir, por el efecto del viento, además se valoran por el área de las ventanas para que se garantice el flujo del aire. Otro ejemplo de edificación es la Escuela Latinoamérica de Medicina (ELAM) en la Habana, algunos de estos edificios están situados en una pequeña colina que se benefician por las brisas marinas con sus grandes áreas con ventanas. La sensación térmica se ubica sobre las personas por la influencia del clima, esta depende de los parámetros del ambiente y el entorno en que se encuentran dichas personas. De igual forma, está influido por factores del estado térmico del mismo individuo, tales como: la edad, el sexo, un nivel de actividad física, vestimenta, alimentación y principalmente la adaptación fisiológica del cuerpo humano ante los cambios del medio ambiente. Así pues, la regulación del cuerpo humano obedece de algunos parámetros climatológicos significativos, como la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura. La velocidad del viento y la humedad relativa son esenciales para impedir o facilitar la disipación del sudor, no hay que descartar la ropa que se utiliza. El hombre como tal tiene un excelente regulador de temperatura para el centro del cuerpo, ayuda a mantener una temperatura aproximadamente de 37

°C. Según (Chávez del Valle, 2002), el sistema de control que regula la temperatura del cuerpo es compleja y no es comprensible todavía, existen dos importantes sensores que trabajan para este sistema de control, se conocen y se localizan en la piel y en el hipotálamo. Este último, se encuentra en una zona del cerebro que controla el funcionamiento del sistema nervioso y produce hormonas para el control del hambre y la temperatura corporal, es un sensor de calor que inicia la función del enfriamiento corporal cuando la temperatura del centro del cuerpo aumenta hasta los 37 °C. En cuanto a la piel, los sensores de frío inician la defensa del cuerpo contra el enfriamiento, esto es cuando la temperatura de la piel cae debajo de los 34 °C.

Dicho lo anterior, se podría definir que la sensación térmica es un término usado para la descripción del grado de incomodidad que siente una persona y como resultado se obtiene un indicador entre la combinación de la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura del aire; o tal como lo dice la (NOAA, 2014), que es una medida del efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa en el cuerpo humano, esto se presenta cuando la temperatura del aire alcanza los 27 °C y la humedad relativa el 40 %.

		HUMEDAD RELATIVA %																																	
		40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100			
TEMPERATURA °C	27	27	27	27	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	31	31	31	32	32	33	33		
	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	30	30	30	31	31	31	31	31	32	32	33	33		
	29	29	29	29	29	29	30	30	30	30	30	31	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	34	35	35	36	36	37	37	38	38	39	40	40	
	30	30	30	30	30	31	31	31	31	32	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	38	38	39	40	40	41	42	42	43	44	44	44	
	31	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	42	42	43	44	44	45	46	46	47	48	48	49	
	32	32	33	33	33	34	34	35	35	36	37	37	38	38	39	40	40	41	42	43	44	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	54	54	
	33	34	34	35	35	36	36	37	38	38	39	40	40	41	42	43	44	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55	56	57	58	60	61	63	64
	34	35	36	37	37	38	38	39	40	41	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	55	56	57	58	60	61	63	64	66	66	66	
	35	37	38	39	39	40	41	42	42	43	45	45	46	47	48	49	50	52	53	54	55	57	58	59	61	62	64	65	67	68	70	72	72	72	
	36	39	40	41	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	52	53	54	56	57	58	60	61	63	64	66	68	69	71	73	75	76	78	78	78	
	37	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	53	54	55	57	58	60	61	63	64	66	68	70	71	73	75	77	79	81	83	85	85	85	
	38	43	44	45	46	48	49	50	51	52	54	55	56	58	59	61	63	64	66	68	69	71	73	75	77	79	81	83	86	88	90	92	92	92	
	39	46	47	48	49	50	52	53	54	56	57	59	60	62	64	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	88	90	93	95	97	100	102	105	108
	40	48	49	51	52	53	55	56	58	59	61	63	64	66	68	70	72	74	76	78	80	83	85	87	90	92	95	97	100	102	105	108	110	113	116
	41	51	52	54	55	57	58	60	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	84	86	89	91	94	96	99	102	104	107	110	113	116	119	122	125
	42	54	55	57	58	60	62	63	65	67	69	71	73	75	78	80	82	85	87	90	92	95	98	100	103	106	109	112	115	118	122	125	128	131	134
43	57	58	60	62	64	65	67	69	71	74	76	78	80	83	85	88	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	127	130	134	137	140	143	
44	60	61	63	65	67	69	71	74	76	78	81	83	86	88	91	94	97	99	102	105	108	112	115	118	122	125	128	132	136	139	143	146	149	153	
45	63	65	67	69	71	73	76	78	81	83	86	88	91	94	97	100	103	106	109	112	116	119	123	126	130	133	137	141	145	149	153	156	159	163	

ÍNDICES DE CALOR °C			
CAT.	CLASIFICACIÓN	RANGO DE IC	SÍNTOMAS
I	Caluroso	27 a 32	Posible fatiga con exposición prolongada y actividad física
II	Caliente	33 a 40	Insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física
III	Muy Caliente	41 a 54	Insolación, calambres agotamiento con exposición prolongada y actividad física
IV	Extrem. Cal.	> 54	Hipertermia o insolación inminente

Figura 3.5 Índices de Calor.

Fuente: (NOAA, 2014).

La NOAA también facilita un ejemplo con su tabla de índices de calor y datos del clima, que es aportada por la estación automatizada ADCON, con estos parámetros se puede conocer la sensación térmica, por ejemplo: si la temperatura ambiente es de un valor de 35 °C y la humedad relativa es de un valor de 60 %, entonces la sensación térmica es de 45 grados, es decir, el indicador

nos dice que tiene una categoría de tipo tres, la clasificación es de tipo muy caliente y los síntomas serían de insolación, calambres agotamiento con exposición prolongada y actividad física, para comprobar lo mencionado, véase la Figura 3.5.

Por último, para obtener el cálculo de la sensación térmica se ha considerado una ecuación que está dada por el resultado de un análisis de regresión múltiple, realizada por Lans Paul Rothfus (meteorólogo de la NOAA en 2017) y descrito en 1990 por un anexo técnico del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos. La ecuación 3.6 es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 HI = & -42.379 + 2.04901523(T) + 10.14333127(RH) - 0.22475541(T)(RH) - \\
 & 0.00683783(T^2) - 0.05481717(RH^2) + 0.00122874(T^2)(RH) + 0.00085282(T)(RH^2) - \\
 & 0.00000199(T^2)(RH^2)
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

La notación científica es de la siguiente manera:

- HI* Índice de calor o sensación térmica expresada en grados Fahrenheit.
T Temperatura del aire en grados Fahrenheit.
RH Humedad relativa en porcentaje.

La ecuación también es expresada en grados Celsius y se ha utilizado para obtener los resultados de esta investigación.

La ecuación matemática 3.7 es de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 HI = & -8.78469476 + 1.61139411(T) + 2.338548839(RH) - 0.14611605(T)(RH) - \\
 & 0.012308094(T^2) - 0.016424828(RH^2) + 0.002211732(T^2)(RH) + \\
 & 0.00072546(T)(RH^2) - 0.000003582(T^2)(RH^2)
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

La notación científica es de la siguiente manera:

- HI* Índice de calor o sensación térmica expresada en grados Celsius.
T Temperatura del aire en grados Celsius.
RH Humedad relativa en porcentaje.

Capítulo 4. Análisis de los resultados.

En este apartado se muestra el trabajo con los datos históricos que se han adquirido desde las estaciones meteorológicas del estado de Quintana Roo, con esta información recolectada se emplearon los métodos estadísticos mencionados. Para empezar, se ha considerado el cálculo de la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada, con esta técnica se emplea para la evaluación y la observación de la distribución de los datos, es decir con el valor p y la prueba de hipótesis (H_0 y H_1) comprueban si las variables meteorológicas son estadísticamente significativas. Para los datos históricos del consumo de energía eléctrica y de temperatura del aire se ha interpretado el análisis de correlación estadística, con los resultados obtenidos se podrá deducir si las causas del consumo de energía eléctrica son por los incrementos o decrementos de la variable temperatura.

También para las frecuencias históricas de temperatura se aplicó la técnica de regresión lineal logrando el grado de tendencia, donde cada indicador corresponde a las zonas estudiadas de la entidad federativa. Los resultados obtenidos de este método estadístico han mostrado el aumento y el descenso anual de la temperatura, además con la representación gráfica de un mapa se exhiben los puntos de la tendencia anual en algunos lugares del estado de Quintana Roo donde presentan enfriamiento o calentamiento. Para las variables meteorológicas de humedad relativa y temperatura se realizó un estudio de índices de calor, con esta técnica se ha obtenido un cálculo estadístico para conseguir indicadores por estación del año, los cuales comprueban los efectos sintomáticos que causan malestar a las personas; con los resultados adquiridos se ha estimado si la elevada temperatura y humedad relativa originan los trastornos de golpe de calor, la importante crisis médica que ocasiona la muerte. Como referencia se ha utilizado una tabla de indicadores de la sensación térmica creada en el año de 2014 por la NOAA.

4.1 Prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada en las variables estudiadas.

De las zonas estudiadas, la mayoría de las variables de temperatura máxima presentan rechazo de la hipótesis nula, por lo que las diferencias observadas son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, además existen evidencia a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que a la variabilidad aleatoria esperada (error). Para los datos de las zonas de Cancún, Puerto Morelos, Cobá y Victoria no presentaron rechazo de la hipótesis nula, donde las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, de ahí que no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es similar a la variabilidad aleatoria esperada, estos resultados obtenidos se justifican al no tener más datos históricos, véase en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Pruebas de bondad de ajuste para las variables de temperatura máximas y mínimas.

VARIABLES	h	Valor-p	VARIABLES	h	Valor-p
Tmin Cancún	1	3.375e ⁻¹²	Tmax Cancún	0	0.33509
Tmin Playa del Carmen	1	6.374e ⁻¹²	Tmax Playa del Carmen	1	7.546e ⁻¹⁵
Tmin Puerto Morelos	1	2.755e ⁻¹²	Tmax Puerto Morelos	0	0.25878
Tmin Chetumal	1	1.140e ⁻¹³	Tmax Chetumal	1	0.001385
Tmin Cozumel	1	3.794e ⁻¹⁰	Tmax Cozumel	1	2.659e ⁻¹¹
Tmin Felipe Carrillo P.	1	1.070e ⁻¹⁹	Tmax Felipe Carrillo	1	0.000387
Tmin Tulum	0	>0.05	Tmax Tulum	1	3.317e ⁻⁹
Tmin Señor	1	6.275e ⁻¹⁵	Tmax Señor	1	0.00315
Tmin Victoria	1	4.554e ⁻¹⁰	Tmax Victoria	0	0.11046
Tmin Cobá	1	0.0053	Tmax Cobá	0	>0.05

En cuanto a las variables de temperaturas mínimas muestran un rechazo en la hipótesis nula, las diferencias observadas son estadísticamente significativa a nivel de $\alpha=0.05$, también existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que a la variabilidad aleatoria esperada. Solo la región de Tulum no existe rechazo en la hipótesis nula y en las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, de este modo el efecto es similar al error y no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa. Estos resultados demuestran que no hay más datos históricos.

4.2 Correlación entre las variables de temperatura y el consumo de electricidad.

A partir de las estaciones meteorológicas del estado de Quintana Roo se han recolectado datos históricos de consumo de energía eléctrica y de temperatura máxima, estas variables se han utilizado para el cálculo de correlación estadística. Los resultados de esta técnica exhiben que en la región de Victoria se tiene un grado de correlación moderada positiva del 50%, esto quiere decir que existe una relación entre las variables obtenidas. Respectivamente, con el estudio de las demás regiones nos muestran que existe un grado de correlación negativa, donde Cancún y Señor tienen un grado de correlación débil del 25.4% y 39.8%. En las zonas de Puerto Morelos, Playa del Carmen, Felipe carrillo y Chetumal tienen un grado de correlación muy débil, esto es que mutuamente las dos variables estudiadas presentan una relación de 14.9%, 15.3%, 15.2% y el 17.7%. Solamente las regiones de Cozumel, Cobá y Tulum tienen una correlación nula del 1%,

8.5% y menos del 1%, por lo tanto, las variables no presentan una correspondencia. En la Tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.2. Correlación entre el consumo de energía eléctrica y las temperaturas máximas y mínimas.

