



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**PROCESO DE URBANIZACIÓN Y CAMBIO DE
CONDICIONES TÉRMICAS. CASO DE ESTUDIO
CHETUMAL QUINTANA ROO**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN PLANEACIÓN

PRESENTA
YARANDY GEORGINA PADILLA MANRIQUE

DIRECTOR
Dr. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESORES
Dr. INOCENTE BOJÓRQUEZ BÁEZ
Dr. ALBERTO PEREIRA CORONA
Dr. JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA
Dra. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ
DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN PLANEACIÓN

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:



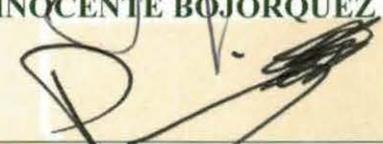
Dr. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:



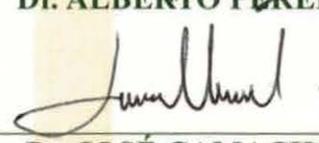
Dr. INOCENTE BOJÓRQUEZ BÁEZ

ASESOR:



Dr. ALBERTO PEREIRA CORONA

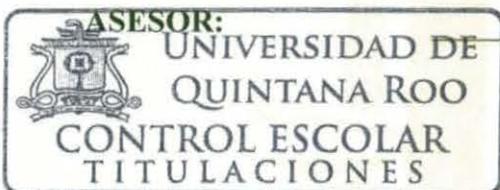
ASESOR:



Dr. JOSÉ CAMACHO SANABRIA



Dra. NORMA ANGÉLICA OROPEZA GARCÍA



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, JUNIO DE 2019.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado, contribuyendo a mi formación académica en este postgrado.

Contenido

Introducción	1
Planteamiento del problema	4
Hipótesis	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTO TEÓRICO	9
1.1 Clima	9
1.2 Espacio urbano	13
1.3 Clima urbano	14
1.4 Isla de calor	18
1.4.1 Conformación de las islas de calor	18
1.4.2 Características de las islas de calor	22
1.4.3 Tipos de Islas de Calor Urbanas	23
1.4.4 Antecedentes	28
CAPITULO 2 SITUACIÓN ACTUAL Y POLÍTICA PÚBLICA	31
2.1 Impactos de las islas de calor	31
2.1.1 Económicos	32
2.1.2 Sociales	32
2.1.3 Ambientales	32
2.2 Medidas de mitigación de las islas de calor	33
2.2.1 Vegetación	33
2.2.2 Techos verdes	33
2.2.3 Techos frescos	34
2.2.4 Pavimentos frescos	35

2.2.5 Comparación de las medidas de mitigación	36
2.3 Política pública	39
2.3.1 Leyes	39
2.3.2 Normas Oficiales Mexicanas	42
2.3.3 Códigos	45
2.3.4 Reglamentos	45
2.3.5 Programas	46
2.3.6 Acciones	47
CAPÍTULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO	49
3.1 Área de estudio	49
3.2 Descripción físico-geográfica del área de estudio	50
3.2.1 Geología	50
3.2.2 Fisiografía	51
3.2.3 Edafología	53
3.2.4 Climatología	54
3.2.5 Condiciones climáticas	55
3.2.6 Uso de suelo y vegetación	56
3.2.7 Demografía	58
3.2.8 Vivienda	59
3.3 Materiales y métodos	60
3.3.1 Selección de datos	63
3.3.2 Selección de imágenes	64
3.3.3 Procesamiento de las imágenes	66
3.3.4 Características de las islas de calor	71
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75

4.1 Islas de calor	75
4.2 Enero	75
4.2.1 Relación urbano – rural	76
4.2.2 Intensidad y máximo térmico	77
4.2.3 Anomalías térmicas	81
4.2.4 Índices	83
4.2.5 Relación Temperatura – índices	89
4.3 Mayo	96
4.3.1 Relación urbano – rural	96
4.3.2 Intensidad y máximo térmico	99
4.3.3 Anomalías térmicas	101
4.3.4 Índices	103
4.3.5 Relación Temperatura – índices	110
4.4 Julio	118
4.4.1 Relación urbano – rural	118
4.4.2 Intensidad y máximo térmico	120
4.4.3 Anomalías térmicas	123
4.4.4 Índices	125
4.4.5 Relación Temperatura – índices	132
4.5 Discusión	140
Conclusiones	145
Recomendaciones	148
Bibliografía.	150
Anexos	160

Diagramas

Diagrama 1. División de elementos de conformación de las islas de calor	19
Diagrama 2. División de las islas de calor	25
Diagrama 3. Relación de las características de las islas de calor con sus impactos.	31
Diagrama 4. Metodología para obtener la temperatura superficial	67

Figuras

Figura 1. Área de afectación de las condiciones urbanas en la atmósfera.	17
Figura 2. Características de la isla de calor	23
Figura 3. Ejemplo de Isla de Calor Urbana Superficial	26
Figura 4. Ejemplo de Isla de Calor Urbana Atmosférica	27

Gráficas

Gráfica 1. Distribución de normales mensuales climáticas del periodo 1981 – 2010 ...	64
Gráfica 2. Ocupación de AGEBs por promedio de NDVI.....	84
Gráfica 3. Ocupación de AGEBs por promedio de NDVI.....	85
Gráfica 4. Ocupación de AGEBs por promedio de NDWI	86
Gráfica 5. Ocupación por AGEBs de la distribución térmica	90
Gráfica 6. Relación entre temperatura y NDVI.....	93
Gráfica 7. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs.....	93
Gráfica 8. Relación entre temperatura y NDBI	94
Gráfica 9. Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEBs	94
Gráfica 10. Relación entre temperatura y NDWI	95
Gráfica 11. Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEBs	95
Gráfica 12. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDVI.....	104
Gráfica 13. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDBI.....	105
Gráfica 14. Distribución de los promedios de NDWI por AGEB	106

Gráfica 15. Distribución de los promedios de temperaturas por AGEBs	111
Gráfica 16 Relación entre temperatura y NDVI.....	114
Gráfica 17. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs.....	114
Gráfica 18. Relación entre temperatura y NDBI	116
Gráfica 19. Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEBs	116
Gráfica 20. Relación entre temperatura y NDWI	117
Gráfica 21. Comparación del comportamiento térmico y de NDWI por AGEBs	117
Gráfica 22. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDVI.....	126
Gráfica 23. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDBI.....	127
Gráfica 24. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDWI.....	128
Gráfica 25. Distribución de los promedios de temperaturas por AGEBs	133
Gráfica 26. Relación entre temperatura y NDVI	137
Gráfica 27. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs.....	137
Gráfica 28. Relación entre temperatura y NDBI	138
Gráfica 29 Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEBs.....	138
Gráfica 30. Relación entre temperatura y NDWI	139
Gráfica 31. Comparación del comportamiento térmico y de NDWI por AGEBs.....	139

Mapas

Mapa 1. Localización del área de estudio en el contexto nacional y estatal.	50
Mapa 2. Identificación de la geología en el área de estudio.....	51
Mapa 3. Identificación del sistema de topografía y elevaciones de la ciudad.	52
Mapa 4. Identificación de la edafología de la ciudad.....	54
Mapa 5. Identificación de unidades climáticas en la ciudad.	55
Mapa 6. Identificación de las condiciones climáticas en la ciudad.	56
Mapa 7. Identificación de los usos de suelo de la ciudad.	57
Mapa 8. Distribución de las áreas verdes de Chetumal.	58

Mapa 9. Distribución de la población total de Chetumal.	59
Mapa 10. Distribución de la densidad de vivienda.....	60
Mapa 11. Comparación de la distribución térmica entre Chetumal y Calderitas en el mes de enero 2018	77
Mapa 12. Distribución de las intensidades térmicas de la ciudad en comparación del área rural y la periferia natural.	80
Mapa 13 Distribución de anomalías térmicas en enero.	82
<i>Mapa 14.</i> Distribución de los promedios de NDVI en enero	87
Mapa 15. Distribución de los promedios de NDBI en enero	88
Mapa 16. Distribución de los promedios de NDWI en enero	89
Mapa 17. Distribución de la media térmica por AGEb en enero.....	91
Mapa 18. Comparación de la distribución térmica entre Chetumal y Calderitas en el mes de mayo 2018	99
Mapa 19. Distribución de las intensidades térmicas de la ciudad en comparación del área rural y la periferia natural	100
Mapa 20. Distribución de anomalías térmicas en mayo	102
Mapa 21. Distribución de los promedios de NDVI en mayo	107
Mapa 22. Distribución de los promedios de NDBI en mayor	108
Mapa 23. Distribución de los promedios de NDWI en mayo	109
Mapa 24. Distribución de la media térmica por AGEb en mayo	112
Mapa 25. Comparación de la distribución térmica entre Chetumal y Calderitas en el mes de julio 2018	120
Mapa 26. Distribución de las intensidades térmicas de la ciudad en comparación del área rural y la periferia natural	122
Mapa 27. Distribución de anomalías térmicas en julio	124
Mapa 28. Distribución de los promedios de NDVI en julio.....	129
Mapa 29. Distribución de los promedios de NDBI en julio	130
Mapa 30. Distribución de los promedios de NDWI en julio	131
Mapa 31. Distribución de la media térmica por AGEb en julio	134

Tablas

Tabla 1. Clasificación climática	12
Tabla 2. Características de las islas de calor.	25
Tabla 3. Comparación de los beneficios – costos de las medidas de mitigación	36
Tabla 4. Comparación de temperaturas urbano - rural.....	76
Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.	92
Tabla 6. Relación de temperaturas Urbano - Rural	98
Tabla 7. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.	113
Tabla 8. Relación de temperaturas Urbano - Rural	119
Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.	135

Introducción

Las regiones naturales se componen por un conjunto de elementos del paisaje que lo definen, como es la fisiografía, geología, edafología, hidrología, vegetación y clima. Este último elemento está definido por factores geográficos como la altura, pendiente, latitud, longitud. Sin embargo, a pesar de encontrarse determinado por unidades climáticas puede presentar variaciones locales formando microclimas, pudiendo ser de carácter agrícola, forestal o urbano.

En el caso de los microclimas presentes en las ciudades, el desarrollo se da por los elementos de construcción como la geometría urbana, los usos de suelo, las características termofísicas de materiales de construcción, las alturas de los edificios, las fuentes antropogénicas de emisión de calor, por las diferentes alturas y orientaciones edilicias, así como la disminución de vegetación (Taha, 1997; García y Martilli, 2012; Fuentes, 2015).

Este cambio de las condiciones climáticas se conoce como clima urbano, entendido como la modificación local en áreas urbanas del clima regional por la transformación del espacio natural sobre el cual se desarrolla la ciudad, cambiando las condiciones climáticas y ambientales naturales, distintos a las características de su entorno próximo (García y Martilli, 2012; Picone, 2014; Ferrelli, Bustos, y Piccolo, 2016).

Uno de los fenómenos derivados del clima urbano es la Isla de Calor Urbana (ICU). Definido como “Exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica” (Capelli de Steffens, Piccolo, y Campo de Ferreras, 2006).

Los factores para el desarrollo de Islas de Calor Urbanas (ICUs) son naturales, ya sean meteorológicos (humedad, radiación, precipitación, flujo de aire), parte de ciclos como la evapotranspiración, y artificiales como la estructura y morfología urbana, capacidad térmica de los materiales, albedo, metabolismo urbano, fuentes de producción de calor fija y móvil (Taha, 1997; Oke, 2004; Fernández, Montávez, González-Rouco, y Valero, 2006).

El problema fundamental de las ICUs yace en los impactos ambientales y socioeconómicos que presentan. En cuestiones socioeconómicas aparecen afectando el

confort higrotérmico y aumentando la demanda energética (de Schiller, Evans, y Katzschner, 2001) en el ambiente se alteran ciclos naturales y contribuyen con la formación de contaminantes (Romero, Molina, Vásquez, y Smith 2008; Fuentes 2015).

Estos problemas forman parte de problemáticas mayores como el cambio climático y calentamiento global. Por esto, resulta de gran importancia estudiar las condiciones climáticas urbanas para plantear estrategias que disminuyan el impacto global que generan. De esta manera resulta prioritario en la planeación urbana tener estas consideraciones para plantear modelos de ciudades sustentables, que beneficien en primera instancia problemáticas locales que a su vez impactan a nivel global.

El estudio de las ICUs se realiza dependiendo del objeto a investigar, en este caso es la Isla de Calor Superficial (ICS). Esta muestra las diferencias térmicas de las superficies artificiales y naturales y se realiza a través de imágenes satelitales. En América Latina dominan las investigaciones de ICS utilizando Sistemas de Información Geográfica, debido a la insuficiencia de redes de monitoreo meteorológico y el costo de otras opciones de detección (Lara, 2014).

En esta investigación se utilizaron imágenes satelitales que comprenden momentos climáticos extremos en el año 2018 en la ciudad de Chetumal, considerando el mes más cálido, frío, y el que reporta las mayores temperaturas. De esta forma se determinó el comportamiento del calor dentro de la ciudad y su relación con diferentes factores, como la humedad, edificación y vegetación.

Para poder desarrollar la investigación se realizó en cuatro capítulos los cuales considera:

Capítulo 1: una recopilación de los principales conceptos asociados a la temática, así como las características del objeto de estudio. Posteriormente se aborda los antecedentes del estudio, considerando la evolución de los diferentes métodos de investigación.

Capítulo 2: desarrolla la situación actual del objeto de estudio, recopilando las problemáticas que desencadena y las acciones globales que se han desarrollado para su mitigación. Después se describen la política pública tanto Nacional, Estatal y Municipal que se tiene para identificar qué acciones se están tomando para disminuir el impacto.

Capítulo 3: en primera parte se describe el contexto del área de estudio en elementos de

paisaje y demográficos para posteriormente presentar el diseño metodológico del objeto de estudio.

Capítulo 4: finalmente se muestran los resultados obtenidos haciendo un comparativo de la situación local con otros estudios realizados a nivel global.

En conclusión, se hace un análisis de la situación actual tanto de los resultados encontrados como de la política pública pertinente, dejando ver las faltas normativas que se necesitan trabajar. De esta forma se obtiene un parteaguas para la planeación urbana de Chetumal cada vez más cerca para ser una ciudad sustentable y en consideración con su medio.

Planteamiento del problema

A partir de 1992 el cambio climático comienza a tener relevancia mundial, como parte de las situaciones medioambientales globales que se estaban presentando derivadas de las actividades antropogénicas y prácticas poco sustentables. Con ello nace la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED), Río de Janeiro, 3-14 de junio de 1992).

El objetivo de esta iniciativa es la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Dándose en un lapso que permita que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio (ONU, 1992).

A raíz de esto se han desarrollado convenios, protocolos y cumbres las cuales abordan las situaciones medioambientales actuales, evaluando los progresos de las estrategias, así como proponiendo nuevas medidas de mitigación, reuniendo esfuerzos internacionales que se sumen a estos compromisos y sean aplicados dentro de sus modelos de planeación de ciudades, así como dentro de la misma legislación y política pública, de esta forma buscando emplear el “pensar global, actuar local”.

En México estos acuerdos han permeado en nuestras leyes y se han tomado acciones que prioricen la participación proactiva de los gobiernos ante el cambio climático. De ello se han derivado normas, planes, programas que estructuran un marco amplio de acciones para la mitigación y adaptación ante el cambio climático. La deficiencia hasta el momento es la articulación con los planes de desarrollo urbanos que se aplican en el país.

La falta de articulación de medidas de mitigación / adaptación ante el cambio climático deja desatendidos problemas ambientales urbanos que pueden ser piezas clave para la solución de los problemas globales. Se sabe que la ciudad crea su propio clima definido por los diversos factores urbanos y como consecuencia de esto se presenta el fenómeno ICU en determinadas ciudades.

Cabe resaltar que son las ciudades cálidas las principales afectadas ante estas consecuencias, ya que se enfrentan de una manera directa ante los efectos del cambio climático, intensificando la presencia de las ICUs. La principal razón es por el

aumento de la temperatura a nivel global que trae consigo como resultado veranos con olas de calor con temperaturas cada vez mayores y periodos prolongados con altas temperaturas, en muchos casos afectando el régimen de lluvias y haciendo más secas las ciudades.

Si bien el estudio de la climatología urbana se comenzó a desarrollar desde el siglo XIX, es a mediados del siglo XX donde comienza a cobrar auge y las grandes ciudades empiezan a estudiar la diferencia térmica urbana – rural y los efectos que la determinan acuñando el término Isla de Calor (Carreras, Marín, Martín, Moreno, y Sabí i Bonastre, 1990) no es hasta recientes años en donde se empiezan a utilizar la información para la creación de diseños urbanos que buscan disminuir los efectos del fenómeno y con ello contribuir a la atención del cambio climático.