Variables	Consumo de electricidad	Variables	Consumo de electricidad
Tmax Cancún	-0.2542	Tmin Cancún	0.3737
Tmax Playa del Carmen	-0.1534	Tmin Playa del Carmen	-0.0134
Tmax Puerto Morelos	-0.1495	Tmin Puerto Morelos	0.3732
Tmax Chetumal	-0.1774	Tmin Chetumal	0.4363
Tmax Cozumel	-0.0100	Tmin Cozumel	-0.0310
Tmax Felipe Carrillo P.	-0.1520	Tmin Felipe Carrillo	0.4761
Tmax Tulum	-0.0094	Tmin Tulum	0.4125
Tmax Señor	-0.3987	Tmin Señor	0.4918
Tmax Victoria	0.5086	Tmin Victoria	0.3832
Tmax Cobá	-0.0858	Tmin Coba	0.3416

Para la correlación entre las variables de temperatura mínima y el consumo de energía eléctrica muestran que las regiones de Cobá, Puerto Morelos, Cancún, Victoria, Tulum, Chetumal, Felipe Carrillo y Señor constan de un grado de correlación positiva, de manera que entre las variables corresponden sucesivamente a un grado de correlación débil del 34.1%, 37.32%, 37.37%, 38.3%, 41.2%, 43.6%, 47.6% y 49.1%. En las regiones de Playa del Carmen y Cozumel tienen una correlación nula, esto conlleva a que no existe relación alguna entre las variables de estudio, además presentan un valor de 1.3% y 3.1%.

4.3 Grados de tendencia para las variables de temperatura máxima y mínima de diez zonas estudiadas.

De las diez estaciones meteorológicas de Quintana Roo se obtuvieron datos de temperatura de un periodo de 28 años. Dada la dispersión de las variables de temperaturas máximas y mínimas se ha utilizado la técnica de regresión lineal, logrando la línea de ajuste con la ecuación de la recta y el grado de tendencia. Para el estudio de las variables de temperaturas máximas, la mayoría de las regiones han presentado el grado de tendencia positiva, esto quiere decir que la línea de ajuste es

creciente, principalmente las regiones de Cancún, Victoria y Cozumel, por tanto, se deduce que en estas zonas se están calentando. Por el contrario, en la región de Puerto Morelos existe un grado de tendencia negativa, por lo que en esta zona se está enfriando, además la línea de ajuste es particularmente decreciente. En el periodo de verano se muestra un aumento en las temperaturas en las zonas de Cancún, Chetumal, Victoria, Cobá y Cozumel, los resultados obtenidos conllevan a grados de tendencia positiva con una línea de ajuste progresiva, esto quiere decir que en las regiones se están calentando. En cambio, en la misma estación del año, las regiones de Puerto Morelos y Señor sufren un decremento en la temperatura con un grado de tendencia negativa y una línea de ajuste en declive. Por tanto, estos territorios de estudio conllevan a un enfriamiento.

Tabla 4.3 Grado de tendencias para las variables de temperaturas máximas por mes.

Estación	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Tendencia Tmax (°C/Años)					
				Meses					
				En.	Feb.	Mzo.	Abr.	My.	Jun.
Cancún	21.1	-86.8	9.0	0.0031	0.0047	0.0054	0.0059	0.0052	0.0034
Chetumal	18.5	-88.2	11.0	0.0013	0.0027	0.0007	0.0016	-0.0003	0.0015
Tulum	20.2	-87.4	10.0	-0.0020	0.0058	-0.0038	-0.0032	-0.0040	-0.0031
Playa del Carmen	20.6	-87.0	9.0	0.0086	0.0095	0.0079	0.0088	0.0003	-0.0013
Victoria	20.8	-87.3	15.0	0.0032	0.0018	0.0035	0.0035	0.0046	0.0043
Cobá	20.4	-87.7	5.0	0.0030	0.0050	0.0054	0.0030	-0.0011	0.0032
Cozumel	20.4	-86.9	6.0	0.0139	0.0151	0.0148	0.0142	0.0064	0.0045
Puerto Morelos	20.8	-86.8	6.0	-0.0074	-0.0093	-0.0091	-0.0095	-0.009	-0.0094
Felipe Carrillo	19.5	-88.0	10.0	-0.0030	-0.0009	-0.0008	-0.0017	-0.0013	-0.0003
Señor	19.8	-88.1	21.0	-0.0064	-0.0035	-0.0030	0.0003	-0.0038	0.0023

Estación	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Tendencia Tmax (°C/Años)					
				Meses					
				Jul.	Agt.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Cancún	21.1	-86.8	9.0	0.0049	0.0038	0.0044	0.0037	0.0040	0.0031
Chetumal	18.5	-88.2	11.0	0.0014	0.0024	0.0017	0.0032	0.0021	0.0004

Tulum	20.2	-87.4	10.0	-0.0013	4.9e-05	0.0004	-0.0005	-0.0025	-0.0012
Playa del Carmen	20.6	-87.0	9.0	-0.0064	0.0014	-0.0033	-0.0029	-0.0001	0.0023
Victoria	20.8	-87.3	15.0	0.0049	0.0046	0.0060	0.0057	0.0058	0.0073
Cobá	20.4	-87.7	5.0	0.0054	0.0049	0.0044	0.0032	0.0029	0.0046
Cozumel	20.4	-86.9	6.0	0.0067	0.0070	0.0076	0.0087	0.0058	0.0073
Puerto Morelos	20.8	-86.8	6.0	-0.0167	-0.0172	-0.0150	-0.0089	-0.0077	-0.0092
Felipe Carrillo	19.5	-88.0	10.0	0.0001	-0.0012	-0.0013	-0.0012	-0.0025	-0.0045
Señor	19.8	-88.1	21.0	-0.0032	-0.0033	-0.0046	-0.0011	-0.0029	-0.0053

Para la estación de invierno, Cancún, Chetumal, Playa del Carmen, Victoria, Cobá y Cozumel contienen un aumento en las temperaturas con un grado de tendencia positiva, de manera que corresponden a una línea de ajuste creciente, sin duda las zonas mencionadas sobrellevan un calentamiento. Ahora bien, en la misma época de invierno, los lugares de Puerto Morelos, Felipe Carrillo Puerto y Señor se obtuvieron una disminución en las temperaturas, además se adquirió un grado de tendencia negativa con una línea de ajuste decreciente. Por ende, en las zonas de estudio se manifiesta un enfriamiento. Véase los indicadores en la Tabla 4.3.

Los resultados que se muestran en la Tabla 4.4, indican que el lugar de Tulum hay un aumento en las temperaturas, es decir, se tiene un grado de tendencia positiva con una línea de ajuste creciente. En cambio, como se muestra en la Tabla, las zonas de Cobá y Felipe Carrillo exhiben un grado de tendencia negativa durante el año. Sin embargo, para la región de Cobá existe un aumento en las temperaturas en los meses de marzo, agosto y noviembre. De igual forma, en Felipe Carrillo los meses con aumento en la temperatura serían febrero y marzo, por tanto, estos meses conllevan un grado de tendencia positiva, además son lapsos de la temporada de invierno.

En los lugares de Cozumel, Puerto Morelos, Señor y Tulum se ha dado el grado de tendencia positiva en los meses correspondientes a la estación de invierno, o sea que la línea de ajuste es creciente y se podría decir que en estas regiones se está incrementando la temperatura. Solo la zona de Cobá contiene un decremento en la temperatura con un grado de tendencia negativa y una línea de ajuste inclinada, de ahí que, se está enfriando el territorio.

En la época de verano, las zonas de Felipe Carrillo Puerto, Victoria y Puerto Morelos tienen un grado de tendencia negativa con una línea de ajuste decreciente, de manera que esto corresponde a

un enfriamiento en la zona. Mientras que, en los lugares de Chetumal y Tulum pertenecen a un incremento en las temperaturas con una línea de ajuste creciente y un grado de tendencia positiva, siendo así, un calentamiento de los territorios de estudio mencionados.

Tabla 4.4 Grado de tendencias para las variables de temperaturas mínimas por mes.

Estación	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Tendencia Tmin (°C/Años)					
				Meses					
				En.	Feb.	Mzo.	Abr.	My.	Jun.
Cancún	21.1	-86.8	9.0	-7.9e-05	0.0024	0.0046	-0.0005	-0.0020	-0.0005
Chetumal	18.5	-88.2	11.0	-0.0026	0.0008	0.0049	-0.0003	-0.0004	0.0008
Tulum	20.2	-87.4	10.0	0.0010	0.0080	0.0043	0.0049	0.0060	0.0078
Playa del Carmen	20.6	-87.0	9.0	0.0012	0.0029	0.0030	0.0011	-0.0047	-0.0011
Victoria	20.8	-87.3	15.0	-0.0008	0.0009	0.0005	-0.0054	-0.0077	-0.0029
Cobá	20.4	-87.7	5.0	-0.0013	-0.0001	0.0017	-0.0037	-0.0043	-0.0023
Cozumel	20.4	-86.9	6.0	0.0033	0.0043	0.0072	0.0038	-0.0005	-0.0001
Puerto Morelos	20.8	-86.8	6.0	0.0044	0.0052	0.0059	0.0001	-0.0041	0.0031
Felipe Carrillo	19.5	-88.0	10.0	-0.0005	9.8e-05	0.0032	-0.0006	-0.0039	-0.0021
Señor	19.8	-88.1	21.0	7.0e-05	0.0041	0.0051	0.0016	0.0062	0.0022

Estación	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Tendencia Tmin (°C/Años)					
				Meses					
				Jul.	Agt.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Cancún	21.1	-86.8	9.0	-0.0005	0.0010	0.0005	0.0004	0.0009	0.0025
Chetumal	18.5	-88.2	11.0	0.0010	0.0010	0.0011	-0.0017	-0.0016	0.0007
Tulum	20.2	-87.4	10.0	0.0097	0.0075	0.0117	0.0051	0.0062	0.0076
Playa del Carmen	20.6	-87.0	9.0	-0.0030	0.0009	-0.0034	-0.0048	-0.0019	-0.0007
Victoria	20.8	-87.3	15.0	-0.0044	-0.0053	-0.0020	-0.0040	-0.0015	0.0009
Cobá	20.4	-87.7	5.0	-0.0007	0.0018	-0.0002	-0.0037	0.0014	-0.0001
Cozumel	20.4	-86.9	6.0	-0.0004	0.0007	-0.0023	0.0034	-0.0003	0.0003
Puerto Morelos	20.8	-86.8	6.0	-0.0061	-0.0042	-0.0042	-0.0013	0.0025	0.0034

Felipe Carrillo	19.5	-88.0	10.0	-0.0025	-0.0019	-0.0015	-0.0030	-0.0019	-0.0010
Señor	19.8	-88.1	21.0	0.0002	-0.0013	8.7e-05	0.0044	0.0030	0.0045

Por otra parte, la representación de los mapas de la Figura 4.1 muestran los puntos de los territorios estudiados que se encuentran cerca de las costas de la entidad federativa. De manera que los resultados son un reflejo de los datos históricos de temperaturas máximas. En el inciso a, pertenece al mes de julio, con este mapa las regiones de Playa del Carmen, Puerto Morelos, se observan puntos de color naranja, exhibiendo una gran disminución en la temperatura. Los indicadores conllevan mutuamente el grado de tendencia decreciente de -0.0064 y -0.0167.

En las zonas de Cancún, Victoria, Cozumel y Cobá representan un mayor incremento en las temperaturas, con un grado de tendencia creciente de 0.0049, 0.0049, 0.0067 y 0.0054, respectivamente. En cuanto al inciso b, perteneciente al mes de agosto, los territorios de Cozumel, Victoria y Cobá constan sucesivamente de un mayor aumento en las temperaturas con un grado de tendencia creciente de 0.0070, 0.0046 y 0.0049. Solamente la región de Puerto Morelos indica una gran disminución en la temperatura y un grado de tendencia de -0.0172.