Los estudios del clima urbano y en específico de las islas de calor se han realizado desde diferentes perspectivas en dependencia del objeto de estudio, en cuestiones de tiempo se han hecho de manera puntual en una fecha determinada, en distintos momentos del día, con una temporalidad a través de eventos climáticos importantes en el año o con una comparación periódica para ver la evolución que se ha desarrollado.

También se han sumado esfuerzos para determinar qué factores son los que mayor intervención tienen en el desarrollo de estos efectos, y que tanto pueden llegar a intervenir ciertos materiales como el asfalto, o la altura de los edificios y el papel que juegan las áreas verdes dentro de la ciudad como reguladores térmicos.

Pese a todos los estudios realizados tanto de clima urbano como de ICUs, muchas veces estos solo determinan el comportamiento térmico de las ciudades, dejando a un lado la priorización de las áreas que tienen mayor probabilidad a convertirse en una ICU. Sin esta última información no se pueden tomar acciones de planeación urbana pertinentes para la mitigación o adaptación urbana dejando ciudades vulnerables en cuanto a aumento de temperatura se refiere.

Desafortunadamente este creciente interés de tener ciudades sustentables y de estudios del clima urbano parece centrarse a nivel global únicamente en grandes ciudades, esto parece elocuente ya que son estas las que contribuyen principalmente en la

generación de contaminantes y cuyos efectos tienen una participación importante en el cambio climático. Sin embargo, en el caso de México, no es Ciudad de México la principal afectada ante el aumento de temperatura, sino todas las ciudades con un clima cálido las más vulnerables, como es el caso de Chetumal.

Según datos del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010), Chetumal tiene una población de 151,243 habitantes para el 2010. En ese mismo año se registra un total de 49,825 viviendas, teniendo un aumento de 19,822 viviendas respecto al año 2000 (INEGI, 2000). En el Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal – Calderitas – Subteniente López – Huay Pix y Xul-Há Municipio de Othón P. Blanco en el apartado de vivienda muestran la concentración de datos de construcción de fraccionamientos en los últimos años, en donde el periodo que comprende del 2010 – 2014 se señala un total de 7,233 lotes habitacionales autorizados para la construcción de vivienda (SEDETUS, 2018), teniendo actualmente quizá una cifra del total de vivienda mayor a las 60,000.

En cuestiones climáticas, Chetumal tiene un clima cálido subhúmedo, siendo enero el mes más frío y mayo el mes más cálido. La temperatura media de Chetumal es de 27.3°C, con temperatura máxima anual de 32°C y mínima de 22.6°C, con una precipitación de 1,311.7 mm (SMN, 1981-2010). Sin embargo, con datos de la Estación Sinóptica Meteorológica (ESIME) del 2011 al 2016 se muestra una temperatura media anual de 29.1°C siendo 1.8°C por encima de la media registrada.

El desarrollo urbano de Chetumal se basa en el crecimiento de la ciudad tomando como criterio el incremento poblacional y la disponibilidad de reservas territoriales, evidenciando determinadas áreas que se someten a protección ya que tienen cierto valor ecológico o que su utilización para desarrollo inmobiliario resulta inadecuada por sus características físicas. De esta manera no se establecen criterios como la climatología de la ciudad, para generar una planeación de ciudad sustentable; a pesar de que en algunos apartados se apunta la degradación ambiental que se puede generar con el desarrollo o efectos negativos que tendría la ciudad, no se hablan de estrategias para disminuir estos efectos, ni se presentan bases científicas que aseguren la presencia de fenómenos climáticos urbanos.

Por último, la única importancia que se le da al cambio climático en el Plan de Desarrollo

Urbano es sobre los efectos que puede causar a largo plazo a la población vulnerable, haciendo hincapié a los fenómenos hidrometeorológicos y aumento del nivel del mar, siendo justificado esto por la ubicación de la ciudad, dejando a un lado la Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo dentro de la planeación urbana.

Hipótesis

La variación espaciotemporal de la temperatura dentro de la ciudad de Chetumal se da de forma heterogénea, dando paso a la formación de islas de calor que tienen una relación directa en su distribución y comportamiento en dependencia del uso de suelo específico y la presencia de elementos naturales del perfil urbano.

Objetivo general

Analizar el comportamiento térmico de Chetumal para determinar la existencia de islas de calor urbano con la finalidad de contribuir en la elaboración de Planes de Desarrollo Urbano y la toma de decisiones.

Objetivos específicos

- Determinar el marco conceptual de islas de calor, con la finalidad de conocer el origen y características de dicho concepto.
- Analizar el marco normativo y de planeación relacionado con el proceso de urbanización y la calidad ambiental.
- Definir una metodología que permita identificar la distribución térmica y la presencia de islas de calor
- Establecer mediante las características de Isla de Calor Urbana y la aplicación de la metodología si existe la presencia del fenómeno en la ciudad, para establecer la relación entre el comportamiento térmico y los índices de vegetación, agua y paisaje.
- Identificar las áreas prioritarias para la implementación de medidas de

adaptación/reducción de concentración térmica.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

La reproducción de las ciudades y sus regiones presupone un proceso de apropiación y transformación de la naturaleza (Ibarra, Puente, y Schteingart, 1984, p. 113). La sustitución drástica de los sistemas originales por elementos urbanos altera las condiciones naturales del sitio, como el clima a escala local y regional. Elementos como la ventilación, radiación, evapotranspiración hacen que el clima de las ciudades desarrolle el fenómeno conocido como Isla de Calor Urbana (ICU), que, relacionado con elementos propios de la ciudad como la presencia de elementos naturales, materiales de construcción, el uso de suelo, entre otros, determinan el comportamiento espacio – temporal de este fenómeno (Barradas, 2016, p.1). Razón por la cual es necesario comprender la relación de los diferentes elementos que intervienen en la aparición de las ICU, así como sus interacciones principales para realizar una adecuada planeación.

Este capítulo aborda de manera conceptual los elementos relacionados con la transformación de las condiciones térmicas en la ciudad, iniciando con el clima, seguido de la conformación del espacio urbano que, en conjunto, derivan en el clima urbano y como este se ve contribuido con la aparición de Islas de Calor y Micro Islas de Calor Urbanas. Posteriormente se hace una revisión de los antecedentes de los distintos enfoques de estudio de las Islas de Calor Urbanas.

1.1 Clima

“Se entiende por clima el estado medio y proceso ordinario del tiempo de un lugar determinado. El tiempo cambia, pero el clima se mantiene constante” (Koeppen, 1948, p. 16).

La teoría del clima se comenzó a postular desde 1883 con el *Manual de Climatología* de Julio Hahn donde trata la climatología de forma general y regional, sin embargo, el trabajo de Köppen de 1948 “Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra” es el que mayor trascendencia ha tenido en el estudio climático. En el Köppen establece relación entre las comunidades vegetales y el clima. En 1918 realizó la primera clasificación detallada de los climas mundiales en correlación de la cubierta vegetal del suelo (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2011, p. 2).

Köppen (1948, p. 20-21) estableció la teoría general del clima, en donde aborda las bases para el estudio de este, haciendo primeramente una división entre dos perspectivas. La primera enfocada a la parte integrante o los elementos del clima que lo caracterizan (Temperatura media de la atmósfera, oscilación periódica anual y diaria, máximas y mínimas extremas, etc.). La segunda perspectiva aborda las condiciones externas o los factores de clima que tienen efecto sobre los elementos climáticos. Estas condiciones son la latitud geográfica, la altitud y la superficie en contacto inmediato a la atmósfera (sólida, líquida). En la base sólida (el suelo) se determina el clima dependiendo de la inclinación de la región con relación al horizonte, la cubierta vegetal de la cual se encuentre revestida y el tipo de vegetación, por último, la presencia de hielo o nieve. Los elementos y factores del clima se combinan de manera que forman varios tipos de clima con rasgos distintivos.

Köppen (1948, p.167 - 169) identifica 5 zonas climáticas distribuidas de manera latitudinal y clasificadas con parámetros de temperatura, precipitaciones atmosféricas y el curso de las estaciones del año. La clasificación de zonas climáticas se representa a través de las cinco primeras letras del alfabeto en mayúsculas que las identifican, y en dependencia de las características globales las zonas climáticas pueden estar presentes en más de un solo lugar.

- A. Una zona tropical lluviosa con ausencia de invierno
 - B. Dos zonas secas incompletas
 - C. Dos zonas templadas sin una capa de nieve regular
 - D. Una zona boreal de nieve y de bosque en donde el verano e invierno son notables
 - E. Dos zonas polares con clima de nieve, sin presentación de vegetación arbórea.
- Dentro de esta clasificación de zonas climáticas se encuentran características que reflejan el tipo de clima, esto se debe al régimen de precipitación, razón por la cual se identifican en total 11 tipos fundamentales de climas.

La subclasificación (Tabla 1) se representa por la letra mayúscula perteneciente a la zona climática vista anteriormente, seguida de una letra minúscula y/o otra mayúscula que complementa y describe la variante de zona climática correspondiente, es decir, el tipo de clima.

Tabla 1. Clasificación climática

Zonas	Tipos fundamentales	Interpretación
A. Climas tropicales	1. Af	Climas de selva tropical lluviosa
	2. Aw	Climas de sabana
B. Climas secos	3. BS	Climas esteparios
	4. BW	Climas desérticos
C. Climas templados lluviosos	5. Cw	Climas templados secos en invierno
	6. Cs	Climas templados secos en verano
	7. Cf	Climas templados húmedos
D. Climas boreales, o de nieve y bosque	8. Dw	Climas fríos secos en invierno
	9. Df	Climas fríos húmedos en invierno
E. Climas de nieve	10. ET	Climas de tundra
	11. EF	Climas de hielo perpetuo

Fuente: Köppen (1948)

Los climas se pueden dividir en diferentes escalas según la extensión territorial que comprendan, de manera tal que existen tres escalas. La primera es la macroescala, la cual abarca zonas geográficas extensas, continentes y el mundo entero. En esta escala se estudian las dinámicas climáticas globales, como la circulación global, los monzones y El Niño-Oscilación del sur (ENOS). La mesoescala comprende los climas de regiones de extensiones limitadas, como son las cuencas hídricas, valles, áreas, conurbaciones, o comunidades vegetales. En esta escala se realiza la sectorización de aprovechamiento de recursos naturales. La última es la microescala que abarca zonas pequeñas y se da debido a la modificación de las características físicas de un área. Esto se ve reflejado en las ciudades, o campos de cultivos, en donde la remoción de vegetación o la construcción de edificios altera los flujos de viento, absorción de agua pluvial, incremento en contaminantes y mayor concentración de calor (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2011, p.3).

Para México, Enriqueta García en 1964 hizo una adaptación de la clasificación climática de Köppen, debido a la naturaleza general de la clasificación. Al momento de trasladarla a la realidad mexicana se obtienen grandes regiones climáticas

homogéneas que no representan las condiciones particulares que tiene el país en su extensión territorial.

Las principales modificaciones del sistema de Köppen para México mantienen las cinco zonas climáticas, sin embargo, los climas que él define en asociación de comunidades vegetales son los que fueron modificados, debido a que el clima en México no sólo se encuentra asociado a una comunidad vegetal, sino puede estar presente en diferentes tipos de vegetación, por lo que la adaptación por Enriqueta García define los climas mediante la temperatura y régimen de lluvias y se complementa con las diferentes comunidades vegetales en donde puede haber presencia del tipo de clima (García, 2004, p.12).

1.2 Espacio urbano

La ciudad se desarrolla a través de distintos elementos determinantes como los naturales, sociales y económicos. Los elementos naturales son el principal criterio de selección para optar por determinado lugar. En el libro “El agua en la Cosmovisión de los Pueblos de Indígenas de México” (Comisión Nacional del Agua, 2016) describe la importancia natural y cultural que ha tenido el agua en la historia de los pueblos prehispánicos para el asentamiento de ellos. Ducci, (1989) define esta selección de criterio natural como elemento ordenador básico y dentro de ello diferencia a los elementos ordenadores esenciales como el agua, sin embargo, el análisis que realiza es para explicar la forma de crecimiento de la ciudad y como estructuras naturales como ríos y costas son una limitante espacial determinante.

La sociedad ha sido la principal determinante de la construcción de las ciudades. Lombardo (2007) y Lefebvre (1974) analizan el desarrollo, dispersión y ocupación de las ciudades a través de los flujos sociales y la demanda de espacios a través de las actividades socioeconómicas, eso ha sido un principio fundamental desde las civilizaciones prehispánicas. Este análisis de la morfología urbana de acuerdo con Capel (2002) permite conocer cuál es la organización social y política de determinado lugar y gracias a ello se puede mejorar el diseño de la ciudad.

De igual forma, el elemento económico puede ser un detonador urbano, como es el caso de los Centros Integralmente Planeados (CIPS) en México que entre los años de 1974 y 1984 se desarrollaron cinco enclaves turísticos distribuidos en diferentes puntos

de la costa mexicana con el fin último de reactivar regiones detonando una actividad económica catalizadora como es el caso del turismo (Dávila, 2014)

Cobo (1997) determina la ciudad como un socio ecosistema integrado. Donde existe interacción interdependiente de los distintos elementos determinantes, en específico aborda los componentes bióticos con los abióticos y la relación de estos procesos naturales con el componente humano social (Cobo 1997 citado en Lara, 2014, p.4).

Por su parte, Lara (2014, p.5) asigna importancia a la consideración y entendimiento del ecosistema de la ciudad para realizar la planificación y gestión urbana adecuadas. Ya que este ecosistema tiene un funcionamiento y procesos complejos e interrelacionados, si existe intervención sobre una parte afectará a todo el sistema. En la ciudad es necesario identificar las interrelaciones y considerar sus diversidades y la dinámica de los componentes, así se conocen las causas de los problemas y se plantean estrategias de solución logrando ejecutar acciones de una forma más exitosa.

1.3 Clima urbano

“La ciudad constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural, pues su impacto no se limita a cambiar la morfología del terreno, sino que además modifica las condiciones climáticas y ambientales. El asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento” (García y Martilli, 2012, p. 21)

Dentro de la clasificación climática mundial que realiza Koeppen (1948) hace una división según la escala territorial. La que tiene una menor extensión (microescala) es representada por un tipo de clima denominado microclima. Se particulariza por tener condiciones climáticas específicas de un espacio determinado. La extensión va desde centímetros a kilómetros, sin embargo, el territorio ocupado no es significativo para reconocer el microclima como zona climática. Lo que distingue a ese tipo de clima es la modificación al clima local debido a las características del suelo. Ejemplo de esto son los campos de cultivos, bosques o el interior de una ciudad. La generación de microclimas tiene tres factores limitantes principales, la radiación solar sobre la

pendiente, el efecto de la vegetación sobre el suelo y el descenso de la temperatura nocturna.

Bajo la clasificación de Koeppen, la ciudad es un microclima que varios autores lo denominan clima urbano. Definido como la modificación en escala local del clima regional creado por condiciones particulares de la ciudad; presenta diferencias atmosféricas importantes con respecto de las áreas rurales circundantes, siendo un reflejo de los cambios micro climáticos que el hombre puede producir en diferentes espacios (Capelli de Steffens, Piccolo, y Campo de Ferreras, 2006a; Picone y Campo, 2014; Vysoudil, 2015).

La transformación del espacio natural donde se desarrolla una ciudad produce condiciones ambientales particulares incluyendo la creación del clima propio (clima urbano). Esto se debe a que el proceso de urbanización reconfigura el espacio natural, mediante los distintos usos de suelo de carácter urbano, la sustitución de elementos naturales por elementos artificiales y el efecto de las superficies artificiales construidas con materiales que no permiten la realización de ciclos biogeoquímicos normales (Fuentes, 2015).

El área urbana a diferencia de la suburbana se caracteriza por una velocidad del viento promedio menor; debido a los diferentes obstáculos que interfieren con las corrientes, temperaturas en promedio mayores como resultado de la retención del calor por los materiales de construcción, menor humedad relativa por la reducción del área de absorción, visibilidad reducida, incrementación de la concentración de contaminación del aire por el aumento de emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes fijas y móviles; estos efectos son resultados de factores como las propiedades térmicas y de radiación de las distintas superficies de la ciudad, su impermeabilidad, la disposición geométrica, la producción de calor y la contaminación atmosférica urbana (Landsberg, 1981; Oke, 1981)

La intensidad del clima urbano está relacionada correlativamente con la densidad de población y el tamaño físico de las ciudades; entre mayor es la densidad poblacional y extensión urbana, la intensidad del clima urbano acrecienta. Eso es consecuencia del aumento en la edificación y los materiales de construcción utilizados que ocasionan el ascenso en las temperaturas, la disminución de la humedad y la reducción en la velocidad

del viento (Sarricolea y Romero, 2010, p. 345).