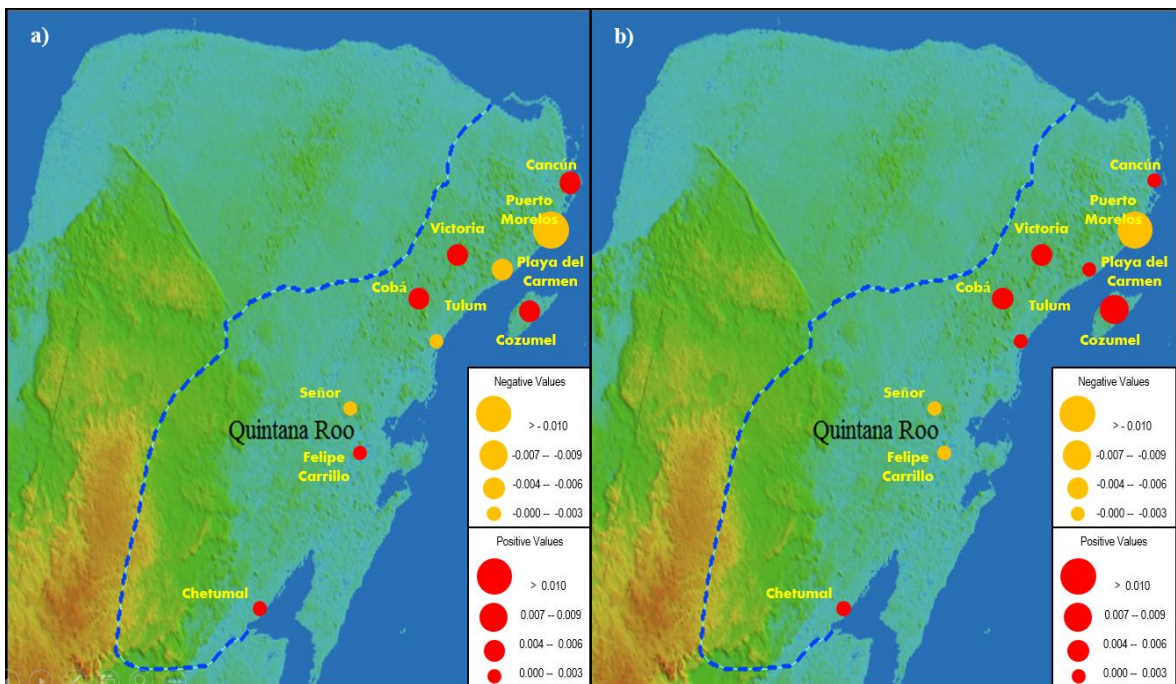


Figura 4.1 a) Tendencias de temperatura máximas para el mes de julio. b) Tendencias de temperatura máximas para el mes de agosto.

En la Figura 4.2, el inciso c, pertenece al mes de enero, de manera que las zonas de Puerto Morelos y Señor representan una mayor disminución en la temperatura con grado de tendencia descendente de -0.0074 y -0.0064 . Por el contrario, las regiones de Playa del Carmen y Cozumel tienen un mayor incremento de las temperaturas con grado de tendencia progresivo de 0.0086 y 0.0139 . En el inciso d, perteneciente al mes de febrero, los territorios de Playa del Carmen y Cozumel reflejan un mayor aumento en las temperaturas con un grado de tendencia creciente de 0.0095 y 0.0151 , sucesivamente. Solamente la región de Puerto Morelos indica una gran disminución en la temperatura y un grado de tendencia de -0.0093 .

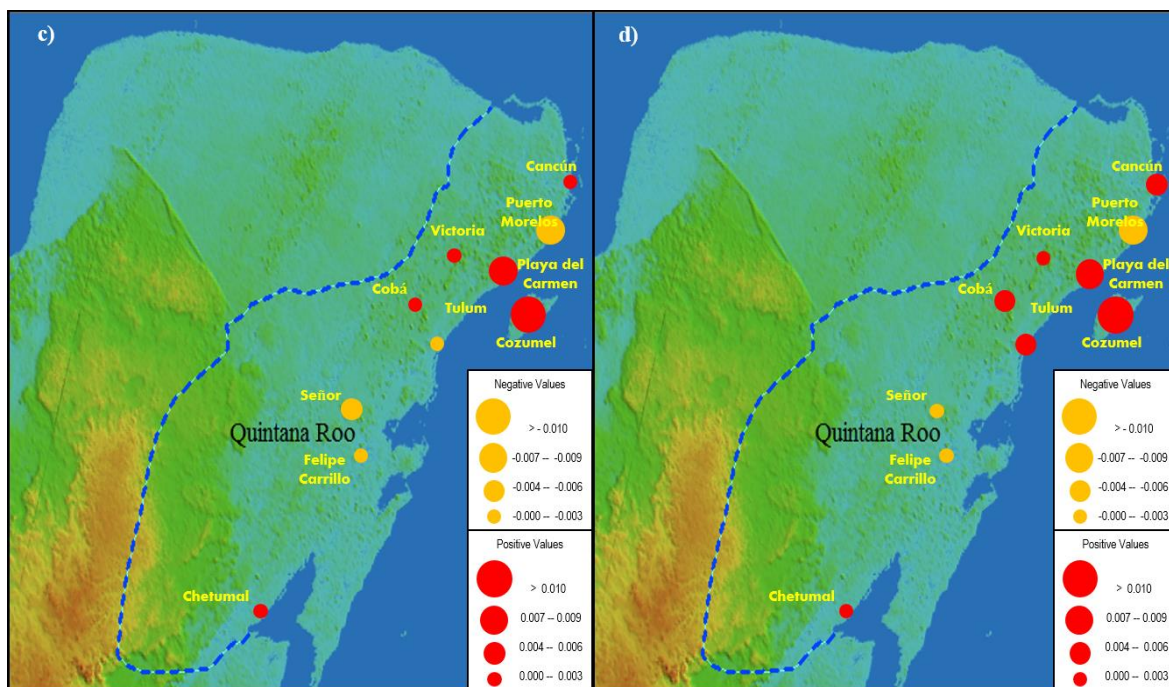


Figura 4.2 c) Tendencias de temperatura máximas para el mes de enero. d) Tendencias de temperatura máximas para el mes de febrero.

La representación de los mapas de la Figura 4.3 muestran los sitios estudiados que se encuentran cerca de las costas del estado de Quintana Roo. De manera que los indicadores son un reflejo de los datos históricos de temperaturas mínimas. En el inciso a, pertenece al mes de julio, con este mapa el territorio de Tulum exhibe un gran incremento en la temperatura. El resultado alcanza el grado de tendencia creciente de 0.0097 . Al contrario, las regiones de Puerto Morelos y Victoria indican una gran disminución en la temperatura con valores de grado de tendencia inclinada de -0.0061 y -0.0044 , mutuamente.

Respecto al inciso b, perteneciente al mes de agosto, los territorios de Puerto Morelos y Victoria nuevamente constan de un mayor decremento en las temperaturas, los grados de tendencia creciente corresponden a -0.0042 y -0.0053 . Únicamente el sitio de Tulum muestra un gran incremento en la temperatura, alcanza el grado de tendencia de 0.0075 .

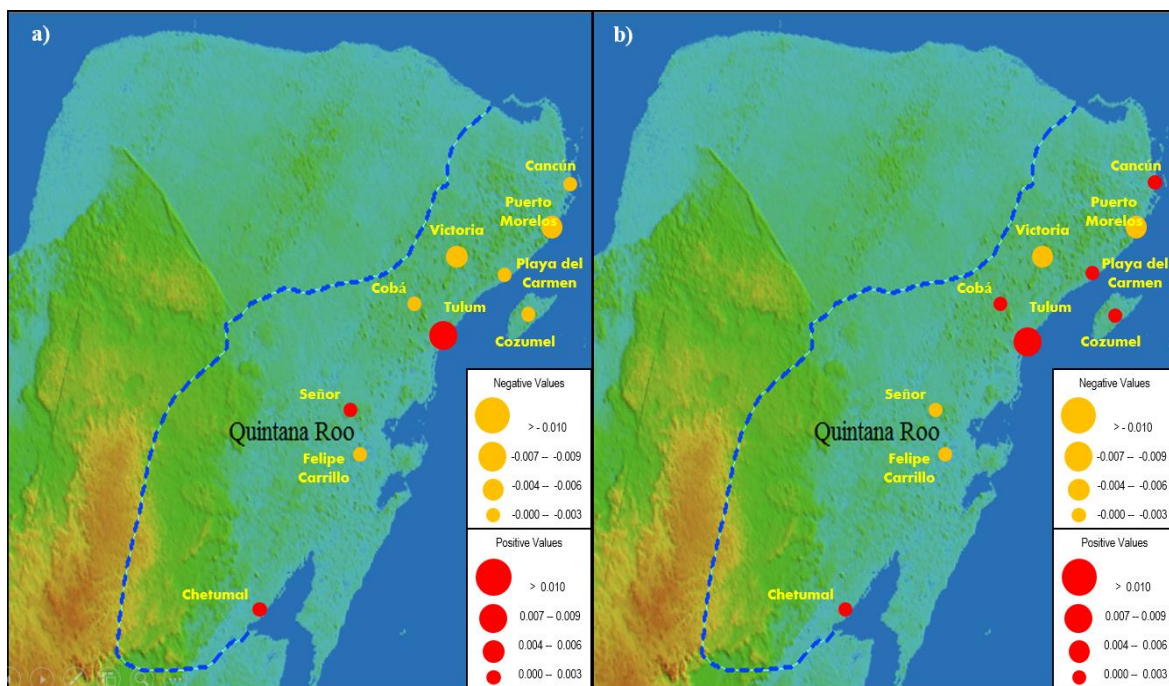


Figura 4.3 a) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de julio. b) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de agosto.

En la Figura 4.4, el inciso c, pertenece al mes de enero, de modo que la zona de Puerto Morelos representa un mayor incremento en la temperatura con grado de tendencia progresiva de 0.0044 . Por el contrario, las regiones de Cancún, Victoria, Cobá, Felipe Carrillo Puerto y Chetumal poseen una disminución de las temperaturas con grado de tendencia creciente de -7.91×10^{-5} , 0.0008 , 0.0013 , 0.0005 y 0.0026 , respectivamente.

En el inciso d, perteneciente al mes de febrero, los territorios de Tulum, Señor, Cozumel y Puerto Morelos reflejan un mayor aumento en las temperaturas, los grados de tendencia creciente serían de 0.0080 , 0.0041 , 0.0043 y 0.0052 , sucesivamente. Solo la región de Cobá indica una gran disminución en la temperatura y un grado de tendencia de -0.0001 .

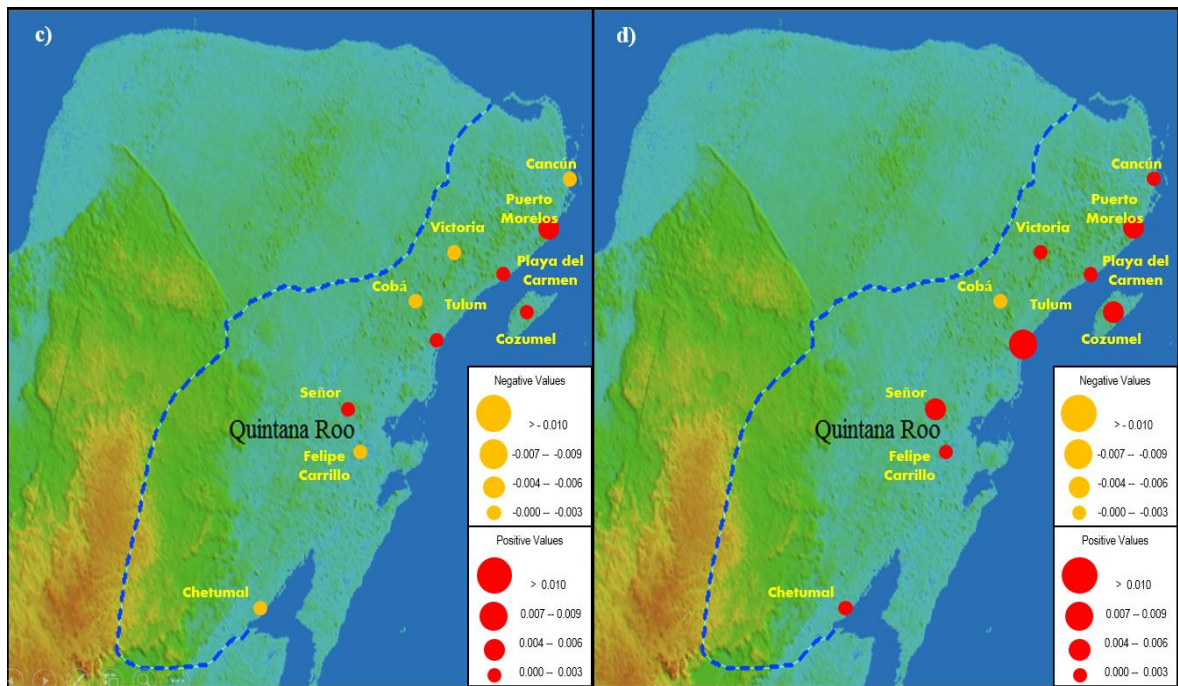


Figura 4.4 c) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de enero. d) Tendencias de temperatura mínimas para el mes de febrero.

No obstante, se realizó el estudio de las variables temperaturas máximas logrando un cálculo de grados de tendencia anual. En la mayoría de las regiones se ha presentado el grado de tendencia negativa, esto quiere decir que la línea de ajuste es decreciente, por tanto se deduce que en las zonas van disminuyendo las temperaturas. Véase los indicadores en la Tabla 4.5. En los lugares de Cobá y Victoria se ha dado el grado de tendencia positiva, o sea que la línea de ajuste es creciente y se podría decir que en estas regiones se está incrementando la temperatura. Para las variables de temperaturas mínimas, las zonas Chetumal, Tulum y Señor tienen un grado de tendencia positiva, en el cual la línea de ajuste es creciente y en efecto las temperaturas en estas regiones van en aumento. En los demás territorios existe una disminución en las temperaturas y su línea de ajuste es de forma descendente.

Tabla 4.5 Grado de tendencias para las variables de temperaturas máximas y mínimas.

Estaciones meteorológicas	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)	Tendencia Tmax (°C/Años)	Tendencia Tmin (°C/Años)
Cancún	21.1	-86.8	9.0	-0.0619	-0.0113
Playa de Carmen	20.6	-87.0	9.0	-0.0839	-0.1173

Puerto Morelos	20.8	-86.8	6.0	-0.0692	-0.0026
Chetumal	18.5	-88.2	11.0	-0.0095	0.0387
Cozumel	20.4	-86.9	6.0	-0.0086	-0.0889
Felipe Carrillo P.	19.5	-88.0	10.0	-0.0811	-0.0036
Tulum	20.2	-87.4	10.0	-0.1005	0.1854
Señor	19.8	-88.1	21.0	-0.0870	0.0598
Victoria	20.8	-87.3	15.0	0.1411	-0.1056
Cobá	20.4	-87.7	5.0	0.1226	-0.0421

La representación de los mapas de la Figura 4.5 muestran los puntos de los territorios que se encuentran cerca de las costas de la entidad federativa. En el inciso a, se exhiben las regiones de Cancún, Puerto Morelos y Felipe Carrillo, donde se observa con los puntos en naranja una disminución en la temperatura, mutuamente con el grado de tendencia decreciente de -0.0113, -0.0026 y -0.0036. En las zonas de Playa del Carmen, Victoria, Cobá y Cozumel respectivamente se presenta una mayor disminución en la temperatura, con un grado de tendencia decreciente de -0.1173, -0.1056, -0.0421 y -0.0889. Por otra parte, en los territorios de Tulum, Señor y Chetumal constan sucesivamente de un aumento en las temperaturas con el grado de tendencia creciente de 0.1854, 0.0598 y 0.0387. También en estas zonas se obtuvo una correlación débil, respectivamente se exhibe una relación de 0.4125, 0.4918 y 0.4363. Con la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada solo los datos de Tulum revelan el no rechazo de la hipótesis nula, por lo que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$. A partir de los resultados obtenidos se concluye que en las regiones el consumo de energía eléctrica es a causa del incremento de las temperaturas. Para el mapa del inciso b, la mayoría de los puntos de color naranja presentan las zonas que tienen mayor disminución de temperatura y el grado de tendencia es descendente. Las regiones de Chetumal y Cozumel tienen una menor disminución de las temperaturas con grado de tendencia decreciente de -0.0095 y -0.0086. Con la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada los datos de las dos zonas manifiestan un rechazo de la hipótesis nula, donde las diferencias observadas son estadísticamente significativa a nivel de $\alpha=0.05$. Este resultado consigue asumir evidencia a favor de la hipótesis alternativa, en el que el efecto es mayor al error. Por otro lado, en Chetumal se ha presentado una correlación muy débil de -0.1774 y en Cozumel una correlación nula de -0.0100. Por el contrario, en las zonas de Cobá y Victoria tuvieron un aumento de las temperaturas con grado de tendencia ascendente de 0.1226 y 0.1411. Como se ha mencionado arriba, Victoria mostró una correlación moderada positiva de 0.5086, esto quiere decir que demuestra una

correspondencia entre las variables de temperatura y el consumo de energía eléctrica. Por lo tanto, se concluye que el consumo de energía eléctrica es inducido por el aumento de la temperatura. Aunque la segunda región mencionada haya tenido un grado de tendencia creciente y una correlación nula de -0.0858 , la afectación en el consumo de energía eléctrica es inválida y es probable que se trate de otra variable que origina el incremento del consumo de electricidad.

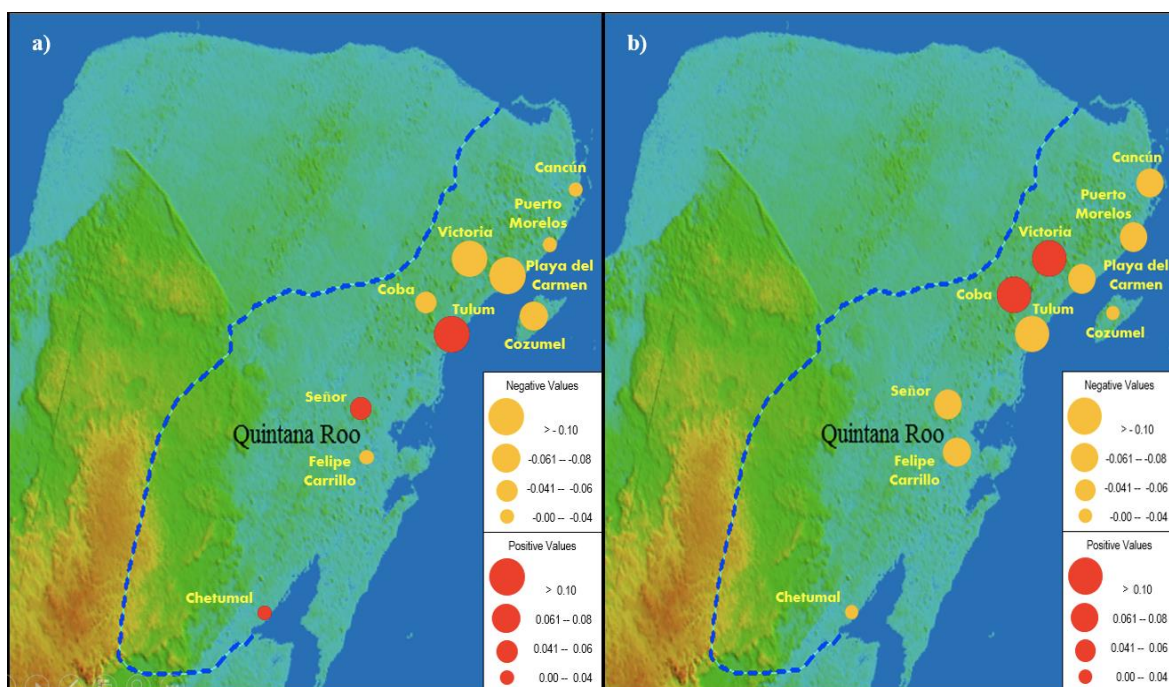


Figura 4.5 a) Tendencias de temperatura mínima en un periodo 1990 hasta el 2018. b) Tendencias de temperatura máximas en un periodo de 1990 hasta el 2018.

4.4 Estudio de la sensación térmica en la localidad de Cancún por épocas del año.

En la zona de Cancún se tomaron las variables de temperatura y humedad relativa para el cálculo de la sensación térmica, además estos indicadores se han clasificado por estación del año. Durante la primavera, el 02 de abril de 2009 se obtuvo con la estación meteorológica una temperatura máxima de $29.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una temperatura mínima de $25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, con estos datos se ha conseguido un índice de calor de 40.98. El 26 de abril del 2004 se ha dado un índice térmico de 36.97, este día se registró una máxima y mínima temperatura con magnitud de $28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. De acuerdo con la tabla de sensación térmica se indica que en la región se presenta una clasificación caliente con categoría dos, es posible que se pueda tener los síntomas de insolación, calambre y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Ahora bien, con las temperaturas

elevadas en la zona estudiada, se ha concluido que posiblemente algunas personas presentaron el trastorno de golpe de calor por el incremento en la temperatura, es decir, algunos individuos tendrían un incremento de temperatura corporal superiores a los 42 °C, esto provocaría la muerte.

Tabla 4.6 Sensación térmica en la estación de primavera.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2009-04-02	40.98	2004-04-26	36.97
Índice de Calor con datos mínimos			
2005-06-18	35.24	2010-03-23	33.00

No obstante, con las mínimas frecuencias de temperatura y la humedad relativa se ha conseguido una sensación térmica con clasificación caliente, dicho esto la sensación térmica máxima se obtuvo el 18 de junio de 2005 con un valor de 35.24, asimismo en esta fecha se registró una temperatura máxima de 32 °C, al igual una temperatura mínima de 29.7 °C. El 23 de marzo de 2010 se ha dado una sensación térmica mínima con valor de 33, en esta fecha se ha registrado una temperatura mínima de 12.3 °C y una temperatura máxima de 27.3 °C. De esta manera con la clasificación mencionada, se indica nuevamente que posiblemente las personas tuvieron los síntomas de insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física. En relación con los golpes de calor se podría deducir que tal vez algunas personas tuvieron este trastorno a causa de las elevadas temperaturas. En la Tabla 4.6 se pueden observar los datos de índice térmico que se han citado.

En la estación de verano se presentaron dos días con mayor sensación térmica, uno de estos días fue el 30 de junio 2002, donde se exhibió un índice de calor caliente con categoría dos de 38.96, también con la estación meteorología se ha reportado una temperatura máxima de 29.3 °C y una temperatura mínima de 27.5 °C. La otra fecha fue el 10 de septiembre de 2018, en el cual se alcanzó una sensación térmica caliente con clase dos con valor de 37.86, en este día se reportó una temperatura mínima de 24.9 °C, igualmente una temperatura máxima de 29.3 °C. Para los valores máximos de temperatura que se han señalado, se puede decir que es posible que algunas personas padecieron el trastorno de golpe de calor. Los resultados obtenidos conllevan a los síntomas de insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

Con las variables mínimas, se consiguieron los índices de calor de clase dos con clasificación caliente, de modo que el máximo índice térmico se adquirió el 28 de junio de 2005 con un valor de 37.40, asimismo en este día se captó por la estación meteorológica una temperatura máxima de 30.5 °C, aparte una temperatura mínima de 30.1 °C. El 16 de julio 2005 se ha dado una sensación térmica mínima de 33.01, en esta fecha se ha registrado una temperatura mínima de 28.5 °C y una temperatura máxima de 30.4 °C. Con los resultados de mínima y máxima sensación térmica, seguramente las personas padecieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. En la zona se tuvieron padecimientos de golpe de calor por las elevadas temperaturas y probablemente causaron en los usuarios este trastorno. La Tabla 4.7 muestran los resultados de la sensación térmica.

Tabla 4.7 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2002-06-30	38.96	2018-09-10	37.86
Índice de Calor con datos mínimos			
2005-06-28	37.40	2005-07-16	33.01

En la estación de otoño, los días 30 de noviembre de 2012 y 27 de Noviembre de 2015 se consiguieron los índices de calor de 38.96 y 35.98. Con la estación meteorológica de la región se han tomado la temperatura máxima y mínima, donde en la primera fecha se captó una temperatura máxima de 36.2 °C y una temperatura mínima de 23.1 °C. En la siguiente fecha se registró una temperatura mínima de 26.1 °C, de igual forma una temperatura máxima de 34.7 °C. Con los índices de calor logrados se puede explicar que los días tuvieron una categoría dos con clasificación caliente, esto causó síntomas ser humano, tal como la insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física; en cuanto a la temperatura máxima captada se puede deducir que es posible que algunas personas mostraron los trastornos de golpe de calor.