En cuestiones de población, se ha vinculado el clima urbano con las condiciones socio ambientales en las ciudades latinoamericanas; se ha caracterizado esta vinculación por la relación directa entre la calidad ambiental asequible y el ingreso económico familiar (Romero y Molina, 2008). De esta manera las variaciones de temperatura, humedad, ventilación y calidad del aire tienen relación espaciotemporal con los procesos y características de los sectores poblacionales dependiendo de las condiciones socioeconómicas al interior de las ciudades (Romero, Salgado, y Smith, 2010).

A parte de la variación climática con respecto a la distribución socioeconómica, también se reconoce la diferencia entre los ambientes urbanos y rurales, identificando el comportamiento térmico en distintos ambientes y los elementos que son los causantes de las diferenciaciones (Taha, 1997).

La modificación del clima local como efecto de la relación de los elementos de la ciudad tanto en su estructura edilicia como en los elementos socioambientales son estudiados por la climatología urbana; especialidad enfocada al estudio del clima en las ciudades. Esta especialidad ha tenido un incremental interés desde su origen, debido a que la mayor parte de la población mundial se encuentra en las ciudades y participa en las condiciones atmosféricas que se generan en ellas. Pero la principal tendencia de estudio se debe a los efectos del clima urbano a las urbes como los fenómenos derivados dentro de los que se encuentran la aparición de islas de calor o frío, la disminución de humedad atmosférica, falta de confort térmico o aumento de la contaminación atmosférica (Smith y Romero, 2016).

Para el estudio del clima urbano, Moreno (1997) generó una propuesta de terminología, tomando en cuenta a Oke (1976). Esta terminología incluye conceptos importantes para comprender el clima urbano.

- Capa límite urbano: se denomina a la capa de aire de la atmósfera más próxima a la superficie, cuyas características meteorológicas locales están influidas, térmica y dinámicamente por la superficie. Inicia desde los tejados de los edificios hasta un nivel atmosférico por debajo del cual las condiciones urbanas sean dominantes.

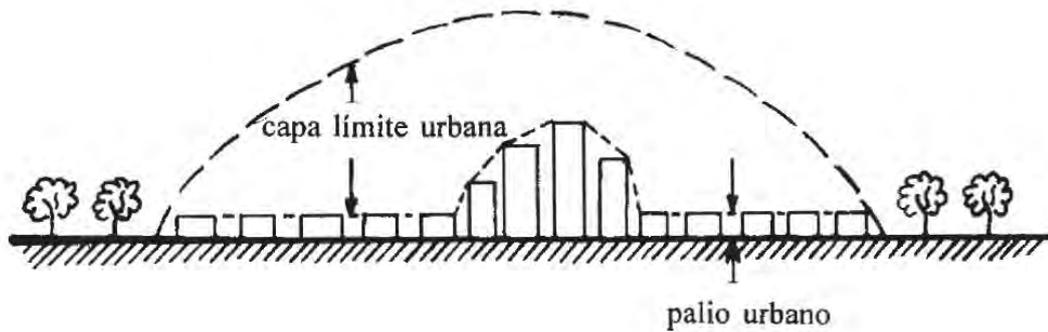


Figura 1. Área de afectación de las condiciones urbanas en la atmósfera.

Fuente: Moreno (1997)

- Palio urbano: Masa de aire albergada entre el espacio en medio de edificios, tiene características térmicas que distan de su alrededor. Para conseguir la medida de éste se utiliza el cañón urbano, obtenida en términos de volumen con las medidas del largo del suelo entre dos edificios adyacentes y ancho y alto de los muros.
- Factor de visión del cielo: Es la capacidad que tiene un espacio de emitir la radiación de onda larga nocturna a la atmósfera, en espacios abiertos existen menos obstáculos por lo que permiten que la emisión se logre con facilidad, mientras que en ambientes como la ciudad la cantidad de obstáculos es mayor y la emisión es menor, albergándose por más tiempo dentro de la ciudad
- Transecto: Técnica utilizada para la colecta de medidas meteorológicas en un recorrido o ruta establecidas, cuya representación gráfica del área urbana permite observar las variaciones microclimáticas.
- Brisa urbana: denominada de esta manera debido al origen del proceso, ya que las masas de aire dentro de la ciudad son calentadas por la actividad urbana ascendiendo, dejando lugar para aire fresco que proviene de las periferias.
- Isla de calor: Diferencia de temperatura de la ciudad con respecto a su periferia.
- Meseta térmica, escarpe y pico: Dentro del perfil térmico urbano se puede observar que a lo largo del transecto que existe una variación de temperatura relacionada con el tipo de uso de suelo dominante, de esta forma la transición de

unas áreas a otras genera una línea de tendencia particular, como ejemplo está la transición del área rural al área suburbana, en donde la primer área se caracteriza por dominación de elementos naturales y en la segunda son los elementos artificiales los que dominan, en la línea de tendencia es el escarpe, luego se mantiene en una meseta térmica en el área suburbana debido a que es un área homogénea con una extensa superficie, y el pico es alcanzado en áreas caracterizadas por una alta heterogeneidad generalmente encontradas al centro de las ciudades.

1.4 Isla de calor

“De todas las modificaciones climáticas provocadas por la presencia de la ciudad, la más notable y estudiada es la conocida como Isla Térmica” (Fernández, Montávez, González-Rouco, y Valero, 2006, p. 641). Las islas de calor o islas térmicas urbanas se refieren al gradiente térmico que se observa entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o periurbana (Córdova, 2011, p. 97). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2001, p. 187) define la isla de calor como la zona dentro de un área urbana caracterizada por una temperatura ambiente más alta que las zonas colindantes debido a una absorción de la energía solar por materiales como el asfalto. Por su parte, Capelli, Piccolo y Campo (2006b) la definen como el exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica.

El crecimiento urbano cambia artificialmente las condiciones del clima local, impactando en el aumento de la temperatura, disminución de la humedad y reducción en la velocidad del viento; en conjunto estos elementos favorecen la incidencia de islas de calor urbanas (Sarricolea y Romero, 2010).

1.4.1 Conformación de las islas de calor

Para el manejo de la información, los elementos que permiten la conformación de las islas de calor se agruparon en dos categorías principales, naturales y artificiales (Diagrama 1) siendo los elementos naturales aquellos relacionados con la ubicación geográfica de la ciudad, y los elementos artificiales vinculados con las características particulares de la ciudad. Cabe señalar que, con lo visto en el apartado de espacio urbano, los

métodos de construcción de las ciudades van en función, en primera instancia, de los elementos ordenadores básicos que son los que dan las características particulares del sistema edilicio.

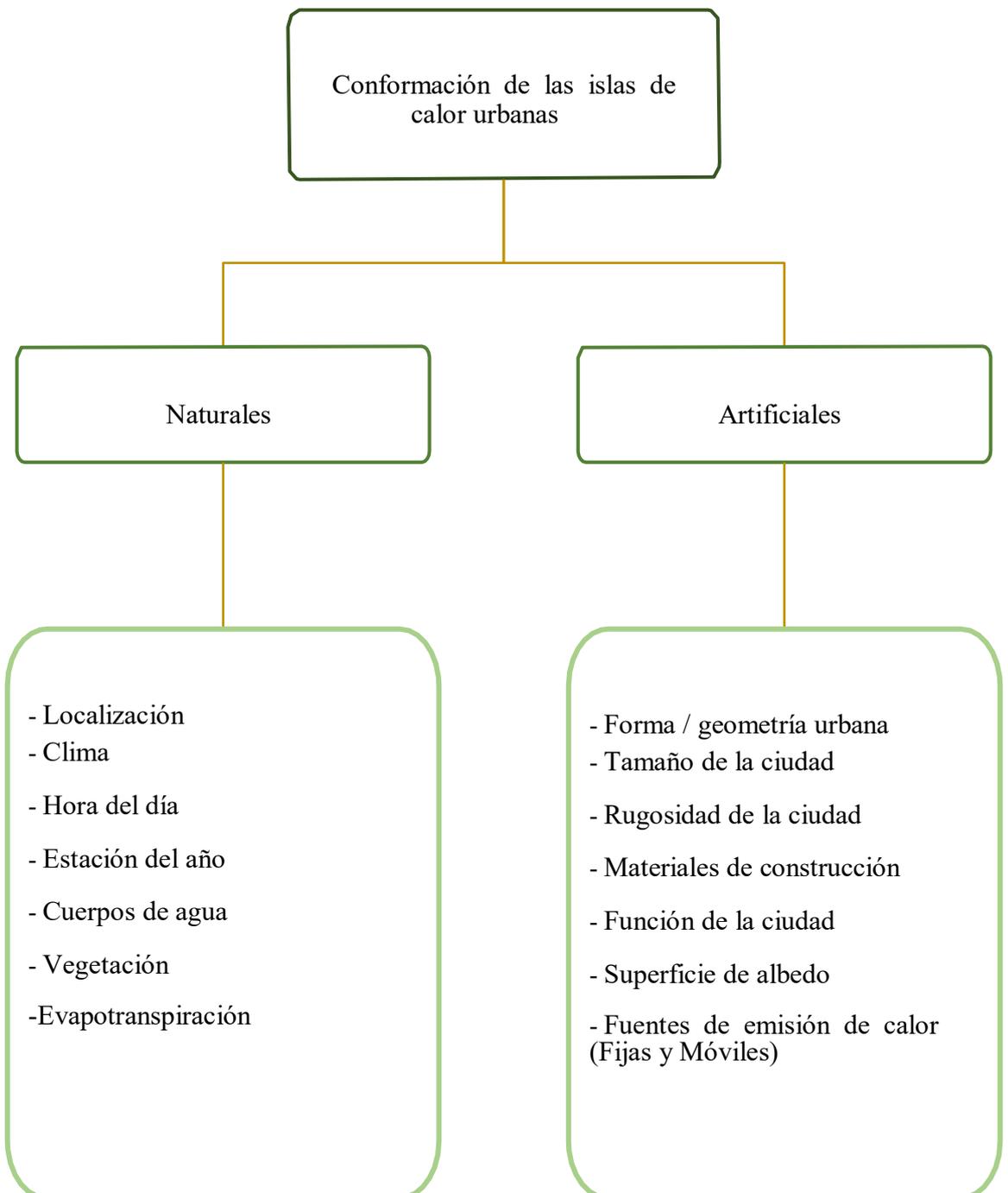


Diagrama 1. División de elementos de conformación de las islas de calor

Fuente: Elaboración propia

Los elementos de conformación de las islas de calor contribuyen de forma distinta en la incidencia del fenómeno. La recopilación de la información se realizó con los trabajos de Fernández, González-Rouco, y Valero, (2004); Oke (1973); Oke (2004) Taha (1997); United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2008) y Voogt (2008).

A continuación, se describe la colaboración de cada uno de ellos al fenómeno.

Elementos naturales

- **Localización:** Define las condiciones topográficas y sobre todo climáticas, debido a la determinación de las características circundantes de las ciudades, como es el caso de las ciudades costeras.
- **Clima:** los dos elementos principales que intervienen son el viento y las nubes. Con una menor presencia de nubosidad y viento, mayor es la magnitud de la isla de calor. En contraparte con mayor nubosidad y viento, el aire se mezcla y la magnitud disminuye.
- **Cuerpos de agua:** en conjunto con el clima y la localización geográfica, la presencia de cuerpos de agua contribuye con el manejo de islas de calor; lugares cercanos a un cuerpo de agua, como las costas, tienen presencia de fuertes vientos y generación de nubes que permiten reducir el efecto.
- **Estación del año:** con la variación de las estaciones del año, los rayos del sol tienen un diferente ángulo de inclinación y el tiempo de exposición de la superficie terrestre hacia ellos varía. Las estaciones en combinación con el clima favorecen la aparición de las islas de calor con mayor intensidad en determinado momento del año.
- **Hora del día:** retomando la diferencia del periodo de exposición de la superficie terrestre, la hora del día tiene un comportamiento definido por la elevación del sol. Esta elevación que inicia en el Este llega a su cenit; que es el punto más alto en el cielo, y culmina al oeste. En el cenit, los rayos del sol tienen mayor

incidencia sobre la superficie; para las islas de calor, es el punto crítico durante el día.

- **Vegetación y transpiración:** La presencia de árboles y vegetación contribuyen a la disminución de la temperatura a través del proceso de transpiración. En este proceso, las plantas liberan agua al aire circundante y disipan el calor.
- **Evapotranspiración:** Las superficies urbanas se caracterizan por ser extensas, impermeables, con mayores escurrientías que las áreas rurales y menor área verde. Por ello, el agua es drenada rápidamente y poca se encuentra almacenada y disponible para la evaporación. Una pequeña tasa de evapotranspiración es un factor de incremento de temperaturas diurnas.

Elementos artificiales

- **Forma / geometría urbana:** referido a las dimensiones y espacio entre edificios. Puede influenciar el flujo del viento o la absorción de energía. La forma de la ciudad se encarga de la capacidad de disipar el calor contenido, dependiendo de la red viaria, los materiales de construcción, las áreas verdes al interior de la ciudad, o su relación con las zonas rurales; que contribuyen con condiciones frescas a la ciudad.
- **Tamaño de la ciudad:** dependiendo de la dimensión de la ciudad es la intensidad con la cual se presenta el fenómeno, teniendo de esta forma una relación correlativa, ciudades de mayor extensión presentan islas de calor con mayor intensidad.
- **Rugosidad de la ciudad:** referido a la altura de los edificios y la distancia entre ellos (palio urbano), es la capacidad que tiene la ciudad de influir en los vientos. De esta forma, ciudades con poco o nulo espacio entre sus edificaciones y con mayores contrastes de altura disminuyen el flujo del viento.
- **Materiales de construcción:** poseen diferentes propiedades que pueden incidir en la aparición de las ICU, estos son la reflectancia solar, emisividad termal y la capacidad calorífica. En conjunto estas propiedades pueden hacer que los materiales de construcción utilizados retengan calor disipándolo lentamente,

aumentando la temperatura de la ciudad, las mayores concentraciones de temperatura se encontrarán donde exista densidades elevadas de estos materiales.

- Superficie de albedo: el albedo es el porcentaje de radiación reflejado por una superficie con respecto a la radiación total emitida sobre ella. Entre mayor porcentaje de radiación sea reflejado el calor acumulado es menor, por lo contrario, entre menor porcentaje sea reflejado mayor es la cantidad de calor sobre la superficie. Con un aumento en la cantidad de calor acumulado, mayor es la temperatura.
- Función de la ciudad: definen el uso de zonas específicas y la cantidad de calor que emiten. El principal sector económico desarrollado tiene participación significativa, las ciudades industriales liberan una mayor cantidad de calor que ciudades turísticas.
- Fuentes de emisión de calor (Fijas y Móviles): Afecta la temperatura del aire superficial y juega un rol potencial en el incremento de islas de calor. La magnitud del calor depende de varios factores como la energía utilizada, la generación de energía, los sistemas de transportación.

1.4.2 Características de las islas de calor

Son cinco las características principales para el estudio de las islas de calor propuestas por Gartland, (2012); Salinas (s/f); US EPA (2008); Voogt (2008).

- Relación urbano – rural: las islas de calor son a menudo más calientes que los alrededores rurales, debido a que las ciudades tienen poca superficie natural que permite los procesos de evapotranspiración, los materiales de construcción con alta absorción térmica y la geometría urbana que afecta el flujo del viento, en comparación de las zonas rurales, las cuales se constituyen fundamentalmente de cubierta vegetal, suelos que retienen la humedad y superficies que absorben en menor medida la radiación.
- Forma: está determinada por la distribución de las isothermas que generan un patrón similar a una “isla” (Figura 2). Generalmente tienen una distribución

concéntrica, albergando la mayor cantidad de calor en donde mayor superficie existe y mayores fuentes de emisión de calor están presentes.

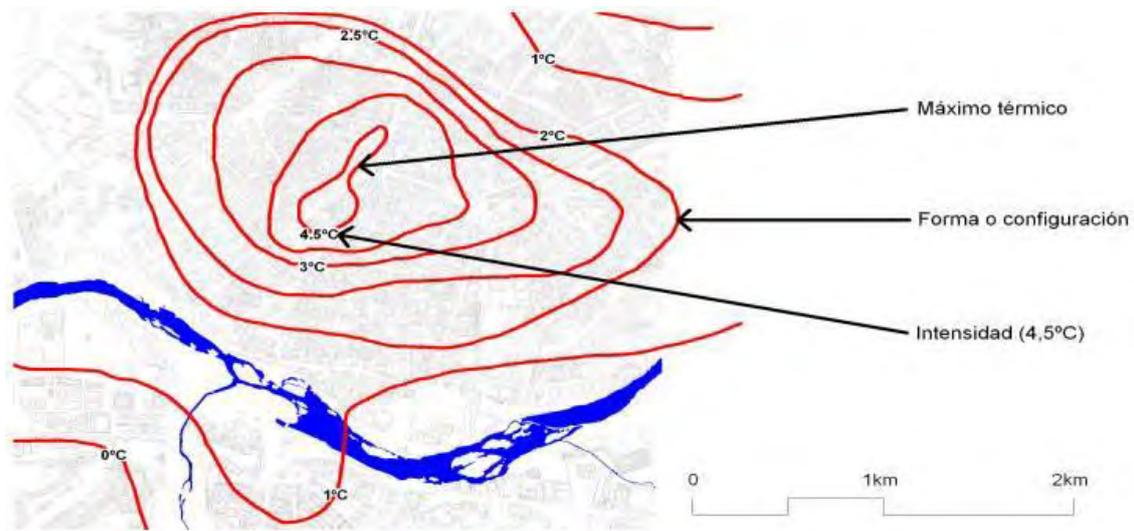


Figura 2. Características de la isla de calor

Fuente: Salinas (s/f)

- Intensidad: es una medida de la fuerza o magnitud del fenómeno, varía con la estación debido a los cambios en la intensidad del sol, así como la cobertura del suelo y la disponibilidad del agua.
- Máximo térmico: corresponde al área urbana en la cual se concentra la mayor temperatura respecto al territorio circundante.
- Distribución temporal: la extensión geográfica que tiene la isla de calor se encuentra en dependencia de las estaciones del año y la hora del día. Se encuentra en relación de las características de la superficie, condiciones climáticas y las fuentes de emisión de calor.

1.4.3 Tipos de Islas de Calor Urbanas

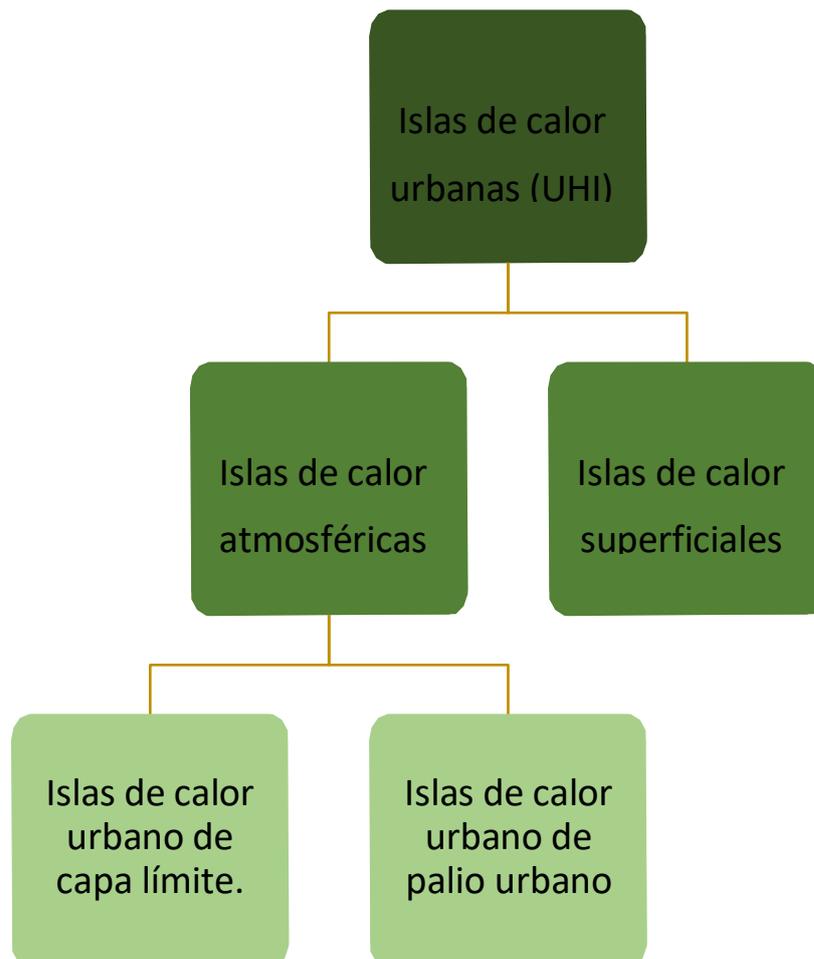
“Las islas de calor pueden presentarse a diferentes escalas al interior de la ciudad, ya sea alrededor de un edificio, un espacio pequeño de vegetación o en una vasta extensión de la ciudad” (Taha, 1997, p. 99).

Generalmente se distinguen tres tipos de islas de calor. Para Voogt (2008) estas son:

- Isla de calor de la capa de dosel (ICCD)
- Isla de calor de la capa de perímetro (ICCP)
- Isla de calor de superficie (ICS)

La ICCD e ICCP se competen al calentamiento de la atmósfera urbana; mientras que la ICS describe el calor relativo de las superficies urbanas. Estas islas varían su forma espacial, tienen diferentes características temporales y se desarrollan bajo distintos procesos físicos.

La United States Environmental Protection Agency (2014) divide el estudio de las islas de calor en dos, enfocadas en la superficie y la atmósfera. En coincidencia con Voogt (2008), la EPA señala que poseen diferentes maneras en las que son formadas, las técnicas que se usan para medir e identificar son distintas, así como los impactos y los métodos viables para mitigarlas.



Elaboración propia con base EPA (2014).

Las características básicas de estos dos tipos de islas las describe EPA (2014, p.2) de la siguiente manera (Tabla 2).

Tabla 2. Características de las islas de calor.

Característica	Isla de calor superficial	Isla de calor atmosférica
Desarrollo temporal	<ul style="list-style-type: none"> ● Presente durante el día y la noche ● Más intensa durante el día y en el verano 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pueden ser pequeñas o no existir durante el día
Intensidad máxima	<ul style="list-style-type: none"> ● Mayor variación espacial y temporal - Día: 10 a 15 °C - Noche: 9 a 18°C 	<ul style="list-style-type: none"> ● Menor variación espacial y temporal - Día: -1 a 3°C - Noche: 7 a 12°C
Método de identificación	<ul style="list-style-type: none"> ● Medición indirecta - Detección remota 	<ul style="list-style-type: none"> ● Medición directa - Estaciones meteorológicas fijas - Transectos móviles
Representación	Imágenes térmicas	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de isotermas - Gráfico de temperaturas

Fuente: United States Environmental Protection Agency, Heat Island Compendium (2014).

De forma más específica las características son las siguientes:

- Isla de Calor Urbana Superficial (ICUS)

Indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales y las naturales (García y Martilli, 2012, p. 21). Debido a que se encuentra relacionada con los materiales de construcción, la presencia de esta isla es diurna como nocturna. Por el día la época en la cual mayor intensidad tiene es durante el verano. En el caso de la noche tiene aparición

debido que durante ese periodo los materiales disipan el calor retenido durante el día, convirtiéndose así en las zonas más calientes por la noche, manteniendo el máximo térmico constante (EPA, 2014).

La EPA (2014) determina que para el estudio de este tipo de islas de calor se realiza a través de métodos directos e indirectos como son los modelos numéricos y estimaciones basadas en modelos empíricos. Aunque a menudo se utiliza la detección remota; siendo una medición indirecta, para determinar la temperatura de la superficie se realizan imágenes térmicas como la Figura 3.

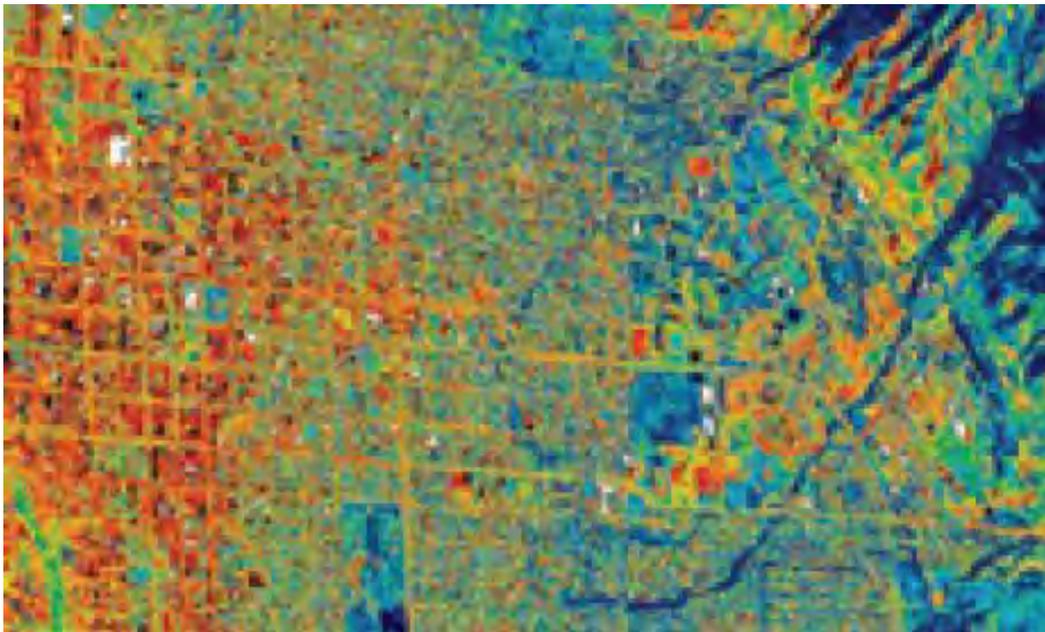


Figura 3. Ejemplo de Isla de Calor Urbana Superficial

Fuente: EPA (2014)

- Islas de Calor Urbana Atmosférica (ICUA)

Representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y rurales (García y Martilli, 2012, p. 21).

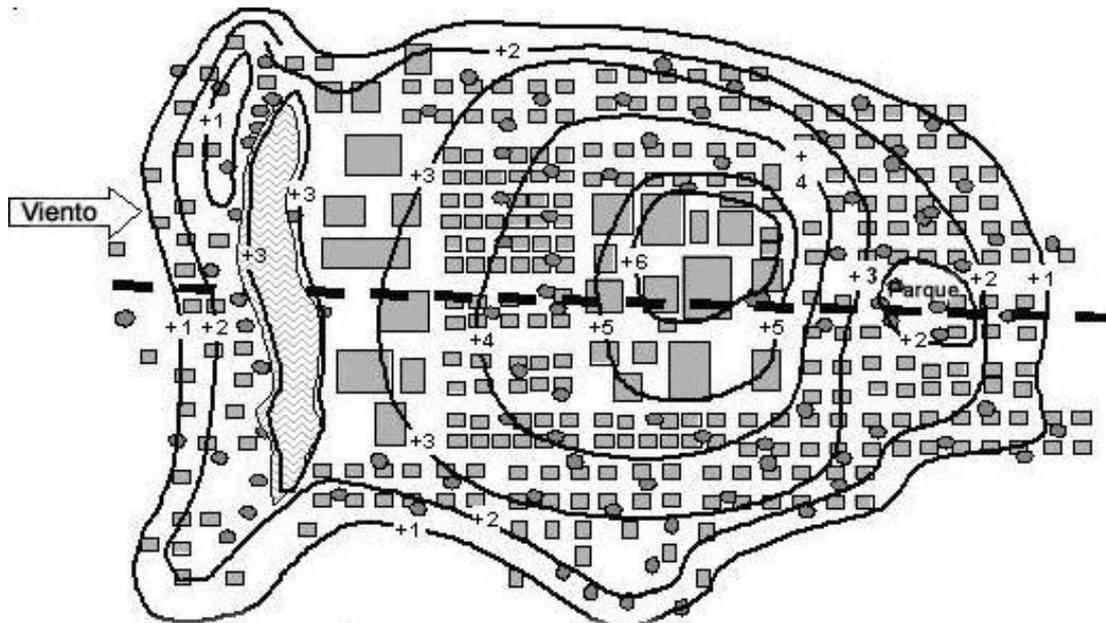


Figura 4. Ejemplo de Isla de Calor Urbana Atmosférica

Fuente: Voogt (2008)

Suelen diferenciarse dos tipos de Islas de Calor Urbanas Atmosféricas (EPA, 2014).

- Las de palio urbano. Son aquellas que están presentes en la capa atmosférica donde se desarrolla la vida de la ciudad y ocupan el espacio desde el suelo hasta arriba de los techos y copas de los árboles.
- Las de capa límite. Empieza desde los techos y encima de las copas de los árboles y se extiende hasta el punto atmosférico en donde las condiciones urbanas ya no tienen impacto.

Este tipo de islas generalmente son débiles durante el día y se comienzan a pronunciar posterior de la puesta de sol.

- Micro isla de calor

Aniello, Morgan, Busbey, y Newland (1995) trabajan con un nivel menor de almacenamiento de calor y son las microislas de calor urbanas, que son puntos de calor específicos al interior de la ciudad que contribuyen con el aumento de la temperatura de la ciudad y por lo tanto con la aparición de la isla de calor.

1.4.4 Antecedentes

Actualmente existe una gran diversidad de investigaciones enfocadas a resolver el problema de las islas de calor, cada una con diferentes enfoques, pero todas con el objetivo de reducir los efectos que estas provocan. A continuación, se describe brevemente la manera en cómo se ha abordado el tema a nivel internacional y en México.

Comenzaremos hablando de los estudios que se han desarrollado en Europa, por ejemplo, Serra (2007) realiza el estudio de las islas de calor en la ciudad de Ibiza mediante la técnica de obtención de los datos conocida como “técnica de los transectos”. Esta técnica se basa en la utilización de vehículos para tomar las muestras meteorológicas en diversos puntos a lo largo de un recorrido. De acuerdo con Serra (2007) la primera vez que se utilizó esta técnica fue en 1927 por Schmidt y Pepler quienes la aplicaron para estudiar el clima de las ciudades de Viena y Karlsruhe, mientras que para las ciudades de Madrid y Barcelona se utilizó hasta la década de los 80's.

Los principales resultados fueron que la configuración de la isla de calor se tiene la presencia de una isoterma cerrada principalmente en el centro de la ciudad, mismo punto en donde se encuentra la temperatura más alta de la isla de calor. Por otra parte, los resultados muestran claramente que las carreteras principales que entran en la ciudad forman parte importante en el aumento de la temperatura de la ciudad, así mismo, se identifica que los núcleos urbanos llegan a concentrar hasta un grado más de temperatura que los núcleos rurales (Serra, 2007).

Al igual que la mayoría de los estudios de islas de calor, lo más importante en la investigación es la temperatura es por eso por lo que García (2017), en el estudio de las características microclimáticas de las Ramblas de Barcelona define puntos de muestreo para la medición de temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa, además de utilizar imágenes termográficas para determinar la temperatura superficial. Con los datos obtenidos y la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG's) y la teledetección trata de comprobar que los espacios públicos en las Ramblas de Barcelona tienen menor impacto en el aumento de temperatura que otros espacios de la ciudad, debido a las características físicas del lugar, es decir, la implementación de corredores verdes y áreas de jardín en los espacios públicos (García, 2017).

Por otra parte, en el laboratorio de Planificación Ambiental de la Universidad de Granada, el Ing. José Alfonso Gálvez Salinas propone los criterios para la planificación y diseño de corredores fluviales urbanos para la mitigación de las islas de calor. Dentro de su propuesta afirma que existen cuatro factores urbanos que influyen en el tamaño e intensidad de las islas de calor, estos son: el espacio edificado, la densidad de población, las superficies ajardinadas y la intensidad vehicular.

La propuesta que realiza se fundamenta en que “la influencia de los corredores fluviales sobre la isla de calor depende en buena medida de la dinámica de los vientos, la forma urbana, la superficie de la lámina de agua, la superficie ajardinada, el tipo de encauzamiento y el entorno perifluvial” (Gálvez, 2013). De esta manera clasifica los criterios en dos categorías, la primera categoría está enfocada a la planificación y en ella se encuentran los criterios de vientos dominantes, forma urbana, superficie de agua y zonas verdes; mientras que la segunda categoría se enfoca al diseño a través del tipo de encauzamiento y el entorno perifluvial.

De esta manera, con la lámina de agua se pretende disminuir el tamaño e intensidad de la isla de calor, ya que a mayor superficie de agua mayor mitigación de la temperatura. Además, al contemplar la forma urbana se pretende generar un efecto mitigador a través del tipo de espacio (abierto, cerrado, calle abierta, calle cerrada, etc.). Según Hathway (2012, en Gálvez, 2013) los mayores efectos de reducción de temperatura son los espacios abiertos de la ciudad y colindantes con ríos y con áreas de abundante vegetación.