Por otra parte, el 01 de octubre de 2004 se ha reportado una temperatura máxima de 29.5 °C y una temperatura mínima de 27.3 °C. También se consiguió un máximo índice térmico de 38.01. La sensación térmica registrada en esta fecha indicó que los habitantes padecieron la categoría dos con clasificación caliente, esto quiere decir que seguramente algunas personas presentaron el síntoma

de insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Ahora bien, el índice de calor mínimo se presentó el 03 de octubre de 2002 con una cantidad de 33.39, además se captó una temperatura mínima y máxima de 28.3 °C y 30.7 °C. El indicador de sensación térmica reportado en esta fecha expone una categoría de tipo dos con clasificación caliente, esto es que algunos habitantes en la zona sufrieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Respecto a las temperaturas máximas se considera que a lo mejor en algunos individuos les provocó la crisis de golpe de calor. En la Tabla 4.8 se muestran los resultados de sensación térmica.

Tabla 4.8 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2012-11-30	38.96	2015-11-27	35.98
Índice de Calor con datos mínimos			
2004-10-01	38.01	2002-10-03	33.39

Por último, en invierno se mostraron los resultados de sensación térmica con las máximas frecuencias de humedad relativa y temperatura, además los valores más notables se exhibieron en los siguientes días: el 08 de febrero de 2015 y el 19 de enero del año 2012 se obtuvieron respectivamente los índices de calor de 39.96 y 35.98, véase en la Tabla 4.9. En la primera fecha, con la estación meteorológica fue captada la temperatura máxima de 29.8 °C y la temperatura mínima de 17.4 °C. En la segunda fecha se registró una temperatura mínima de 19 °C, al igual una temperatura máxima de 28.2 °C. Dicho esto, con los índices de calor mostrados, se puede deducir que algunos individuos se expusieron a una clasificación caliente con categoría de tipo dos, por tanto, es probable que se hayan ocasionado síntomas de insolación, calambres, agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Quizás algunas personas presentaron la crisis de golpe de calor por los aumentos de temperaturas registradas en estas fechas.

Para la sensación térmica mínima se tomaron en cuenta las mínimas frecuencias de temperatura y humedad relativa, por lo que el 4 de marzo de los años 2010 y 2013 respectivamente se obtuvieron un índice térmico de 35.70 y 34.31. En la fecha con el año 2010, la estación meteorológica captó una temperatura máxima de 25.7 °C y una temperatura mínima de 10.4 °C. En la fecha del año

2013 se expuso una temperatura máxima de 26.4 °C y una temperatura mínima de 9,6 °C. Con los indicadores de sensación térmica se puede concluir que la zona presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, donde en las personas les causa síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Respecto a las lecturas de temperaturas máximas, se puede señalar que no son tan elevadas para la causa del trastorno de golpe de calor.

Tabla 4.9 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2015-02-08	39.96	2012-01-19	35.98
Índice de Calor con datos mínimos			
2010-03-04	35.70	2013-03-04	34.31

4.5 Estudio de la sensación térmica en el municipio de Cozumel por épocas del año.

A partir de la estación meteorológica en la isla de Cozumel se recolectaron los datos históricos para obtener los resultados de la sensación térmica, asimismo los indicadores se clasificaron por estación del año. En la temporada de primavera se consiguieron los valores máximos y mínimos de sensación térmica, de tal forma que el 22 de marzo de 2010 se registró en la estación meteorológica una temperatura máxima y mínima de 28.6 °C y 16 °C, además se presentó un índice de calor de 35.92. El 03 de junio de 2013 se reportó una sensación térmica de 34.96 con una temperatura máxima de 28.2 °C y una temperatura mínima de 23.3 °C.

En relación con las temperaturas que se han reportado, es posible que en algunas personas sufrieron la crisis de golpe de calor. Por otra parte, con los datos mínimos de temperatura y humedad relativa se ha encontrado la máxima y mínima sensación térmica, por lo que en la Tabla 4.10 se exhiben los indicadores.

El 08 de junio de 2010 se ha dado un índice térmico de 39.37, este día en la zona se reportó una temperatura máxima de 35 °C y una temperatura mínima de 34.6 °C. El 23 de marzo de 2010 se logró un índice de calor mínimo de 35.25, en esta fecha se registró una temperatura máxima de 29.2 °C, al igual una temperatura mínima de 10.1 °C. Así pues, las temperaturas que se han reportado en estas fechas no son tan elevadas, por tanto, las personas no mostraron el trastorno de

golpe de calor. En general, con los índices de calor citados se puede expresar que en la isla se presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, seguramente algunos habitantes soportaron síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

Tabla 4.10 Resultados de la sensación térmica en la estación de primavera.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2010-03-22	35.92	2013-06-03	34.96
Índice de Calor con datos mínimos			
2010-06-08	39.37	2010-03-23	35.25

Como se muestra en la Tabla 4.11, los resultados están clasificadas con las fechas más relevantes en la época de verano. En los días 20 de julio 2014 y 03 de julio 2013 se alcanzaron los valores de sensación térmica máximos de 36.97 y 34.96. En la primera fecha, con la estación meteorológica de la isla se captó una temperatura máxima de 28.7 °C y una temperatura mínima de 20.3 °C. En la segunda fecha se registró una temperatura máxima y mínima de 28.2 °C y 23.3 °C.

Tabla 4.11 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2014-07-20	36.97	2013-07-03	34.96
Índice de Calor con datos mínimos			
2016-08-18	39.22	2016-06-23	37.12

Así también, la sensación térmica mínima se ha conseguido con los datos mínimos de temperatura y humedad relativa, por lo que el 18 de agosto 2016 se presentó un índice de calor de 39.22, en esta fecha se captó una temperatura máxima y mínima de 14.5 °C y 6.3 °C. El 23 de junio 2016 se obtuvo un índice térmico de 37.12, este mismo día se registró una temperatura máxima de 14.1 °C, igualmente una temperatura mínima de 7.6 °C. Dadas las temperaturas máximas en las

fechas señaladas, se puede deducir que en la isla de Cozumel posiblemente algunas personas hayan padecido el trastorno de golpe de calor o padecieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

En la temporada de otoño, las jornadas: 17 de diciembre de 2006 y 02 de diciembre de 2013 se ha encontrado la sensación térmica máxima de 38.99 y 34.96. Con la estación meteorológica de la región, el 17 de diciembre se registró una temperatura máxima de 29.7 °C y una temperatura mínima de 23.8 °C. El 02 de diciembre se captó una temperatura mínima de 20.8 °C y una temperatura máxima de 28.2 °C. Ahora bien, los índices de calor que se han mostrado pueden señalar que Cozumel manifestó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, es posible que algunas personas presentaron el síntoma síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Las altas temperaturas exhibidas nos dicen que existe una probabilidad que algunas personas sufrieron la crisis de golpe de calor. En cuanto a los valores mínimos de temperatura y humedad relativa, se ha obtenido la sensación térmica mínima y máxima en las siguientes fechas: el 11 de diciembre de 2015 se consiguió un índice de calor de 36.50, este día se registró una temperatura máxima de 20.2 °C y una temperatura mínima de 9.4 °C. El 13 de octubre de 2015 se adquirió un índice térmico de 34.80, en esta fecha se reportó una temperatura mínima de 10.5 °C, aparte una temperatura máxima de 20.3 °C. Por tanto, en la zona estudiada se presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, es probable que algunos individuos que radican en la región sufrieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Las bajas temperaturas mostradas deducen que las personas no padecieron el trastorno de golpe de calor. En la Tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.12 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2006-12-17	38.99	2013-12-02	34.96
Índice de Calor con datos mínimos			
2015-12-11	36.50	2015-10-13	34.80

En invierno se adquirió una elevada sensación térmica, esto significa que en la isla se presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, provocando a los habitantes el síntoma de

insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. De esta manera, con la recolección de las variables máximas de temperatura y humedad relativa se efectuaron los cálculos para la sensación térmica, por lo que las fechas dadas fueron las siguientes: el 27 de febrero de 2004 y 28 de enero de 2004 presentaron un índice de calor de 37.99 y 35.92. El 27 de febrero se ha captado con la estación meteorológica una temperatura máxima de 30.2 °C y una temperatura mínima de 17.3 °C. El 28 de enero se registró una temperatura mínima de 20 °C y una temperatura máxima de 28.6 °C. Sobre las elevadas temperaturas es probable que algunas personas en la isla padecieron la crisis de golpe de calor.

El 27 de febrero de 2017 se obtuvo una sensación térmica de 38.28 y el 05 de marzo de 2017 una sensación térmica de 33.38. En la primera fecha, en la región se reportó una temperatura máxima de 19.6 °C y una temperatura mínima de 5.8 °C. En la segunda fecha se captó una temperatura máxima de 18.2 °C y una temperatura mínima de 7.6 °C. Se puede concluir que los resultados de índice térmico presentan nuevamente una clasificación caliente con categoría de tipo dos. En relación con el trastorno de golpe de calor se muestra que la temperatura máxima no es tan elevada, por lo que esta crisis no afectó a los habitantes de la isla. En la Tabla 4.13 se exhiben los índices de calor obtenidos por medio de los datos históricos de temperatura y humedad relativa.

Tabla 4.13 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2004-02-27	37.99	2004-01-28	35.92
Índice de Calor con datos mínimos			
2017-02-27	38.28	2017-03-05	33.38

4.6 Estudio de la sensación térmica en la localidad de Chetumal por estaciones del año.

En la localidad de Chetumal se obtuvieron los resultados de índice de calor con los datos máximos de temperatura y humedad relativa, (véase en la Tabla 4.14). En la época de primavera, los índices de calor máximos se presentaron en las siguientes fechas: el 02 de junio de 2016 se consiguió una sensación térmica de 39.54, aparte con la estación meteorológica se registró una temperatura máxima de 35.1 °C y una temperatura mínima de 28.3 °C. El 19 de abril 2015 se

consiguió un índice térmico de 38.53, igualmente se recolectó una temperatura máxima de 30 °C y una temperatura mínima de 28 °C.

La sensación térmica mínima se ha obtenido con las mínimas frecuencias de temperatura y de humedad relativa. De modo que el 20 de mayo de 2016 se consiguió un índice de calor de 30.84, en esta jornada con la estación meteorológica se captó una temperatura máxima de 34.4 °C, al igual una temperatura mínima de 28.8 °C. El 2 de abril de 2013 se alcanzó con los cálculos un índice térmico de 27, en este día se registró una temperatura máxima de 33.1 °C y una temperatura mínima de 26 °C. Para los resultados de sensación térmica mostrados, es probable que algunas personas que viven en la localidad tuvieron el síntoma de fatiga con exposición prolongada y actividad física. Asimismo, en Chetumal se presentó una categoría tipo uno con clasificación calurosa. En general, respecto a la crisis de golpe de calor, se observa que las temperaturas máximas están arriba de los 30 °C, es decir que tal vez en la localidad algunos habitantes padecieron el trastorno.

Tabla 4.14. Resultados de la sensación térmica en la época de primavera.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2016-06-02	39.54	2015-04-19	38.53
Índice de Calor con datos mínimos			
2016-05-20	30.84	2013-04-02	27.00

En la estación de verano, en los días 26 de junio 2015 y 11 de septiembre de 2013 se adquirieron los índices de calor de 39.45 y 34.06. En la primera fecha la estación meteorológica registró una temperatura máxima de 29 °C y una temperatura mínima de 22 °C. En la segunda fecha se captó una temperatura máxima de 27.6 °C, al igual una temperatura mínima de 23.6 °C. Para los resultados de sensación térmica con datos máximos se presentó una categoría tipo dos con clasificación caliente, se puede deducir que algunas personas padecieron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

No obstante, con los datos históricos mínimos de humedad relativa y temperatura se consiguió el índice de calor mínimo, por lo que los resultados se mostraron en las siguientes fechas: el 27 de agosto de 2017 se alcanzó un indicador de 30.53, también se registró con la terminal meteorológica una temperatura máxima de 33.2 °C, al igual una temperatura mínima de 39.5 °C. El 23 de julio de

2013 se ha dado una sensación térmica de 28.41, en esta jornada se registró una temperatura mínima de 39.5 °C y una temperatura máxima de 33.8 °C. Por tanto, con estas evidencias de la sensación térmica se puede considerar que en Chetumal se presentó una categoría tipo uno con clasificación calurosa, es decir algunas personas que habitan en el lugar padecieron un trastorno de fatiga con exposición prolongada y actividad física. En relación con la crisis de golpe de calor, se observa que las temperaturas superan los 30 °C y es posible que algunos individuos de la región padecieron este trastorno médico. En la Tabla 4.15 se muestran los indicadores obtenidos.

Tabla 4.15 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2015-06-26	39.45	2013-09-11	34.06
Índice de Calor con datos mínimos			
2017-08-27	30.53	2013-07-23	28.41

En la Tabla 4.16 se muestran los índices de calor que se han logrado en el periodo de otoño. El 20 de octubre de 2015 y 28 de noviembre de 2014 se obtuvo un índice de calor máximo de 39.45 y mínimo de 34.32. El día 20 con la terminal meteorológica se captó una temperatura máxima de 29 °C y una temperatura mínima de 24 °C. El día 28 se registró una temperatura mínima de 19.2 °C, al igual una temperatura máxima de 28.7 °C. Ahora bien, las evidencias de la sensación térmica indican que en Chetumal se presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, esto es, que algunas personas padecieron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. De igual forma, con las frecuencias mínimas de temperatura y humedad relativa se realizó el cálculo para los resultados de sensación térmica mínima. El 29 de noviembre de 2011 se logró un índice de calor de 32.56, en este periodo con el dispositivo meteorológico captó una temperatura mínima de 11.9 °C, igualmente una temperatura máxima de 26.8 °C. Otra fecha considerada fue el 24 de octubre de 2015, el cual se obtuvo una sensación térmica de 27, en esta jornada se ha registrado una temperatura máxima de 33 °C y una temperatura mínima de 26 °C. Para la sensación térmica mostrada en la región se presentó una categoría de tipo uno con clasificación calurosa, con esta clasificación es posible que algunos individuos sufrieron el síntoma de fatiga con exposición prolongada y actividad física. También

con todas las temperaturas elevadas prueban que tal vez algunos habitantes de Chetumal sufrieron la crisis de golpe de calor.

Tabla 4.16 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2015-10-20	39.45	2014-11-28	34.32
Índice de Calor con datos mínimos			
2011-11-29	32.56	2015-10-24	27.00

Como se ha mencionado, en la temporada de invierno se han realizado los mismos cálculos para adquirir los resultados de sensación térmica. En la zona de estudio, el 07 de febrero de 2015 se adquirió un índice de calor de 38.90, en este día se recolectó con el dispositivo meteorológico una temperatura máxima de 29 °C y una temperatura mínima de 16 °C. De igual forma, el índice térmico de 33.09 se obtuvo el 18 enero de 2013, en esta fecha se registró una temperatura mínima y máxima de 16.5 °C y 27.9 °C. Los índices de calor que se han expuesto implican que en la localidad se presentó una clasificación caliente con categoría de tipo dos, esto quiere decir que a lo mejor algunas personas sufrieron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

Como se muestra en la Tabla 4.17, el 25 de enero de 2017 se presentó una sensación térmica máxima de 33.23, en esta jornada con la estación meteorológica se recolectó una temperatura máxima de 29.9 °C, al igual una temperatura mínima de 12.1 °C. El 18 de enero de 2014 se obtuvo un índice de calor de 33.14, este día con la misma estación meteorológica se reportó una temperatura máxima de 26.3 °C y una temperatura mínima de 12.2 °C. En consecuencia, con el rango de índice térmico se concluye que en la región se manifiesta una clasificación caliente con categoría de tipo dos, por lo que quizás algunos habitantes padecieron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Respecto al trastorno de golpe de calor, se puede observar que todas las temperaturas elevadas indican que tal vez algunas personas de Chetumal sufrieron esta crisis médica.

Tabla 4.17. Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2015-02-07	38.90	2013-01-18	33.09
Índice de Calor con datos mínimos			
2017-01-25	33.23	2014-01-18	33.14

4.7 Estudio de la sensación térmica en el municipio de Felipe Carrillo Puerto por estaciones del año.

En la Tabla 4.18 se muestran los resultados de sensación térmica en la estación de primavera. En las fechas 27 de marzo de 2013 y 27 de marzo de 2008 se obtuvieron los índices de calor de 39.83 y 38.84. En la primera fecha se registró con el dispositivo meteorológico una temperatura máxima de 30.2 °C y una temperatura mínima de 15.3 °C. En la segunda jornada se captó una temperatura máxima de 31 °C, además una temperatura mínima de 26.7 °C. Para los índices de calor exhibidos nos revelan que en el municipio se manifestó una clasificación caliente con categoría de tipo dos, probablemente en algunas personas les haya causado los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Respecto a los datos mínimos de temperatura y humedad relativa se buscaron los índices de calor mínimos, donde el 8 de mayo de 2006 se reveló un índice térmico de 29.8, este día con la terminal meteorológica se reportó una temperatura máxima de 35.2 °C y una temperatura mínima de 29.6 °C. El día 8 de abril de 2009 se adquirió una sensación térmica de 27.03, en esta fecha se presentó una temperatura máxima de 32 °C, igualmente una temperatura mínima de 14.2 °C.

Tabla 4.18 Resultados de la sensación térmica en la estación de primavera.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2013-03-27	39.83	2008-03-27	38.84
Índice de Calor con datos mínimos			
2006-05-08	29.80	2009-04-08	27.03

Por tanto, los resultados de índice de calor indican que se presentó en Felipe Carrillo una categoría de tipo uno con clasificación calurosa, esto implica que posiblemente en algunos individuos padecieron los síntomas de fatiga con exposición prolongada y actividad física. Dadas las elevadas temperaturas se puede considerar que tal vez algunas personas toleraron el trastorno de golpe de calor.

En verano con los datos históricos de temperatura y humedad relativa se consiguieron los índices de calor máximos y mínimos. El 26 de junio de 2011 se obtuvo la sensación térmica de 38.87 y el 08 de agosto de 2012 se adquirió la sensación térmica de 35.36, con la estación meteorológica el día 26 se registró una temperatura máxima de 28.8 °C y una temperatura mínima de 23.7 °C, además en la segunda fecha se captó una temperatura máxima de 28.2 °C, al igual una temperatura mínima de 24 °C. Los resultados de la sensación térmica que se mencionan nos revelan que en el municipio se manifiesta una clasificación caliente con categoría de tipo dos, con esto a lo mejor en algunos habitantes sufrieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

No obstante, se tomaron en cuenta las variables mínimas de temperatura y humedad relativa para los resultados de sensación térmica mínima, de manera que el 28 y el 30 de junio del año 2011 se adquirieron los índices de calor de 28.35 y 27.03. Por consiguiente, el día 28 se captó una temperatura máxima de 30 °C y una temperatura mínima de 26.2 °C. El 30 junio se registró en la región una temperatura máxima de 33 °C, igualmente una temperatura mínima de 26 °C. Teniendo en cuenta los índices de calor de la Tabla 4.19, se deduce que en esta estación del año el municipio presentó una clasificación calurosa con categoría de tipo uno, esto indica que tal vez algunas personas padecieron el trastorno de fatiga con exposición prolongada y actividad física. Todas las temperaturas elevadas pueden demostrar que a lo mejor algunas personas toleraron el trastorno de golpe de calor.

Tabla 4.19 Resultados de la sensación térmica en la estación de verano.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2011-06-26	38.87	2012-08-08	35.36
Índice de Calor con datos mínimos			
2011-06-28	28.35	2011-06-30	27.03

Dada la época de otoño, en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, los días 19 de octubre de 2011 y 24 de noviembre de 2012 se adquirieron los índices de calor de 35.21 y 38.26. Con el dispositivo meteorológico, en la primera fecha se presentó una temperatura máxima de 27.9 °C y una temperatura mínima de 23.1 °C. En la segunda jornada se registró una temperatura máxima de 29.9 °C y una temperatura mínima de 12.6 °C. Para los índices de calor exhibidos, se puede mencionar que en el municipio se presentó una categoría de tipo dos con clasificación caliente, quizás algunas personas padecieron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. En la Tabla 4.20 se muestran los resultados de sensación térmica.

Tabla 4.20 Resultados de la sensación térmica en la estación de otoño.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2011-10-19	35.21	2012-11-24	38.26
Índice de Calor con datos mínimos			
2010-12-15	37.98	2008-12-12	33.90

En cuanto a las mínimas frecuencias de humedad relativa y temperatura se ha logrado la sensación térmica mínima. El 15 de diciembre de 2010 se consiguió un índice de calor de 37.98, en este día se presentó una temperatura máxima de 25.1 °C y una temperatura mínima de 9.7 °C. El 12 de diciembre de 2008 se logró un índice térmico de 33.90, en esta fecha se recolectó con la estación meteorológica una temperatura máxima de 24.3 °C, al igual una temperatura mínima de 11.3 °C. Las cantidades mostradas de sensación térmica revelan que quizás algunas personas que viven en el municipio tuvieron síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física, este trastorno se presenta debido a que en la zona se manifestó una clasificación caliente con categoría de tipo dos. En relación con todas las elevadas temperaturas, se puede suponer que a lo mejor algunas personas sufrieron el trastorno de golpe de calor.

En la temporada de invierno, el 11 de marzo de 2011 y el 25 de enero de 2006 se obtuvieron los índices de calor de 39.30 y 37.62. En la fecha señalada con el año 2006 se ha reportado desde la estación meteorológica una temperatura máxima de 28.5 °C y una temperatura mínima de 21.1 °C.

En la jornada con el año 2011 se registró una temperatura máxima de 28.9 °C, al igual una temperatura mínima de 18.5 °C. Para las evidencias de sensación térmica se concluye que en el municipio se ha presentado una categoría de tipo dos con clasificación caliente, tal vez algunas personas contrajeron el síntoma de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

Tabla 4.21 Resultados de la sensación térmica en la estación de invierno.

Índice de Calor con datos máximos			
Fecha	Máximo	Fecha	Mínimo
2011-03-11	39.30	2006-01-25	37.62
Índice de Calor con datos mínimos			
2006-02-14	38.11	2009-01-25	33.05

Finalmente, con las mínimas frecuencias de temperatura y humedad relativa se ha conseguido la sensación térmica mínima, como se muestra en la Tabla 4.21. El 14 de febrero de 2006 se obtuvo un índice de calor de 38.11, en esta fecha se ha reportado una temperatura máxima de 26.5 °C y una temperatura mínima de 9.4 °C. El día 25 de enero de 2009 se adquirió un índice térmico de 33.05, en esta jornada se registró una temperatura máxima y una mínima de 30.2 °C y 10.9 °C, respectivamente. Para los índices de calor que se han expuestos, se deduce que en la región se manifestó una clasificación caliente con categoría de tipo dos, es posible que algunas personas padecieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. También se considera que en algunos habitantes padecieron la crisis de golpe de calor por las elevadas temperaturas.

Capítulo 5. Conclusiones

Empleando el método estadístico de prueba de ajuste de bondad Chi cuadrada en los datos históricos mínimos, se muestran nueve regiones con el rechazo de la hipótesis nula, de manera que las diferencias observadas son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, existen evidencia a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que el error. Solo los datos del puerto marítimo de Tulum no presentaron rechazo de la hipótesis nula, por lo cual se concluye que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, de ahí que no

existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es similar a la variabilidad aleatoria esperada.

Para los datos históricos máximos, seis territorios exponen rechazo de la hipótesis nula, estas diferencias observadas son estadísticamente significativa a nivel de $\alpha=0.05$, con ello se manifiestan evidencias a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que la variabilidad aleatoria esperada. En las zonas de Cancún, Puerto Morelos, Cobá y Victoria no presentaron rechazo de la hipótesis nula, esto indica que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, por lo cual no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es similar al error.

A partir de las publicaciones agregadas en esta investigación, durante 31 años se ha registrado el calentamiento en las zonas del Caribe, donde la temperatura de la superficie del mar registró una tendencia anual de $0.0209\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año. En las altas montañas en el sur de México, América central y el norte de América del sur (región intra-americana), se presentaron aumentos superiores a $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década en la temperatura de la superficie del mar. Además, con el análisis en las series de tiempo anual de la temperatura de la superficie del mar, se consiguió en la región intra-americana una tendencia de calentamiento regional de $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año. Ahora bien, los mapas de estudio muestran los importantes territorios que se ubican en las costas del Caribe. Los mapas son una representación de la época de verano e invierno, en ellas se observa los indicadores de las temperaturas máximas y mínimas. Para los resultados de las temperaturas máximas, en el mes de julio se exhiben los lugares de Cancún y Cozumel con un grado de tendencia progresiva. Por el contrario, las regiones de Tulum, Puerto Morelos y Playa del Carmen presentan un grado de tendencia decadente. En el mes de agosto las zonas de Cancún y Cozumel siguen con grados de tendencia creciente. Pero, Playa del Carmen y Tulum comparándolos con el mapa del mes de julio, cambian a grado de tendencia positiva. Solo la región de Puerto Morelos queda con el mismo grado de tendencia decreciente.