Cabe destacar que una gran cantidad de trabajos sobre islas de calor en países como España, Grecia y países mediterráneos, coinciden en distinguir dos tipos de islas de calor, una superficial y la otra atmosférica. La isla de calor superficial se caracteriza por la diferencia de la temperatura registrada en superficies urbanas como pavimentos, construcciones etc., respecto a las superficies rurales próximas a la ciudad. A diferencia de la isla de calor atmosférica, que su principal característica es la diferencia térmica entre el aire del área urbanas y el área rural (Moreno, 2006).

El estudio de las islas de calor en países como Argentina no es muy diferente, de igual manera se retoman datos de temperatura, de humedad relativa, de la velocidad y dirección del viento. Tal es el caso de Picone (2014), que en su trabajo de

“Comparación urbano rural de parámetros meteorológicos en la ciudad de Tandil, Argentina”, realiza una comparación entre las condiciones climáticas de la zona urbana con las áreas rurales próximas. La información fue obtenida de dos estaciones meteorológicas, correspondientes al centro urbano de la ciudad y de una estación meteorológica en área rural. Los resultados obtenidos reflejan un incremento de hasta 1.4 °C de mayor temperatura en zonas urbanas que en las zonas rurales, de igual manera la humedad y los vientos son considerablemente mayores en zonas rurales que en las urbanas (Picone, 2014).

De acuerdo con Rivera (2016), en México la mayoría de los estudios se basan en la utilización de la temperatura atmosférica para determinar una isla de calor, centrándose específicamente en el comportamiento térmico y en la influencia de la vegetación en el área de estudio. Otros autores, utilizan el modelado dinámico y redes neuronales artificiales para estimar la intensidad y temporalidad de la isla de calor atmosférica y otros más, utilizan la percepción remota para identificar la temporalidad y espacialidad del fenómeno (Rivera, 2016).

Algunos autores como Villanueva (2013), buscan determinar el potencial de mitigación de la estructura urbana ante los efectos de la isla de calor a través del modelado de la estructura urbana, es decir, a partir de los usos y cobertura del suelo, del tipo de edificaciones y de las posibilidades de aplicar estrategias de mitigación. Las estrategias fueron: reforestación urbana, azoteas frescas y azoteas verdes. La reforestación urbana modificar las condiciones microclimáticas en espacios abiertos al regular la temperatura y humedad, las azoteas frescas utilizan materiales con un albedo alto y una emitancia térmica y las azoteas verdes, crean una superficie vegetal sobre las edificaciones, generando disminución de la temperatura del aire por medio de la evapotranspiración (Villanueva, 2013).

Los resultados demuestran que la modelación de la estructura urbana es una herramienta útil y aplicable al proceso de planeación urbana, ya que, la aplicación de estrategias de mitigación propuestas puede reducir hasta en 8°C la temperatura del área de estudio, siendo las estrategias de azoteas frescas y verdes el mayor impacto en mitigación de los efectos de las islas de calor (Villanueva, 2013).

CAPITULO 2

SITUACIÓN ACTUAL Y POLÍTICA PÚBLICA

2.1 Impactos de las islas de calor

El problema fundamental de las islas de calor yace en los impactos económicos, sociales y ambientales que representan. Relacionados con los elementos de conformación de la isla de calor, parecen conjugarse en un círculo repetitivo; en donde las características de las islas de calor generan ciertos impactos que son remediados algunos de ellos con soluciones temporales, que lejos de reducir el efecto de la isla de calor lo agravan, de forma que repercuten negativamente en las características intensificando sus efectos.

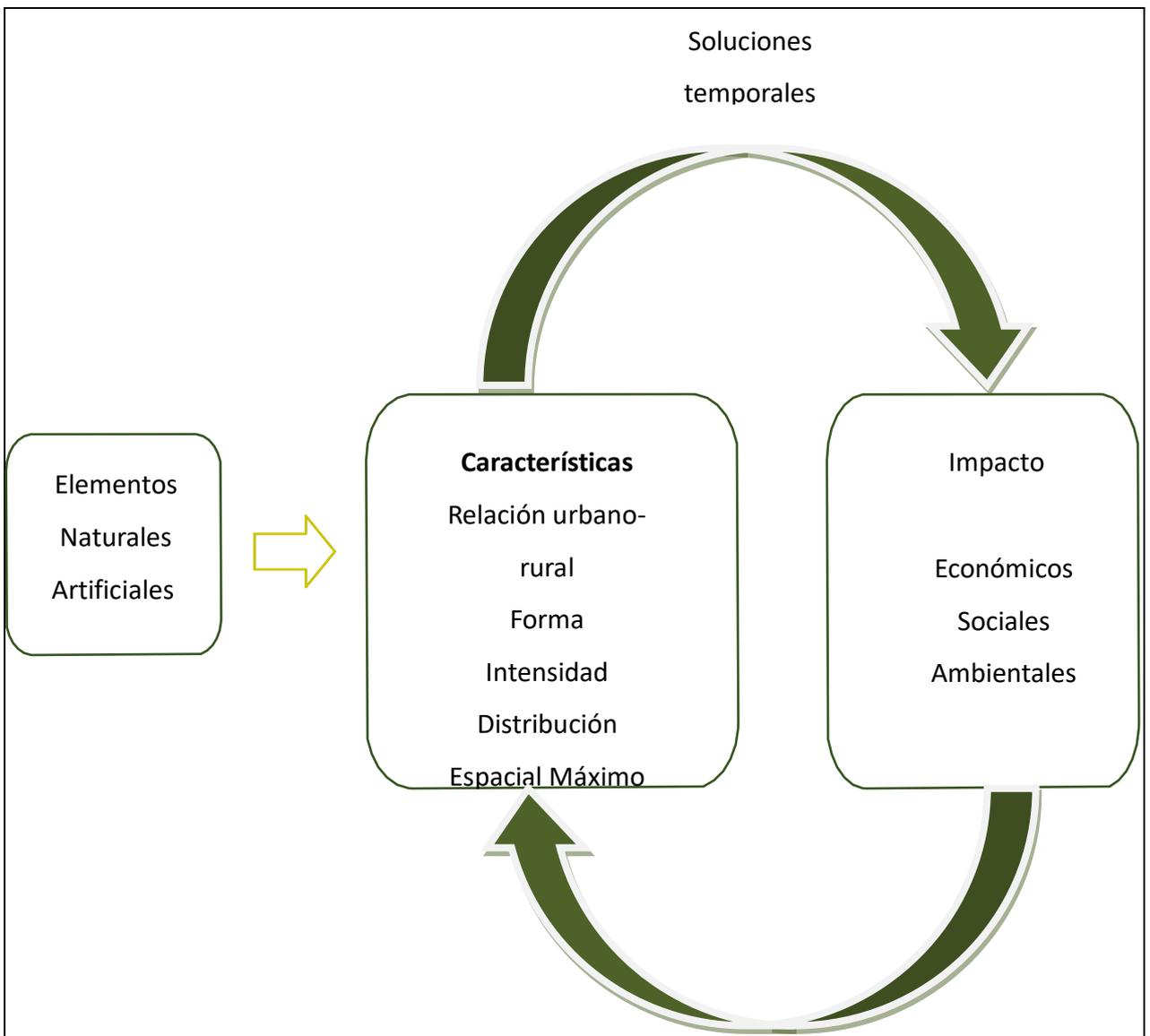


Diagrama 3. Relación de las características de las islas de calor con sus impactos.

Elaboración propia.

2.1.1 Económicos

Se ha demostrado que el clima urbano con sus consecuencias como la isla de calor tiene aporte en el cambio climático. Con ello se sabe que los principales efectos del cambio climático son eventos climáticos extremos y cada vez más intensos, amenazando la infraestructura urbana y parte de la población urbana vulnerable se encuentra en las costas (Delgado, Zuria, y Zentella, 2015).

Por otra parte, el aumento de la temperatura genera de igual forma un aumento en el consumo energético para el enfriamiento artificial de los edificios, esto se encuentra ligado con el aspecto social (de Schiller, Evans, y Katzschner, 2001).

2.1.2 Sociales

Dentro de los impactos sociales, se ve repercutido el confort higrotérmico a nivel peatonal en espacios exteriores, y la demanda energética de espacios interiores para el enfriamiento artificial de los edificios y mejora del confort (de Schiller, Evans, y Katzschner, 2001).

Relacionado con la salud humana, la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2008) atribuye a las islas de calor

- Aumento de morbilidad y mortalidad entre personas de la tercera edad, con enfermedades cardiovasculares o respiratorias
- Aumento del ozono a nivel del suelo promoviendo enfermedades del sistema respiratorio.
- Alteración de la distribución geográfica de vectores transmisores de enfermedades infecciosas. (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2008).

2.1.3 Ambientales

En el aspecto ambiental Fuentes (2015) señala las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, debido a que los patrones de lluvias son modificados, teniendo menos periodo de lluvias, pero alcanzando precipitaciones intensas en un periodo corto. Romero, Molina, Vásquez, y Smith (2008) acervan que las islas de calor facilitan la formación de contaminantes secundarios y fotoquímicos y contribuyen a aumentar la presencia de gases invernadero contribuyendo al cambio climático. De manera que las

islas de calor son un reto a nivel global.

2.2 Medidas de mitigación de las islas de calor

A nivel global se han realizado diferentes investigaciones para determinar cuáles son las medidas de mitigación de islas de calor con mayor éxito dependiendo la ubicación geográfica. En el compendio de islas de calor producido por la EPA (2014) abordan las principales medidas, que funcionan en la mayoría de los lugares donde haya presencia de este fenómeno. A continuación, se describen estas medidas.

2.2.1 Vegetación

La vegetación y los árboles ayudan al enfriamiento del clima urbano, gracias a la evapotranspiración y el sombreado. Dependiendo de la copa de los árboles y la estación del año en la que se encuentre permite la penetración o reflectancia de los rayos del sol. Por otra parte, el suelo cubierto de vegetación permite la retención de agua, de esta forma el suelo puede evaporar el agua disponible y la vegetación transpirar el agua, concluyendo el proceso de evapotranspiración.

Existen ciertas consideraciones que se deben tener en cuenta para poder realizar una exitosa recuperación de cubierta vegetal. Principalmente se debe realizar una planeación de reforestación, determinando las especies de vegetación óptimas para las áreas en las que lo requieren, combinando los diferentes estratos arbóreos para obtener el máximo de sus beneficios.

2.2.2 Techos verdes

Los techos verdes proporcionan sombra a los techos de los edificios ocupados y enfrían el ambiente a través de la evapotranspiración. De esta forma mantienen a los edificios frescos y una cantidad menor de calor es capturada. La diferencia entre un techo verde o un techo convencional puede llegar a ser de 40°C.

Las consideraciones para la instalación de techos verdes van en función de la ubicación geográfica, la selección del tipo de techo más adecuado ya sea extensivo o intensivo, el

tipo de especie y las condiciones necesarias que requiere posteriormente para el mantenimiento y funcionamiento. Cabe resalta que la implementación de esta medida debe de seguir; dependiendo del tipo de techo, su correcta implementación, ya que, no realizarlo de la manera adecuada puede comprometer la estructura del edificio.

- Techos verdes Extensivos. El concepto es diseñar un techo verde resistente que necesite poco mantenimiento o intervención humana una vez que esté establecido. Las plantas adaptadas a climas extremos a menudo toman buenas decisiones y pueden no requerir sistemas de riego permanentes. Debido a su peso ligero, los sistemas extensivos requerirán la menor cantidad de soporte estructural agregado, lo que mejora su costo-efectividad al adaptar una estructura existente.
- Techos verdes intensivos. Un techo verde intensivo es como un jardín convencional, o parque, con casi ningún límite en el tipo de plantas disponibles. En comparación con los extensos techos verdes, los techos verdes intensivos son más pesados y requieren una mayor inversión inicial y más mantenimiento a largo plazo que los techos extensos. Requieren más apoyo estructural para adaptarse al peso del medio de cultivo adicional y el uso público.

2.2.3 Techos frescos

Los techos frescos utilizan las propiedades de albedo y la emitancia térmica para su diseño. La implementación de ellos usa materiales altamente reflectantes y emisivos, de forma que sea una mínima la cantidad de calor acumulada por ellos. Los techos frescos tienen un porcentaje de albedo y emisividad de 75% y 92% respectivamente, a comparación de los oscuros con un 5% y 92% o metálicos que poseen un 60% y 25%.

Las consideraciones principales son los materiales, debido a que son materiales especiales que deben de traer en su etiquetado las especificaciones; seleccionarlos dependerá de las especificaciones del material y de la ubicación del edificio, ya que debe resistir ante condiciones de insolación, clima y suciedad particulares. La selección del tipo de techo fresco va en función de la pendiente que tenga el techo, generalmente los

materiales ya fabricados están diseñados para techos con poca pendiente, pero también existen opciones para los que tienen la pendiente pronunciada.

- Techos frescos de baja pendiente. Los techos de baja pendiente y empinada tienen diferentes materiales para su aplicación. Las opciones principales de techos frescos son revestimientos y membranas de una sola capa.
- Techos frescos de pendiente pronunciada. Las tejas de asfalto son los materiales de techado más comunes utilizados en techos con pendiente pronunciada. Otros productos incluyen techos de metal, azulejos y batidos.

2.2.4 Pavimentos frescos

Este tipo de pavimentos almacenan menos calor por lo que tienen una superficie con menores temperaturas en comparación con los pavimentos convencionales. Debido a que la mayoría de la ciudad se encuentra cubierta de pavimento, esta pudiera ser la clave en la mitigación de las islas de calor urbano que son generadas por el efecto del pavimento.

Los pavimentos frescos funcionan teniendo un porcentaje de albedo y de emisividad térmica. Los pavimentos permeables se diseñaron como control de tormentas, sin embargo, se consideran también como pavimentos frescos, esto se debe a que son pavimentos porosos que permiten la infiltración del agua, con ella posteriormente se puede realizar la evaporación disminuyendo la temperatura.

Tipos de pavimento fresco potenciales

Los pavimentos frescos actuales son aquellos que tienen mayor reflectancia solar o que usan un material permeable como el hormigón convencional, que inicialmente tiene una alta reflectancia solar. Otros están emergiendo, como el microsurfacing, que es una fina capa de sellado utilizada para el mantenimiento.

- Pavimentos de asfalto convencionales. Consisten en un aglutinante de asfalto mezclado con agregado, pueden modificarse con materiales de alto albedo o tratarse después de la instalación para aumentar la reflectancia.
- Pavimentos de hormigón convencionales. Fabricados mezclando cemento

Portland, agua y áridos, se pueden utilizar en una amplia gama de aplicaciones, incluidos senderos, carreteras y estacionamientos.

- Otros pavimentos reflectantes. Hechos de una variedad de materiales, se utilizan principalmente para áreas de poco tráfico, como paseos laterales, senderos y estacionamientos. Ejemplo: pavimentos a base de resina, asfalto y cemento coloreados, con pigmentos o sellos añadidos para aumentar la reflectancia.
- Pavimentos permeables sin vegetación. Contienen huecos y están diseñados para permitir que el agua drene a través de la superficie en las subcapas y se muele debajo. Estos materiales pueden tener la misma integridad estructural que los pavimentos convencionales.
- Pavimentos vegetales permeables. Tales como los adoquines de hierba y los adoquines de rejilla de concreto, use enrejados de plástico, metal u hormigón para sostener y permitir que la hierba u otra vegetación crezca en los intersticios.