En el mes de enero los territorios de Cancún, Playa del Carmen y Cozumel tienen un aumento en el grado de tendencia. En cambio, en las zonas de Puerto Morelos y Tulum conllevan una disminución en el grado de tendencia. Asimismo, en el mes de febrero se indica un cambio en la región de Tulum, ya que en comparación con el mapa del mes de enero se tiene un grado de tendencia aumentada. Solamente Puerto Morelos se queda con un grado de tendencia decreciente en paralelo al mapa de enero. Por otra parte, comparando los mapas, los resultados adquiridos por las temperaturas máximas indican que los territorios de Cancún y Cozumel existe un incremento

en la temperatura, tanto en la época de verano e invierno. La prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada para los datos históricos de Cancún no existe el rechazo de la hipótesis nula, por lo que en las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, el efecto es similar al error y no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa. La correlación entre el consumo de electricidad para la región es débil con un valor de -25.42. Para la zona de Cozumel la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada pertenece al rechazo de la hipótesis nula, por lo que las diferencias observadas son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, asimismo existen evidencia a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que a la variabilidad aleatoria esperada (error). La correlación entre la variable de consumo de energía eléctrica que corresponde al sitio es nula con un valor de -0.0100, esto quiere decir que es posible que el consumo de electricidad sufre por otra variable climatológica. También, se observa que en la región de Puerto Morelos se está enfriando, tanto en invierno y verano. La prueba de ajuste de bondad de chi-cuadrada para la zona no consta al rechazo a la hipótesis nula, de manera que en las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, el efecto es similar al error y no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa. La correlación para el sitio de Puerto Morelos pertenece a ser nula con un indicador de -0.1495.

No obstante, para los indicadores de las temperaturas mínimas, el mes de julio exhibe los territorios de Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen y Cozumel con un grado de tendencia decreciente. Solo el sitio de Tulum presenta un grado de tendencia creciente. En el mes de agosto las zonas de Cancún, Playa del Carmen, Tulum y Cozumel revelan grados de tendencia creciente. Únicamente, el sitio de Puerto Morelos tuvo un grado de tendencia negativa. También, en el mes de enero los territorios de Puerto Morelos, Playa del Carmen, Tulum y Cozumel tienen un aumento en el grado de tendencia. En el caso de Cancún conlleva a una disminución en el grado de tendencia. Posteriormente, en el mes de febrero los territorios que están en las costas del Caribe indican un grado de tendencia creciente. Sin embargo, realizando el balance entre los mapas presentados de los indicadores de temperaturas mínimas, se estima que, en la región de Tulum, tanto en el periodo de verano e invierno no cambia el grado de tendencia, además la correlación con el consumo de energía eléctrica es de 0.4125, es decir tiene una relación débil. En cuanto a la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrada, no existe rechazo en la hipótesis nula y en las diferencias observadas no son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, de este modo el efecto es similar al error y no existen evidencias a favor de la hipótesis alternativa. Con respecto al sitio de Puerto Morelos en los meses de verano no existe cambio alguno en el grado de tendencia, solo indica una disminución

en las temperaturas. Sobre la correlación entre el consumo de energía eléctrica presenta una relación débil con valor de 0.3732, esto deduce que el consumo de la energía eléctrica depende de los aumentos de temperatura. La prueba de bondad de ajuste chi cuadrada en los datos del lugar, corresponden al rechazo de la hipótesis nula, por lo que las diferencias observadas son estadísticamente significativas a nivel de $\alpha=0.05$, asimismo existen evidencia a favor de la hipótesis alternativa y el efecto es mayor que a la variabilidad aleatoria esperada (error). Y en el mes de invierno, el mismo sitio presenta un similar aumento en el grado de tendencia.

Al inicio de este trabajo se ha mencionado que el conjunto de islas de las Antillas Mayores y Menores, Yucatán en México y la costa del Caribe Suramericano son áreas con sensación térmica que oscilan entre los 29 y 32 °C, por lo que podría afectar la salud de la población con síntomas de insolación, el agotamiento por calor o la fatiga. En las costas de América Central y México junto con el interior de América del Sur, se ha presentado el índice de calor entre los 26 y 29 °C, estos resultados denotan un área de precaución baja. Asimismo, en Centroamérica, México y el norte de Sudamérica, se detectó un índice de calor máximo de 36 a 38 °C. En esta investigación se tomaron en cuenta los datos máximos de temperatura y humedad relativa de cuatro zonas del estado de Quintana Roo. Los resultados han mostrado un elevado índice de calor. En las cuatro regiones estudiadas con sus estaciones del año padecen de los elevados índices de calor con categoría de tipo dos y clasificación caliente, probablemente los habitantes padecieron los síntomas de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física. Por lo tanto, de las cuatro zonas de estudio, la sensación térmica más elevada la obtuvo la región de Cancún en la estación de verano con un valor máximo de 38.96 y una mínima de 37.86, además en la época de invierno se consiguió un índice de calor máximo de 39.96 y una mínima de 35.98. De igual forma, con las frecuencias mínimas de temperatura y humedad relativa, se ha conseguido en el área de estudio una elevada sensación térmica. En la estación de verano, la zona de Cozumel exhibe una sensación térmica máxima de 39.22 y una mínima de 37.12. En la época de invierno, se adquirió una sensación térmica mínima de 33.38 y una máxima de 38.28. Dicho esto, en la isla Cozumel corresponde a una categoría de tipo dos con clasificación caliente, es probable que los habitantes padecieron los indicios de insolación, calambres y posible agotamiento con exposición prolongada y actividad física.

Por último, de acuerdo con las publicaciones añadidas, la demanda de energía per cápita mensual se ha promediado durante 33 años sobre toda la región intra-americana, alcanzando los 169 kWh per cápita. En la península de Yucatán tiene demandas energéticas en un rango de 150 a 200 kWh

por mes. Y en el Centro de México presentan tendencias significativas, que van desde los 2 hasta los 4 kWh por año. En Quintana Roo se ha reportado durante el año 2002 hasta el 2017 un consumo total de electricidad de 54 770.80 GWh, el cual corresponde el 1.85% del consumo total en México. Además se obtuvo un grado de tendencia positiva donde cada año se presenta un incremento de 16.21 GWh. También se exhibe en el mes de febrero del año 2002 un mínimo consumo de electricidad de 150.176 GWh y en el mes de septiembre del año 2017 un máximo consumo de 490.151 GWh. Respecto al consumo de energía eléctrica per cápita, en el año 2020 se registró un mínimo uso de electricidad por individuo de 1 141.72 kWh, en este mismo año el INEGI reportó una población total en Quintana Roo de 1 857 985 habitantes y SENER registró un consumo de energía eléctrica de 2 121.30 GWh. En el año 2015 se ha presentado un incremento en el consumo de electricidad por persona de 2 749.66 kWh, el indicador corresponde a una población de 1 505 785 usuarios y un consumo de electricidad de 4 140.41 GWh. Por lo tanto, durante el año 2015 hasta el 2020 se refleja un declive de -58.47% en el consumo de energía eléctrica per cápita, asimismo en el año 2020 se muestra una disminución en el consumo de electricidad y un aumento en la población.

Bibliografía

- A. Ling, D., G. Marchal, W., & A. Wathen, S. (2008). *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (Decimotercera edición ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Andrades Rodríguez, M., & Muñoz León, C. (2012). *Fundamentos de Climatología*. Universidad de La Rioja: iberus, servicio de publicaciones.
- Ángel, H. J. (2010). *Probabilidad y Estadística con MATLAB® para investigadores*. Colombia: Universidad de Cundinamarca Seccional Ubaté.
- Angeles Malaspina, M., González Cruz, J., & Ramírez Beltran , N. (2018). Projections of Heat Waves Events in the Intra-Americas Region Using Multimodel Ensemble. *Hindawi Publishing Corporation*.
- Anglés Hernández, M., Roux, R., & García Rivera, E. A. (2017). *Reforma en materia de hidrocarburos*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- Camacho Lomelí, R. (2015). Urbanización turístico-costera desigual en Playa del Carmen, Quintana Roo (México). *GeoGraphos*, 107-134.
- CENACE. (2020-2034). *Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista (PAMRNT)* . Ciudad de México.
- CFE. (2015). *Reporte Anual 2014*. Ciudad de México.
- CFE. (2016). *Reporte anual 2015*. Ciudad de México.
- CFE. (2017). *Reporte anual 2016*. Ciudad de México.
- CFE. (2017). *Reporte anual 2017*. Ciudad de México.
- CFE. (2018). *Reporte anual 2018*. Ciudad de México.
- CFE. (2019). *Reporte anual 2019*. Ciudad de México.

- Chávez del Valle, F. (2002). *Zona Variable de Confort Térmico (Tesis Doctoral)*. Barcelona, España.
- E. Angeles, M., E. González, J., & Ramírez, N. (2017). Impacts of climate change on building energy demands in the intra-Americas region. *Springer Science+Business Media*.
- E. Freund, J., Miller, I., & Miller, M. (2000). *Estadística matemática con aplicaciones. Sexta edición*. México: Pearson educación.
- E. Walpole, R., H. Myers, R., L. Myers, S., & Ye, K. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Octava edición*. México: Pearson educación.
- E. Walpole, R., H. Myers, R., L. Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Novena edición*. México: Pearson educación.
- F. Triola, M. (2009). *Estadística (Décima edición ed.)*. Ciudad de México, México: Pearson educación.
- F. Triola, M. (2018). *Estadística (Decimosegunda ed.)*. CDMX, México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Finklea, J., H. Coppée, G., R. Hunt, V., S. Kraus, R., Luring, W., Messite, J., . . . L. Myers, M. (1998). *Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo*. Madrid, España: Chantal Dufresne, BA.
- FONATUR. (2015). *Líneas de Acción de Desarrollo Turístico para la diversificación de nuevos productos turísticos de Playa del Carmen, Municipio de Solidaridad, Estado de Quintana Roo*. Ciudad de México.
- Glenn, E., Comarazamy, D., González, J., & Smith, T. (2015). Detection of recent regional sea surface temperature warming in the Caribbean and surrounding region. *American Geophysical Union (AGU)*.

- González, J., Georgescu, M., Lemos, M., Hosannah, N., & Niyogi, D. (abril de 2017). Climate Change's Pulse Is in Central America and the Caribbean. *Eos Earth & Space Science News*.
- Gorgas García , J., Cardiel López, N., & Zamorano Calvo, J. (2011). *Estadística básica para estudiantes de ciencias*. Madrid.
- Hernández Hernández , L., Acosta López, R., & Sangüinety Peláez, E. (2018). Valoración cualitativa sobre la “sensación térmica” en aulas del edificio de Premédico de la Escuela Latinoamericana de Medicina. *Panorama Cuba y Salud*, 492-495. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/cubaysalud/pes-2018/pess181dc.pdf>
- INEGI. (2013). *Conociendo Quintana Roo*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Jiménez, H., Rayo, E., González , J., Lentz, Á., & Mendoza, R. (2020). Estudios de la climatología en Quintana Roo (México) y su posible correlación. *Laboratorio Nacional de Energía e Geología, I. P. (LnEG)*.
- Johnson, R., & Kuby, P. (2008). *Estadística elemental: Lo esencial. Décima edición*. México: CENGAGE Learning.
- M. Levine, D., C. Krehbiel, T., & L. Berenson, M. (2012). *Estadística descriptiva. Primera edición*. México: pearson educación.
- Mendenhall, W., J. Beaver, R., & M. Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística* (Décima tercera edición ed.). CDMX, México: CENGAGE Learning.
- Mendivelso, F., & Rodríguez, M. (2018). Prueba chi-cuadrado de independencia aplicada en tablas 2xN. *Médica Sanitas*, 92-95.
- NOAA. (2014). *Índice de calor o Sensación Térmica*. Estado Unidos.
- Norma ISO 7730. (2006). *la Organización Internacional de Normalización. ISO 7730:2005. Ergonomía del ambiente térmico*. Madrid, España.