2.2.5 Comparación de las medidas de mitigación

Tabla 3. Comparación de los beneficios – costos de las medidas de mitigación

Medida de mitigación	Beneficios	Costo
Árboles y vegetación	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción en uso de energía. ● Reducción de la contaminación del aire y de las emisiones de gases de efecto invernadero. ● Reducción de Emisiones Evaporativas. ● Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la demanda de energía reducida. ● Mejora de la salud humana. Gestión mejorada de aguas pluviales y calidad del agua. 	<p>Los principales costos asociados son el mantenimiento de árboles y otras vegetaciones. Incluyendo la compra de materiales, la plantación inicial y el mantenimiento continuo, tales como la poda, control de plagas y enfermedades e irrigación. Otros costos incluyen la administración del programa, juicios y responsabilidades, daños a las raíces y eliminación de tocones. Sin embargo, los</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ●Costos de mantenimiento de pavimento reducidos. ●La sombra del árbol puede reducir el deterioro del pavimento de la calle. 	<p>beneficios de los árboles urbanos casi siempre superan estos costos.</p>
Techos verdes	<ul style="list-style-type: none"> ●Uso de energía reducido. Los techos verdes pueden ahorrar la energía necesaria para enfriar y calentar los edificios que protegen. ●Reducción de la contaminación del aire y de las emisiones de gases de efecto invernadero. ●Mejora de la salud y el confort térmico. ●Los techos verdes, al reducir la transferencia de calor a través del techo de un edificio, pueden mejorar la comodidad interior y reducir el estrés por calor asociado a las olas de calor. ●Gestión mejorada de aguas pluviales y calidad del agua. Pueden reducir y frenar la escorrentía de aguas pluviales en el medio ambiente urbano. ●Calidad de vida mejorada. Las personas que se encuentran en edificios más altos y vecinos pueden disfrutar contemplando un jardín en la azotea. 	<p>Un techo verde puede tener costos iniciales más altos que la mayoría de los techos convencionales, sin embargo, el propietario de un edificio puede beneficiarse directamente del uso reducido de energía, la reducción de las tarifas de gestión de aguas pluviales y el aumento de la vida útil del techo.</p>
Techos frescos	<ul style="list-style-type: none"> ●Uso de energía reducido. Un techo frío transmite menos calor al edificio de abajo, por lo que el edificio se mantiene más fresco y cómodo, y utiliza menos energía para enfriarse. ●Reducción de la contaminación del aire y de las emisiones de gases de efecto invernadero. Puede reducir el consumo de energía durante los meses de verano. ●Mejora de la salud y la comodidad humanas. Un techo frío puede reducir las temperaturas del aire 	<p>Para cualquier tipo de techo frío, puede haber una prima de costo en comparación con otros productos de techado. En términos de dólares por pie cuadrado, la prima varía de cero a 5 o 10 centavos para la mayoría de los productos, o de 10 a 20 centavos para un techo construido con una capa fría utilizada en lugar de asfalto liso o revestimiento de aluminio. Al igual que con cualquier trabajo de techado, los costos dependen del mercado</p>

	<p>dentro de los edificios con y sin aire acondicionado. ●Aumento de la vida útil del pavimento y reducción de desperdicios</p>	<p>local y de factores tales como el tamaño del trabajo, el número de penetraciones u obstáculos en el techo y la facilidad de acceso al techo. Estas variables a menudo superan significativamente la diferencia en los costos entre varias opciones de material para techado.</p>
<p>Pavimentos fríos</p>	<p>●Si la reflectancia del pavimento en una ciudad aumentara del 10 al 35 por ciento, la temperatura del aire podría reducirse en 1 ° F (0.6 ° C), lo que generaría beneficios significativos en términos de menor uso de energía y niveles reducidos de ozono. ●Calidad del aire y emisiones de gases de efecto invernadero Dependiendo de la mezcla de combustible de la energía eléctrica, la disminución de la demanda de energía asociada con los pavimentos fríos dará como resultado una menor contaminación atmosférica asociada y emisiones de gases de efecto invernadero. Las temperaturas del aire más frías también disminuyen la tasa de formación de ozono a nivel del suelo y reducen las emisiones de evaporación de los vehículos.</p> <p>●Calidad del agua y escorrentía de aguas pluviales. Los pavimentos con temperaturas superficiales más bajas, ya sea por alta reflectancia solar, permeabilidad u otros factores, pueden ayudar a reducir la temperatura de la escorrentía de aguas pluviales, mejorando así el choque térmico a la vida acuática en las vías fluviales en las que drena el agua pluvial.</p> <p>●Aumento de la vida útil del pavimento y reducción de desperdicios.</p> <p>●La reducción de las temperaturas de la superficie</p>	<p>Los costos del pavimento frío dependerán de muchos factores, incluidos los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> •La región •Clima local •Contratista •Época del año •Accesibilidad del sitio •Suelos subyacentes •Tamaño del proyecto •Tráfico esperado •La vida deseada del pavimento. <p>La mayoría de la información de costos es específica del proyecto. La Administración Federal de Carreteras (FHWA) ha observado que el asfalto poroso cuesta entre un 10 y un 15 % más que el asfalto común, y el hormigón poroso es un 25 % más caro que el hormigón convencional.</p>

	<p>del pavimento puede reducir el riesgo de fallas prematuras de los pavimentos de asfalto debido a la formación de surcos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Beneficios de calidad de vida al mejorar la visibilidad de carreteras durante la noche, reduciendo potencialmente los requisitos de iluminación y ahorrando dinero y energía. ● La seguridad. Los pavimentos permeables al camino pueden mejorar la seguridad ya que un mejor drenaje del agua reduce el rocío de agua de los vehículos en movimiento, aumenta la tracción y puede mejorar la visibilidad al drenar el agua que aumenta el deslumbramiento. 	
--	--	--

Elaboración propia con base EPA (2014)

2.3 Política pública

2.3.1 Leyes

En el Marco Legislativo Mexicano para poder implementar las medidas de mitigación anteriormente abordadas, se encuentran ciertas pautas, ya sean enfocadas a la sustentabilidad o a la implementación de buenas conductas ambientales.; sin embargo, hasta el momento ninguna normatividad proporciona el manejo de las islas de calor.

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

El objetivo de la presente ley es el desarrollo sustentable desde diversos ejes, uno de ellos abordado en el capítulo tercero denominado Política ambiental. El artículo 15 del capítulo tercero, es para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de Normas Oficiales Mexicanas y demás instrumentos previstos, esto en materia de la preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente. La componen 20 principios de los cuales el principio V, VI XII, XVI dan la pauta para el desarrollo de normatividad que aseguren un ambiente adecuado para el desarrollo, salud y bienestar, tomando medidas para la reducción de contaminantes y

mejorando el entorno natural, pero sobre todo integrando la prevención de desequilibrio ecológicos, dejando la responsabilidad a las generaciones presentes para asegurar condiciones de calidad de vida de las generaciones futuras.

- Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente del Estado de Quintana Roo

El objeto es el desarrollo sustentable y la regulación de las acciones tendentes a la preservación del equilibrio ecológico. En el Capítulo II “De las atribuciones del Estado” el artículo 5 aborda las atribuciones que corresponden al Estado, la fracción VII aborda la prevención contaminación por energía térmica entre otras que sean generados por fuentes fijas o móviles. En cuestión de promoción de áreas verdes dentro de la sección V “Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos” el artículo 46 fracción III, IV determina que el desarrollo urbano debe tener atención en la proporción de áreas verdes y edificaciones, generando compromiso de autoridades y sociedad la forestación y reforestación y resaltando la conservación de las áreas verdes existentes evitando ocuparlas. En el Capítulo IV “Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos” el artículo 132 señala la recarga de mantos acuíferos mediante de áreas verdes que sean permeable y permitan la recarga de agua pluviales, señalando el porcentaje de área verde según el área del terreno.

- Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo

El objetivo son las acciones estatales ante el cambio climático, asegurando un medio ambiente adecuado para las personas en su desarrollo y bienestar. El capítulo VI BIS “De las Azoteas Verdes” aborda la factibilidad de los inmuebles para la implementación de esta medida, así como los incentivos que proporciona el Estado y Municipios para alentar a la instalación de azoteas verdes.

- Ley de Asentamiento Humanos del Estado de Quintana Roo

Tiene por objeto el establecimiento de normas para la ordenación y regulación de los asentamientos humanos, integrando el desarrollo urbano sustentable en los centros de población y teniendo participación social en la planeación y gestión urbana. El Capítulo IV “De los Programas de Desarrollo Urbano” en el artículo 20 -BIS hace referencia a la finalidad de los Programas de Ordenación de las Zonas Metropolitanas Interestatales,

dentro del contenido que deben tener el inciso f menciona las Acciones que favorezcan los espacios públicos y las áreas verdes. En el capítulo VI “De las Regulaciones a la Propiedad en los Centros de Población” el artículo 50 aborda la ejecución de las acciones de conservación y mejoramiento de los centros de población, en la fracción II menciona la proporción entre las áreas verdes y las edificaciones destinadas a la habitación, los servicios y las actividades productivas.

- Ley de Conservación, Mantenimiento, Protección y Desarrollo del Arbolado Urbano del Estado de Quintana Roo

Tiene por objeto garantizar la conservación, mantenimiento, protección y desarrollo de los árboles y áreas arboladas urbanas a fin de lograr un equilibrio ecológico propicio para el sano desarrollo de los habitantes de zonas urbanas del estado. En esta ley se promueve la arborización en zonas que lo requieran, así como se determina que en los planes y programas urbanos realizados se debe de tener en cuenta la vegetación.

- Ley de Fraccionamientos del Estado de Quintana Roo

Tiene por objeto establecer y reglamentar las disposiciones conforme a las cuales la administración pública intervendrá para el mejor ordenamiento, desarrollo y aprovechamiento de la división de terrenos en predios o lotes. El capítulo Tercero “De las Características de los Lotes” el artículo 17 señala que en los fraccionamientos comerciales se deben destinar por lo menos el 20% de la superficie total a áreas verdes.

- Ley de Vivienda del Estado de Quintana Roo

Dentro de sus objetos el que mayor competencia tiene con el tema de estudio está en la fracción VII, haciendo énfasis en propiciar que la vivienda se constituya en factor de sustentabilidad ambiental, ordenamiento territorial y desarrollo urbano. Razón por la cual el Título Sexto “Sustentabilidad, Calidad y Seguridad de la Vivienda” aborda las características implementadas en materia de sustentabilidad. En específico el artículo 61 determina el uso de materiales y productos que eviten afluentes y emisiones que deterioren el ambiente con enfoque a crear un ambiente confortable y saludable.

- Ley para el Fomento de la Eficiencia Energética y del Aprovechamiento de las Fuentes de Energía Renovables en el Estado de Quintana Roo

El objeto principal es el uso de Energías Renovables, así como la racionalidad del uso de la energía convencional. Sin embargo, en el capítulo séptimo “De las Atribuciones de Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda” el artículo 20 fracción III incentiva a desarrollar diseños arquitectónicos que consideren la radiación solar y la ganancia térmica promoviendo la climatización pasiva y la ventilación natural.

2.3.2 Normas Oficiales Mexicanas

En cuestiones de eficiencia energética la secretaria de energía establece la categoría de edificaciones desarrollado este tema por 4 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) cuyo principal objetivo general es la disminución de la ganancia térmica en las edificaciones, tanto para asegurar un confort humano, así como retener calor o liberar calor a la atmosfera aumentando la temperatura superficial urbana.

- NOM-008-ENER-2001 Eficiencia Energética en Edificaciones, Envolverte de Edificios No Residenciales.

El objetivo de esta norma es la limitación de la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Abordando técnicas de construcción que permitan reducir el calor y mantener el confort en los espacios en edificios de nueva creación o en ampliaciones en elementos ya edificados.

- NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.

Esta norma establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los productos, componentes y elementos termoaislantes, para techos, plafones y uros de las edificaciones. En términos de referencia la NOM está complementada con 9 Normas Mexicanas (NMX) que abordan las características en particular de los elementos termoaislantes. Esta norma define mediante que método de prueba se analizan características específicas detalladas en las NMX. También señala que el proveedor o fabricante de aislantes térmicos debe indicar las especificaciones y recomendaciones de uso, instalación y manejo del material, de igual forma indicar la conductividad térmica y/o resistencia térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, adsorción de

humedad y/o absorción de agua.

- NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional.

Esta NOM va enfocada al mejoramiento del diseño térmico de edificios logrando un buen confort térmico con el menor uso de sistemas de enfriamiento artificiales disminuyendo el consumo energético. El objetivo es limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. La limitación de ganancia de calor se establece mediante cálculos que dependiendo la posición y la estructura debe tener ciertas características, y da parámetros dependiendo del estado llegando a algunas ciudades como el caso de Chetumal para poder realizar los cálculos correspondientes.

- NOM-024-ENER-2012 Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba.

Va enfocada en garantizar que el consumidor tenga la información necesaria para la selección de materiales que vayan en función de su necesidad de aislar térmicamente su edificación. El objetivo es establecer la obligación de certificar las características ópticas y térmicas de los vidrios y sistemas vidriados, así como, los métodos de prueba para su verificación, con el fin de asegurar el comportamiento térmico de los envolventes de los edificios.

- NOM-059-SEMARNART-2010 Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo.

Sí bien el objetivo va enfocado a las especies que se encuentran bajo una categoría de protección también describe las condiciones de manejo de las especies entre ellas las vegetales, esto es relevante ya que la reforestación en sus etapas de planeación la primera requiere la selección correcta de especies.

- NOM-015-STPS-2001 Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene

El objeto de esta NOM es establecer las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y

tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que, por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

- NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos

Preocupada por los problemas de la degradación irreversible de las urbanizaciones tiene por objetivo la especificación de criterios y requerimientos ambientales mínimos de una edificación sustentable para contribuir en la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, sin descuidar los aspectos socioeconómicos que aseguran su viabilidad habitabilidad e integración al entorno urbano y natural.

Dentro de su estructura aborda elementos que compaginan con las medidas para la reducción de ICU como la azotea naturada, calidad de ambiente interior, confort, edificación sustentable, envolvente, índice de reflexión solar (IRS) y la naturación. En el apartado de requisitos particulares se destacan Suelo, Energía, Calidad del ambiente y responsabilidad social. En donde cada uno de estos requisitos integra elementos para la implementación de estrategias de mitigación de las islas de calor. En específico en el requisito suelo el punto 5.2.1.10, 5.2.1.11, 5.2.1.12 consideran la disminución de la carga térmica, así como evitar el fenómeno de ICU.

En el requisito de energía en los puntos 5.2.2.1, 5.2.2.2, 5.2.2.3 se aborda la limitación de la ganancia de calor a través de envolventes. Dentro de la calidad del ambiente y responsabilidad social se encuentra la parte de biodiversidad en donde los puntos 5.2.5.1.2, 5.2.5.1.5, 5.2.5.1.6, 5.2.5.1.7, 5.2.5.1.8, 5.2.5.1.9, 5.2.5.1.10 describen la importancia de las áreas verdes urbanas y de los individuos vegetales en particular, estableciendo criterios para el uso de vegetación necesaria para la reforestación y la integración de sistemas de naturación para los edificios creando de esa forma una identidad con el arbolado y generando una integración. Por último, en la calidad del ambiente interior se encuentra el punto 5.2.5.3.1 en el cual se señala que el interior de edificaciones el confort termino debe ser entre los 18° y 25° favorecido por soluciones bioclimáticas.

2.3.3 Códigos

- Código de edificación de vivienda

Este documento ya aborda en específico la problemática de Isla de calor y a través de ciertos apartados se proponen soluciones directas o complementarias para dar respuesta. En la parte 6 del documento se maneja la sustentabilidad siendo este el capítulo 27. En la sección 2706 se aborda la energía en donde el punto 2706.4 describe envolvente térmica desglosada en el punto 2706.4.1 Aislamiento, 2706.4.2 Envolvente y 2706.4.4 Vanos vidriados que en los tres puntos se coinciden en la aislación térmica. Posteriormente el punto 2706.11 Diseño Bioclimático da una relación de ciudades por bioclimas siendo el punto 2706.11.1 siendo Chetumal dentro de esta clasificación un bioclima Cálido Húmedo. Este punto principal 2706.11 se ve complementado con una serie de tablas de especificaciones para la construcción dependiendo del bioclima. Dentro de estas especificaciones se consideran estrategias indirectas o complementarias para las medidas de mitigación de ICU, como se presentan en las tablas 2706.11.2.1 2706.11.2.2, 2706.11.2.3, 2706.11.2.6.

2.3.4 Reglamentos

- Reglamento del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para el Municipio de Othón P. Blanco

Cuyo Objeto va encaminado el establecimiento de las normas para la conservación, protección y restauración del equilibrio ecológico. El capítulo VII “Prevención y Control de la Contaminación Visual, Ruido, Vibraciones, Energía Térmica y Lumínica” y en el capítulo V “Infracciones y Sanciones” se mantiene una postura de reducir y prevenir todo tipo de contaminación, haciendo énfasis en la energía térmica para efectos de la investigación.

- Reglamento de la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo en materia de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

En el capítulo III “Del Ruido, de las Vibraciones, de las Energías Térmica y lumínica, de

los Olores y de la Contaminación visual “El artículo 32 aborda la disminución de la contaminación térmica de las fuentes fijas y propone dos métodos para su realización. El artículo 33 incentiva la utilización de materiales que reduzcan la generación de la contaminación térmica.

- Reglamento de Parques, Fuentes, Jardines y Áreas Verdes del Municipio de Othón P. Blanco.

En términos generales el reglamento se compone de cinco capítulos, que hacen referencia al uso y manejo de estos espacios urbanos, así como el cuidado y mantenimiento de estos.

- Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural para el Municipio de Othón P. Blanco

En la Sección II “Imagen Urbana y Conservación del Patrimonio “Artículo 18 Prohíbe en áreas ya urbanizadas el derribo de los árboles a menos que sea necesario. En el Título tercero “Construcción” Capítulo I “De los Procedimientos Constructivos” el artículo 96 se determina que los techos y muros exteriores deben garantizar mínimas aceptables de bienestar térmico en interiores.

2.3.5 Programas

- Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal Calderitas Subteniente López Huay Pix y Xul Há. Municipio de Othón P. Blanco

Este plan fue publicado en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo el 27 de marzo de 2008. A lo largo de todo el documento se aborda la importancia de la vegetación y las diferentes estrategias para cuidar o reintegrarla en distintos espacios. En específico dentro del tercer apartado Políticas y estrategias en la sección de Estructura urbana el punto “Áreas verdes: parques urbanos, áreas verdes y espacios públicos se aborda la importancia de tener estos espacios, y se mencionan beneficios tanto sociales como ambientales; lo que se resalta es la parte en donde se integra que el tener áreas verdes disminuye el efecto de “isla de Calor” en la ciudad. Aquí mismo se habla de un proyecto de reforestación conformado de un sistema integrado de áreas verdes y áreas naturales,

que busca destacar el crecimiento espacial de estas áreas las cuales estarán ubicadas en el sector sur poniente conectándose con Subteniente López y se señala la normatividad que debe aplicarse a los terrenos en esta zona que entre eso destaca la conservación de la vegetación y asegurar que los parques y jardines municipales de los nuevos fraccionamientos deben entregarse arborizados preferentemente con especies de la región. Para el desarrollo de cierto equipamiento urbano se manejan porcentajes de construcción en donde el terreno a utilizar debe tener cierto porcentaje de área verde y marca un límite de superficie impermeable.

- Prácticas de Reforestación. Manual Básico

La SEMARNAT en 2010 Lanza este manual básico para las prácticas de reforestación, en donde aborda la reforestación urbana y rural. Presenta el proceso de planeación de reforestación que consta de 3 fases, Elección del sitio, Elección de las especies a reforestación, y conocimiento regional y asesoría técnica. Luego describe las actividades a realizar previo a la reforestación, en la reforestación y el mantenimiento de esta y la evaluación. Se toman en consideraciones el manejo de plagas y enfermedades.

2.3.6 Acciones

- Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs)

Dentro del Plan de Acción de Bali en 2007 en el marco de la Conferencia de las Partes 13 (COP13) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la tercera Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (CMP3) se formulan estas acciones que tienen como fin la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Estas acciones deben estar alineadas con políticas nacionales y sectoriales para generar beneficios. En México existen 27 NAMAs registradas promovidas por diferentes instituciones y teniendo distintos enfoques. Para el caso de la infraestructura y cuestiones urbanas son tres en específico que convergen siendo NAMA de Vivienda Nueva (MX-15), NAMA de Vivienda Existente (MX-16), estas son promovidas por SEDATU.

- MX – 15 tiene como objetivo principal promover los modelos de edificación costo-efectivos, energéticamente eficientes, a través de estándares para la demanda total de energía primaria basada en el prototipo de

la vivienda y la zona bioclimática.

- MX – 16 toma en cuenta las condiciones del medio para hacer las modificaciones a las viviendas, dentro de las metas se pretende reducir el consumo energético y tener viviendas con suficiente sombra y protección adecuados para tener como beneficio una liberación de humedad suficiente y una demanda energética de enfriamiento considerablemente más baja.

CAPÍTULO 3

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

Chetumal se ubica en municipio de Othón P. Blanco en el Estado de Quintana Roo en el sureste de México (Mapa 1). Quintana Roo se constituye como estado libre y soberano el 8 de octubre de 1974, teniendo como límites políticos el estado de Yucatán al Norte, Campeche al Oeste, el mar Caribe al Este, y colinda con el país de Belice al Sur. Tiene una superficie total de 50212 km² que se distribuyen entre los 11 municipios que constituyen el estado.

Othón P. Blanco se creó el 12 de enero de 1975, tiene una superficie total de 18760 km². Dentro de sus límites políticos se encuentra al Norte el Municipio de Bacalar, Sur con los distritos de Orange Walk y Corozal en Belice, al Este con el Mar Caribe y al Oeste con los municipios de Hopelchén y Calakmul, ambos en el estado de Campeche. La cabecera municipal es Chetumal, la cual fue fundada el 5 de mayo de 1898 pero atribuyendo el nombre de Chetumal hasta el 16 de febrero de 1937.



Mapa 1. Localización del área de estudio en el contexto nacional y estatal.

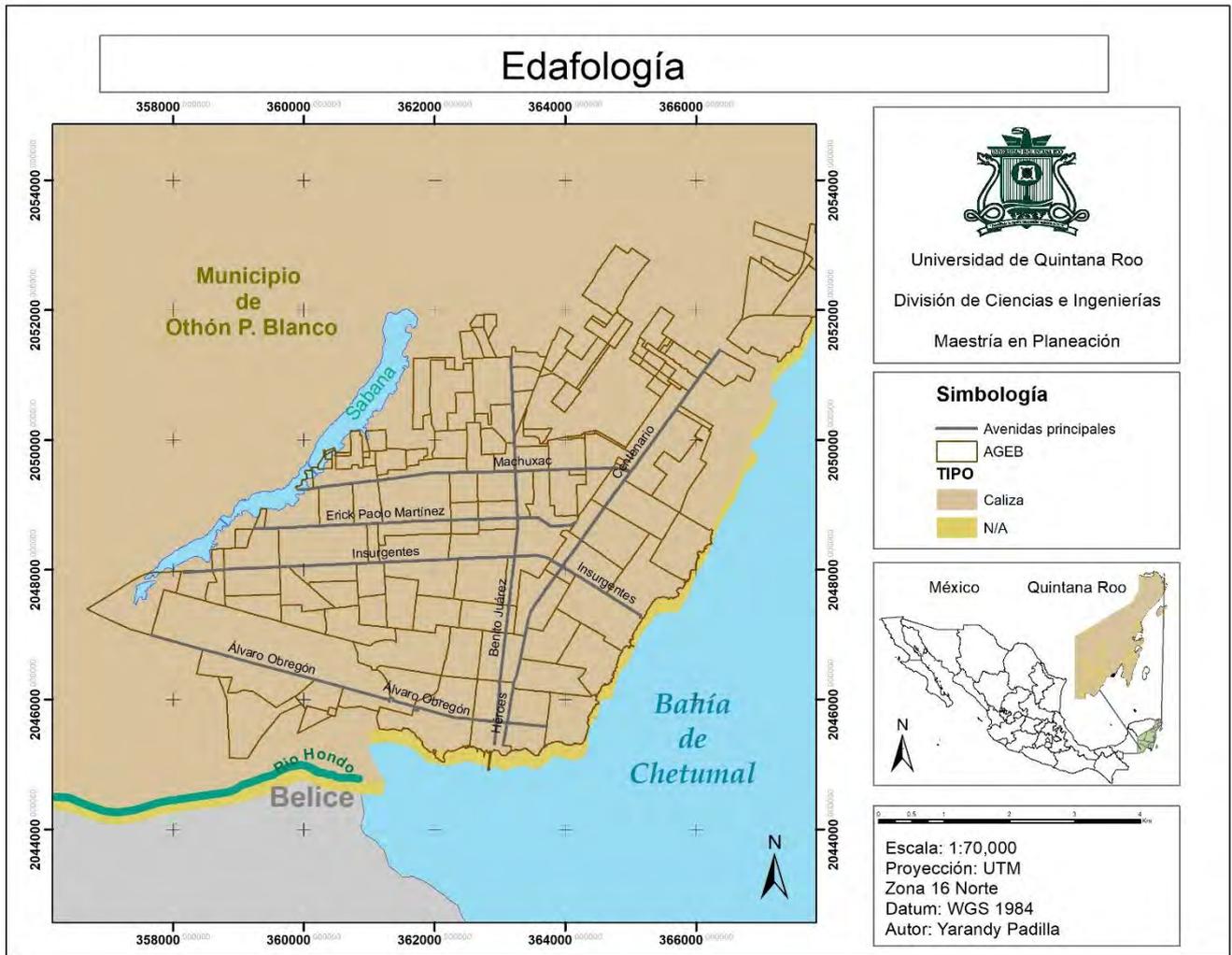
3.2 Descripción físico-geográfica del área de estudio

3.2.1 Geología

El área de estudio se encuentra en una unidad cronolítica donde la roca dominante es la sedimentaria de tipo caliza. La era perteneciente data del Cenozoico compuesta del sistema Terciario, cuya serie es del Mioceno (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2002).

Esta naturaleza geológica permite afallamientos en el relieve lo que genera la presencia de cuerpos de agua como el caso de la laguna de Bacalar o la sabana. De igual forma el relieve es definido por esta naturaleza geológica como se observa en el mapa 3.3 de fisiografía.

En el Mapa 2 se puede identificar dos zonas geológicas principales en Chetumal; la zona baja inmediata a la bahía se caracteriza por sedimentos poco consolidados, saturados por la distancia inmediata al agua, con una dinámica de movimiento alta. La zona alta de la ciudad se caracteriza por materiales estratificados, aflorando la roca caliza predominante en ciertas áreas.



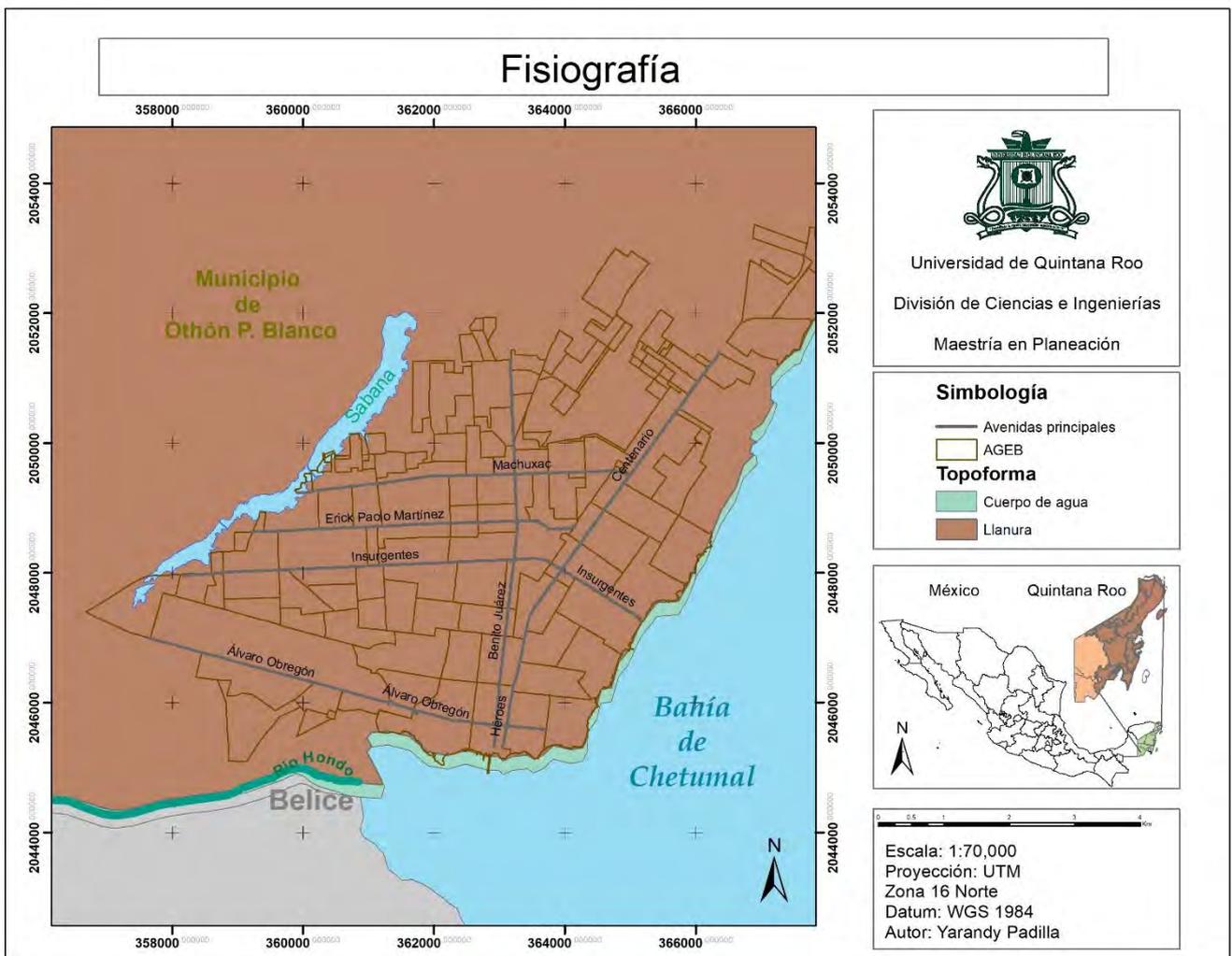
Mapa 2. Identificación de la geología en el área de estudio.

3.2.2 Fisiografía

Chetumal se encuentra ubicada en la Provincia Fisiográfica de la Península de Yucatán, que está integrada por los estados de Quintana Roo, Campeche y Yucatán. Se caracteriza por las pocas elevaciones presentes en su extensión (INEGI, 2001). Esta provincia a su vez se encuentra compuesta por tres subprovincias; el Carso yucateco, Carso y lomeríos de Campeche y la costa baja de Quintana Roo, siendo esta última la que corresponde

para Chetumal.

Como se puede apreciar en el mapa de fisiografía (Mapa 3), la ciudad tiene como límite natural, al este y sureste la Bahía de Chetumal y al sur con el río Hondo, por lo que la extensión de la ciudad está al norte y noroeste, teniendo como única limitante natural el cuerpo de agua “La sabana”. En cuanto a relieve la ciudad tanto como la península se caracteriza por ser plana y se encuentra en el sistema de topofomas como llanura, presentando elevaciones considerables en paralelo a la línea de costa. Sin embargo, dentro de la ciudad se encuentran ondulaciones del relieve, que permiten la formación de aguadas naturales que son remarcadas durante las épocas de lluvias.



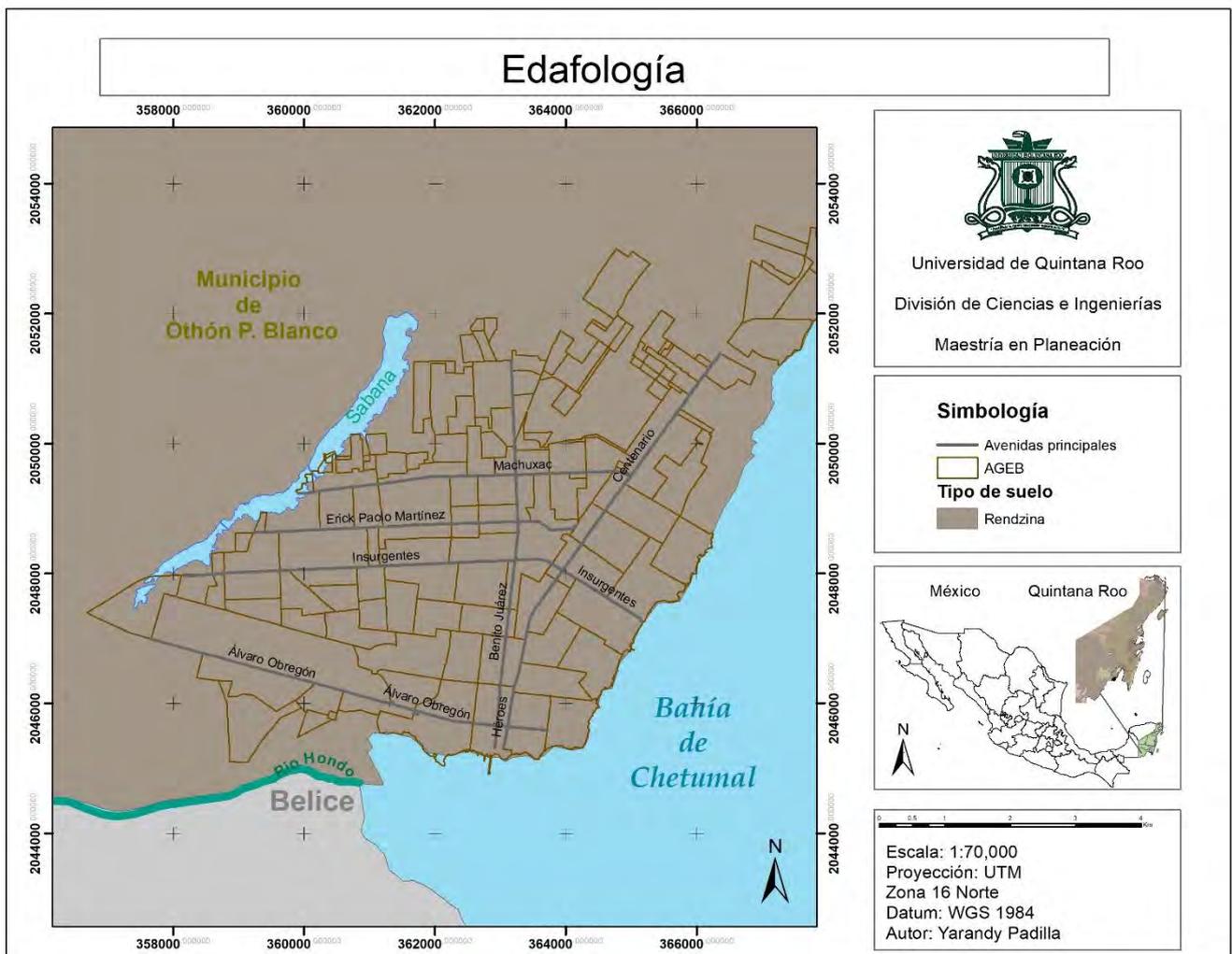
Mapa 3. Identificación del sistema de topografía y elevaciones de la ciudad.