- Piñeiro Sande, N., Martínez Melgar, J., Alemparte Pardavila, E., & Rodríguez García, J. (2004). Golpe de Calor. *U.C.C. Complejo Hospitalario de Pontevedra.*, 116-125.
- Pokhrel, R., Ortiz, L., Ramírez Beltran, N., & González, J. (junio de 2019). On the Climate Variability and Energy Demands for Indoor Human Comfort Levels in a Tropical-Coastal Urban Environment. *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*.
- Pozo, C., Armijo Canto, N., & Calmé, S. (2011). *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y PPD.* Mexico, CDMX.
- PRODESEN. (2015-2029). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SENER).* Ciudad de México.
- PRODESEN. (2016-2030). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SENER).* Ciudad de México.
- PRODESEN. (2017-2031). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SENER).* Ciudad de México.
- PRODESEN. (2018-2032). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SENER).* Ciudad de México.
- PRODESEN. (2019-2033). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (SENER).* Ciudad de México.
- Rivas Cárdenas, D. (2018). *El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú.
- Rodríguez Jiménez, R. M., Benito Capa, Á., & Portela Lozano, A. (2004). *Meteorología y Climatología.* España: FECYT.

Rojas González, I. A., & Rodríguez Ramírez, E. (2012). *Cambio Climático*. Ciudad de México: SEDEMA.

Sáez Castillo, A. J. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. Universidad de Jaén.

SE. (2017-2018). *Información económica y estatal Quintana Roo*. México: Secretaría de economía.

SECTUR. (2013-2018). *Estudio de Competitividad Turística del destino Riviera Maya*. Quintana Roo.

SEDETUR. (2011-2016). *Módulo 2. Aspectos históricos del destino*. Quintana Roo. México: SEDETUR.

SEDETUR. (2016). *Cartilla Turística Escolar*. Quintana Roo.

SEMARNAT. (2009). *Cambio Climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México.: Semarnat.

Tejeda Martínez , A., Méndez Pérez, I. R., Catalina Rodríguez, N., & Tejeda Zacarías, E. (2018).

La humedad en la atmósfera. Colima, México: Universidad de Colima.

Torres Llanes, L. (2016-2018). *Plan Municipal de Desarrollo*. Othón P. Blanco, Quintana Roo:

Honorable Ayuntamiento de Othón P. Blanco.

Uc Ake, E. G., & Lopéz Sánchez, J. D. (2015). *Impacto del turismo rural en la comunidad de*

Señor del municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México (Tesis de Pregrado).

Playa del Carmen, Quintana Roo.

Sitio de Internet.

<https://www.cicese.edu.mx/welcome/acerca/2>

<https://www.redesclim.org.mx/>

<http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/index.html>

<http://pembu.dgenp.unam.mx/introduccion/bellas-artes>

<https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

<https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia>

<https://www.vaisala.com/es/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/maws201m>

http://132.248.164.227/publicaciones/docs/apuntes_matematicas/34.%20Estadistica%20Descriptiva.pdf

https://www.researchgate.net/publication/334308162_Ecuacion_Clausius-Clapeyron_y_Relaciones_de_Maxwell<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2392/Capitulo5.pdf>

<https://www.bioestadistica.uma.es/baron/apuntes/ficheros/cap06.pdf>

http://ocw.uv.es/ciencias-sociales-y-juridicas/estadistica-i/tema_3_2.pdf

<https://conceptosclaros.com/importancia-correlacion-estadistica/>

<https://www.solucionesintegralesendesa.com/blog/meteorologia/meteorologia-y-climatologia/>

<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=about>

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/clima.aspx?tema=me>

<https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>

https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equationbody.html

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/109732/OBJETIVOS_Y ESTRATEGIAS.pdf

<https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/4103/El%20clima%2C%20caracteres%2C%20causas%2C%20clasificaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://public.wmo.int/en>

<https://clima.bio/indice-de-sensacion-termica-heat-index/>

<https://www.coursehero.com/file/p6bur27/Aspiropsic%C3%B3metro-El-Psic%C3%B3metro-funciona-bien-pero-cuando-el-viento-est%C3%A1-en/>

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=23

<https://www.divulgameteo.es/uploads/Golpe-de-calor.pdf>

<http://www.cfnavarra.es/salud/PUBLICACIONES/Libro%20electronico%20de%20temas%20de%20Urgencia/18.Ambientales/Golpe%20de%20calor.pdf>

<https://www.cenace.gob.mx/DocsMEM/OpeMdo/BuzonNotificaciones/NOTA%20INFORMATIVA.%20Capacidad%20de%20Transmisi%C3%B3n%20Enlaces%20Internacionales.pdf>

<https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>

<https://medicina.ucm.es/data/cont/media/www/pag-67077/NUEVA%20OP%20MED-El%20fracaso%20Multiorg%C3%A1nico.pdf>

https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/23/23001.pdf
<https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioPtomorelos.pdf>
<https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioCancun.pdf>
<https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/la-isla-de-cozumel>
http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2016/AR_SOLIDARIDAD_QROO_2016.pdf
<https://es.weatherspark.com/y/13837/Clima-promedio-en-Cob%C3%A1-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
<https://mexico.pueblosamerica.com/i/coba/>
<http://historiadoramiryam.yolasite.com/resources/19%C2%B0%20Clase%20Coba.pdf>
<https://mexico.pueblosamerica.com/i/senor/>
https://consulmex.sre.gob.mx/guangzhou/images/PDFpromocion/QROO_Maya.pdf
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/920/702825922511/702825922511_1.pdf
http://gruposima.es/pdf/33_LA_SENSACION_TERMICA.pdf
http://web.uas.edu.mx/web/include/servicios/clima/pdf/Indices_de_calor_o_sensacion_termica_4_julio_de_2014.pdf
<https://mexico.pueblosamerica.com/i/guadalupe-victoria-63/>
<https://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domesticas-multimat.pdf>

Anexos

Anexo 1. Cantidades totales de generación de energía eléctrica por tecnología en México, (GWh).

Periodo	Termoeléctrica	Turbogás	Combustión interna	Carboeléctrica	Geotermolétrica	Nucleoeléctrica	Eólica	Hidroeléctrica	Fotovoltaica
2002	130318.45	6394.53	555.48	16151.91	5397.62	9746.62	6.67	24861.66	0.00
2003	135513.97	6934.43	754.91	16681.20	6281.66	10501.51	5.37	19753.19	0.00
2004	140367.07	2771.51	609.76	17883.26	6576.80	9193.94	6.15	25076.38	0.00
2005	138783.57	1358.17	779.64	18380.28	7298.52	10804.91	5.00	27611.39	0.00
2006	143855.84	1523.12	853.87	17931.20	6685.39	10866.24	44.80	30304.85	0.00
2007	154335.73	2665.78	1138.94	18100.72	7403.85	10420.73	248.43	27042.15	0.00
2008	153417.46	2802.43	1233.84	17789.14	7055.76	9803.98	254.61	38892.03	0.00
2009	160351.87	3735.16	1240.53	16886.21	6739.67	10501.08	249.25	26444.96	0.00
2010	160025.51	3396.01	1242.32	16485.08	6618.46	5879.24	166.39	36738.46	0.00
2011	171580.25	4125.47	1131.31	18158.43	6506.61	10089.20	357.28	35795.90	0.00
2012	178890.73	6216.62	1150.35	17724.10	5816.64	8769.60	1744.14	31316.57	2.08
2013	179091.29	3842.15	1498.99	16044.40	6069.72	11799.87	1813.89	27444.13	13.09
2014	168731.53	2877.63	1465.72	17445.93	5999.65	9677.21	2077.00	38144.77	12.69
2015	177148.88	5281.09	1707.94	30124.02	6291.15	11577.14	2386.95	30050.77	12.76
2016	180732.36	5893.07	1881.60	34208.20	6032.80	10567.17	2461.54	29138.40	12.35
2017	177792.63	5990.10	1847.96	30751.59	5924.54	10882.86	1976.43	30077.74	10.89

Anexo 2. Cantidades totales de capacidad de energía por tecnología en México, (MW).

Periodo	Termoeléctrica	Turbogás	Combustión interna	Carboeléctrica	Nucleoeléctrica	Geotérmica	Eólica	Hidroeléctrica	Fotovoltaica
2002	289026.068	32464.296	1724.02	31200	16378.56	10084.8	26.1	115304.884	0
2003	311365.768	34677.396	1720.22	31200	16378.56	10418	26.1	115381.884	0
2004	346356.094	35317.596	1784.57	31200	16378.56	11514	26.1	117751.86	0
2005	350914.93	33473.87	1992.48	31200	16378.56	11514	26.52	126383.15	0
2006	356409.87	31205.69	2180.28	31200	16378.56	11514	26.52	126795.96	0
2007	384801.72	32524.6	2460.48	31200	16378.56	11514	1025.76	133394.96	0
2008	391639.08	31706.52	2593.44	31200	16378.56	11559	1025.3	136119	0
2009	394079.70	32073.02	2593.44	31200	16378.56	11574	1023	136439	0
2010	400610.496	30440.52	2569.38	31200	16378.56	11574	1023	137478.736	0
2011	396866.796	28393.22	2562.98	31200	16378.56	10639.2	1032	137767.036	0
2012	391978.616	30006.24	2612.78	31200	19074.88	9889.2	5123.55	137608.726	6
2013	396277.822	28302.241	3073.58	31200	16800	9880.8	7168.2	138105.216	47
2014	405326.091	26600.92	3366.06	31200	16800	9760.8	7169.85	144929.216	72
2015	412035.025	32641.918	3685.359	56205.24	18120	10255.6	7879.8	147184.766	72
2016	413576.427	32864.92	3809.224	64540.32	19296	10483.2	8389.8	145108.356	72
2017	269503.288	31566.12	4275.45682	64540.32	19296	10483.2	1035.6	145280.619	72


```

A1=polyval(p1,x);
A2=polyval(p2,x);
A3=polyval(p3,x);
A4=polyval(p4,x);
A5=polyval(p5,x);
A6=polyval(p6,x);
A7=polyval(p7,x);
A8=polyval(p8,x);
A9=polyval(p9,x);
A10=polyval(p10,x);

Tmax=[T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9 T10]

%%
x1=s{22};
y11=s{3};
y21=s{5};
y31=s{7};
y41=s{9};
y51=s{11};
y61=s{13};
y71=s{15};
y81=s{17};
y91=s{19};
y101=s{21};

format short

p11=polyfit(x1,y11,1);
p21=polyfit(x1,y21,1);
p31=polyfit(x1,y31,1);
p41=polyfit(x1,y41,1);
p51=polyfit(x1,y51,1);
p61=polyfit(x1,y61,1);
p71=polyfit(x1,y71,1);
p81=polyfit(x1,y81,1);
p91=polyfit(x1,y91,1);
p101=polyfit(x1,y101,1);

%Datos de la pendiente y ordenada al origen: Datos mínimos
m11=p11(1);
b11=p11(2);
t11 = ((328-1)^m11);
T11 = t11/28;

m21=p21(1);
b21=p21(2);
t21 = ((328-1)^m21);
T21 = t21/28;

m31=p31(1);
b31=p31(2);
t31 = ((328-1)^m31);
T31 = t31/28;

m41=p41(1);
b41=p41(2);
t41 = ((328-1)^m41);
T41 = t41/28;

m51=p51(1);
b51=p51(2);
t51 = ((328-1)^m51);
T51 = t51/28;

m61=p61(1);
b61=p61(2);
t61 = ((328-1)^m61);
T61 = t61/28;

m71=p71(1);
b71=p71(2);
t71 = ((328-1)^m71);
T71 = t71/28;

m81=p81(1);
b81=p81(2);
t81 = ((328-1)^m81);
T81 = t81/28;

m91=p91(1);
b91=p91(2);
t91 = ((328-1)^m91);
T91 = t91/28;

m101=p101(1);
b101=p101(2);
t101 = ((328-1)^m101);
T101 = t101/28;

A11=polyval(p11,x1);
A21=polyval(p21,x1);
A31=polyval(p31,x1);
A41=polyval(p41,x1);
A51=polyval(p51,x1);
A61=polyval(p61,x1);
A71=polyval(p71,x1);
A81=polyval(p81,x1);
A91=polyval(p91,x1);
A101=polyval(p101,x1);

```