3.2.3 Edafología

El suelo predominante es la Rendzina que se caracteriza por una abundante capa superficial de materia orgánica con alta fertilidad. Se encuentran sobre roca caliza o materiales ricos en calcio como es el caso de Chetumal. La textura es de arcillas. Estos suelos son jóvenes por lo que tienen poca profundidad y no se encuentran desarrollados (INEGI, 2014).

Dentro de la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2007) las Rendzinas se encuentran dentro del grupo de los Leptosoles, definidos como suelos muy someros sobre roca continua y extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Son clasificados en Rendzinas cuando se encuentran sobre roca calcárea.

La clase física es lítica lo que quiere decir que son suelos con roca continua dentro de los 50 cm de profundidad. Con una clase estructural final, que indica que más del 35% es de arcillas.



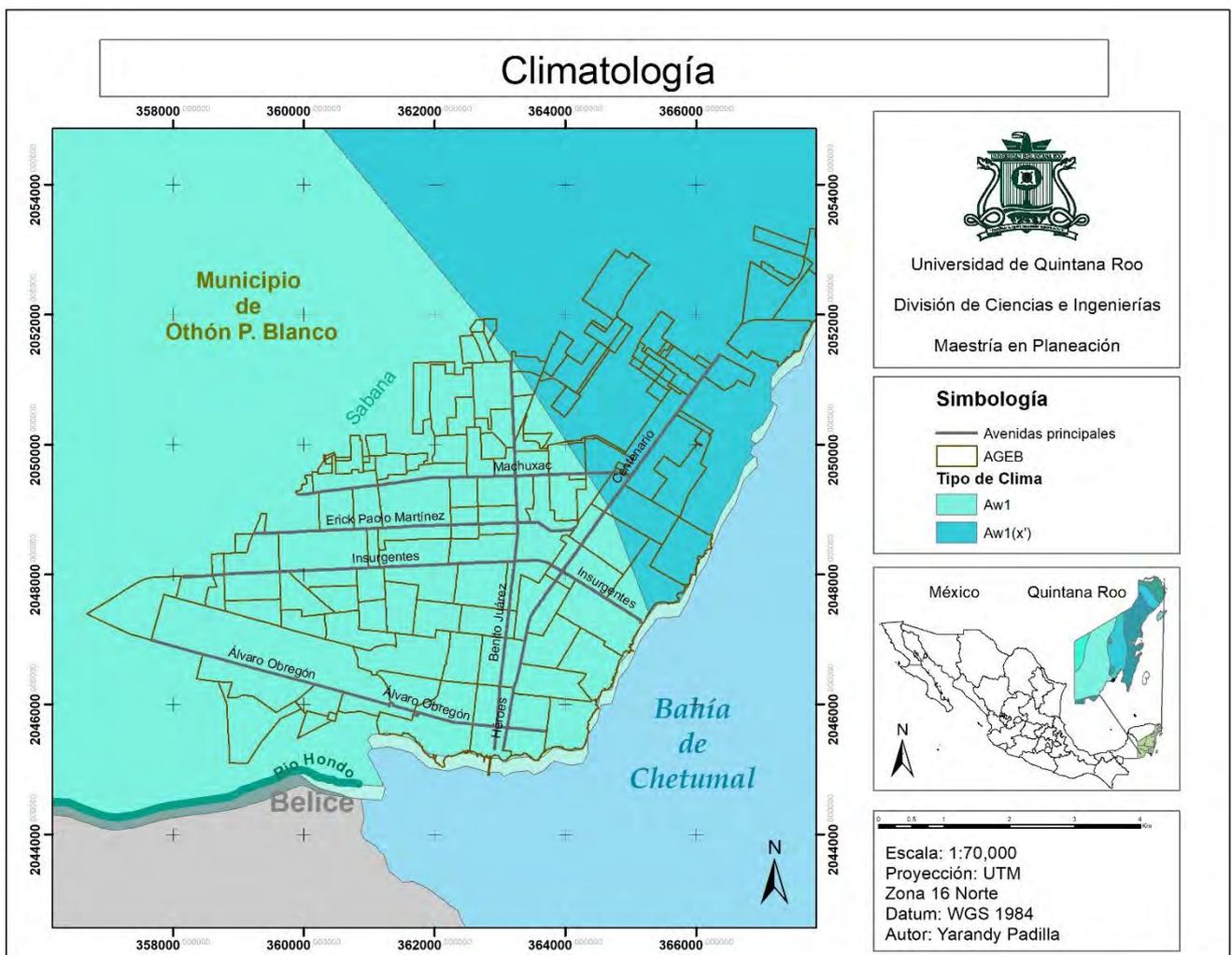
Mapa 4. Identificación de la edafología de la ciudad.

3.2.4 Climatología

Se presentan dos unidades climáticas en Chetumal (mapa 5), que difieren únicamente en el porcentaje de lluvia invernal (INEGI, 2008).

El primero es el Aw1 (x') que se refiere a un Clima Cálido, subhúmedo, con humedad media y el régimen de lluvias se encuentra en verano. El porcentaje de lluvia invernal es mayor a 10.2. La precipitación del mes más seco es menor a 60mm y la temperatura media está por arriba de los 22°C (Köppen, 1948).

El segundo es cálido subhúmedo (Aw1) con humedad media y régimen de lluvias en verano, pero el porcentaje de lluvia invernal se encuentra entre 5 y 10.2% con respecto a la precipitación total anual. La precipitación del mes más seco es menor a los 60mm y la temperatura media es mayor a 22 °C.



3.2.5 Condiciones climáticas

Las unidades climáticas son compuestas por ciertos elementos como es la precipitación, humedad, evapotranspiración y temperatura media. Para Chetumal la distribución de ciertas condiciones está dada por sus limitantes naturales (mapa 6).

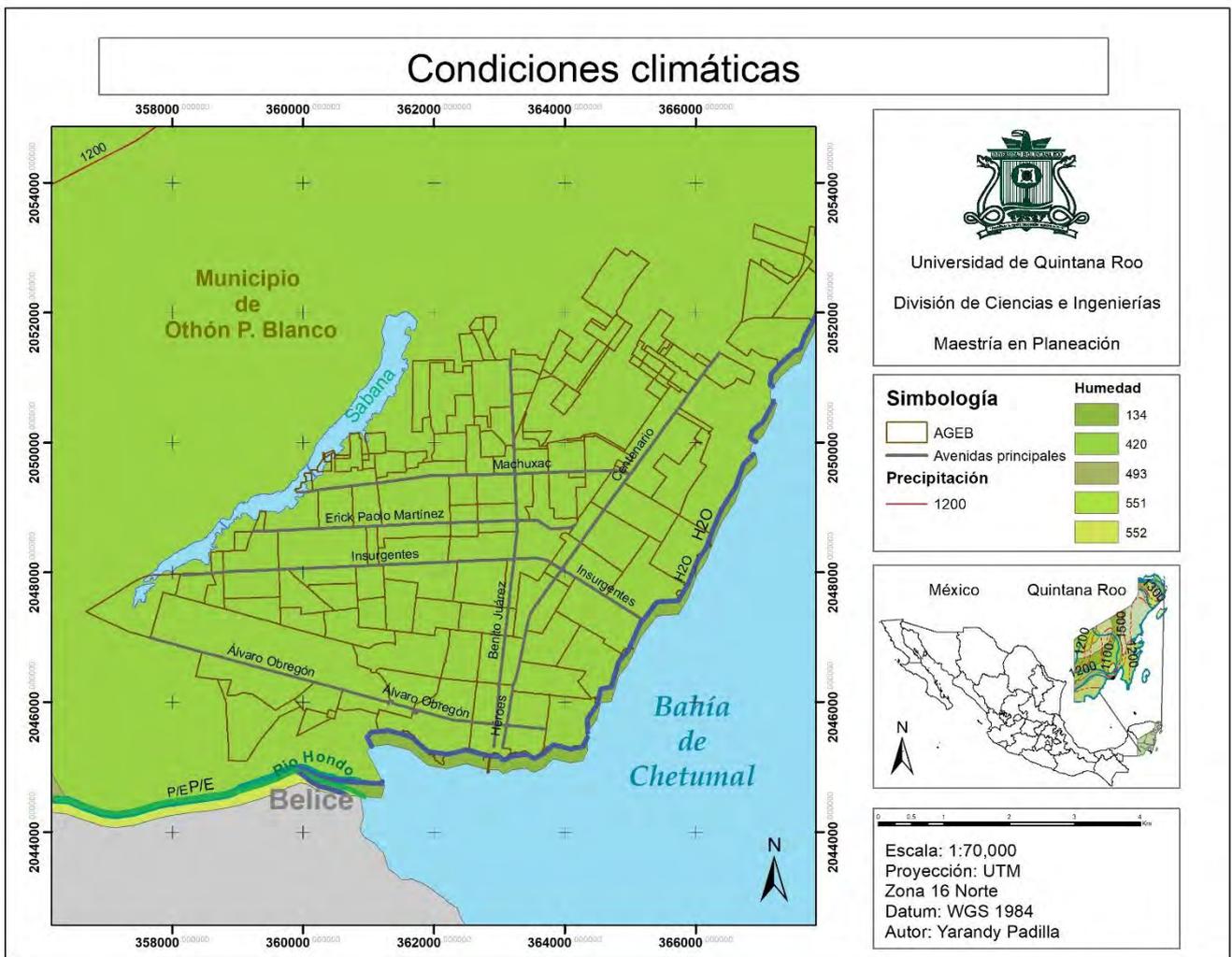
Las condiciones climáticas tienen una relación determinante. Esto se puede observar en el comportamiento de la evapotranspiración y humedad, en donde los valores más altos de evapotranspiración se relacionan con los valores más altos de humedad.

Chetumal y áreas cercanas tienen una variación en la humedad dependiendo su de influencia territorial contigua. La humedad más baja se registra continua a la bahía, como comportamiento normal de cuerpos de agua extensos sin límites terrestres predominantes. La ciudad tiene una humedad homogénea de 420, aumentando al suroeste como resultado de la poca disponibilidad de agua, pero dominancia del suelo y aumento de la evapotranspiración.

Los valores más elevados se encuentran en el cauce del río Hondo debido a que se ubica entre dos superficies terrestres que por naturaleza captan durante el día mayor radiación aumentando la temperatura inmediata a la superficie por lo que la evapotranspiración es mayor y la humedad aumenta.

Por su parte, la precipitación tiene una estrecha relación con la humedad, pues hay que recordar que la humedad es la cantidad de agua en el aire que termina condensándose en nubes y finalmente precipitando, concluyendo de esa forma el ciclo del agua. Por lo que es coherente tener las áreas de precipitación en correspondencia de la humedad.

Para Chetumal se encuentra una precipitación de 1200 mm promedio anuales, relacionados con los 420 de humedad. Finalmente, la temperatura media registrada es de 26°C, distribuyéndose de manera homogénea por el estado (INEGI, 2007).



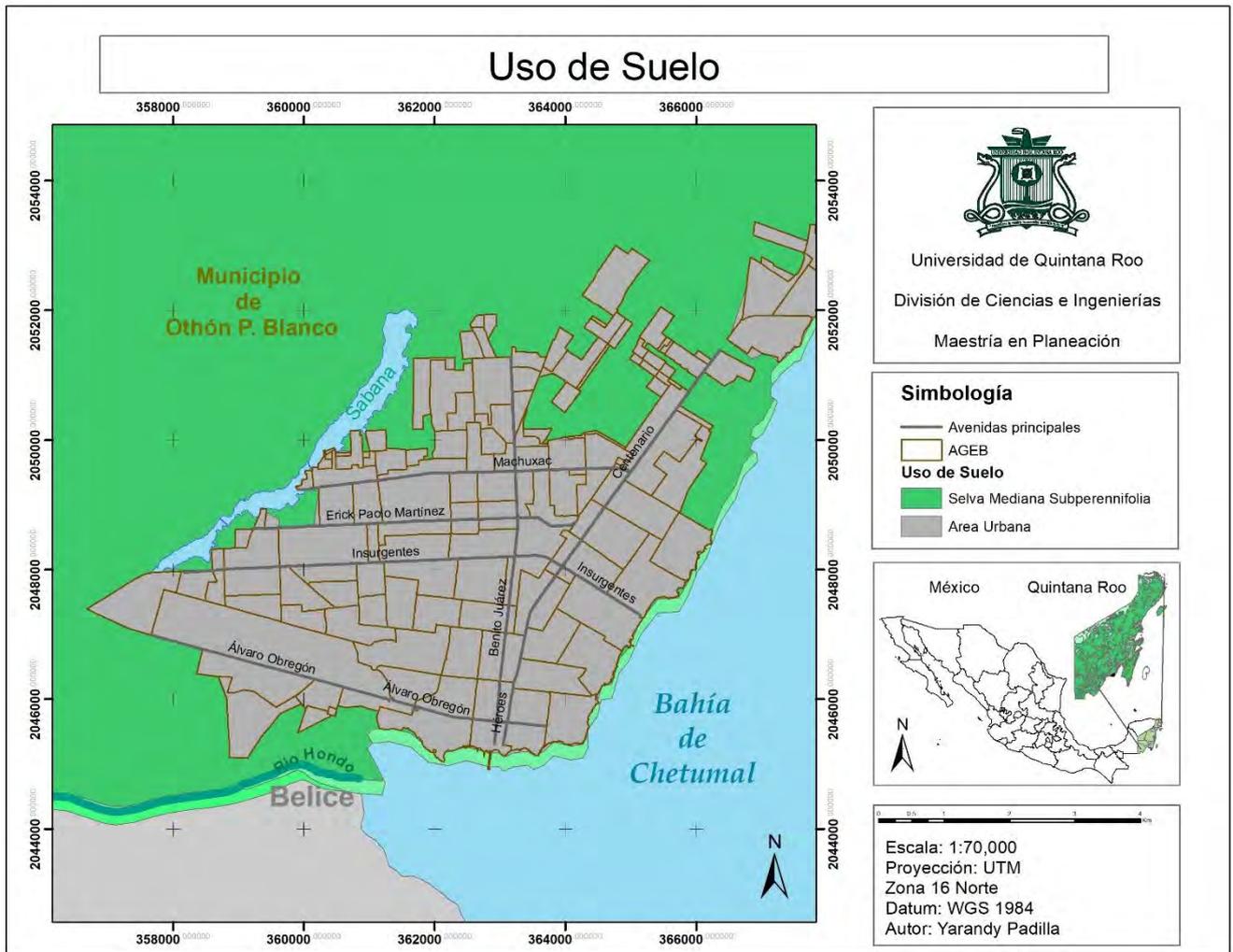
Mapa 6. Identificación de las condiciones climáticas en la ciudad.

3.2.6 Uso de suelo y vegetación

En cuestión de uso de suelo, Chetumal esta categorizada con área urbana con los datos del INEGI (2010). El área circundante de la ciudad la parte terrestre tiene la categoría de Selva mediana Subperennifolia. Se distinguen por sus comunidades vegetales que poseen una altura entre 15 y 30 metros, y la caída de sus hojas que del 25 al 50% de sus especies de la selva pierden sus hojas lo que la clasifica en Subperennifolia.

A los alrededores de la ciudad aún se pueden observar especies características de esta unidad vegetal, sin embargo, dentro de la ciudad la composición vegetal es distinta; hay presencia de especies de reforestación que no son introducidas en conjunto con algunas especies locales, como los diferentes tipos de mangle en la bahía, árboles maderables

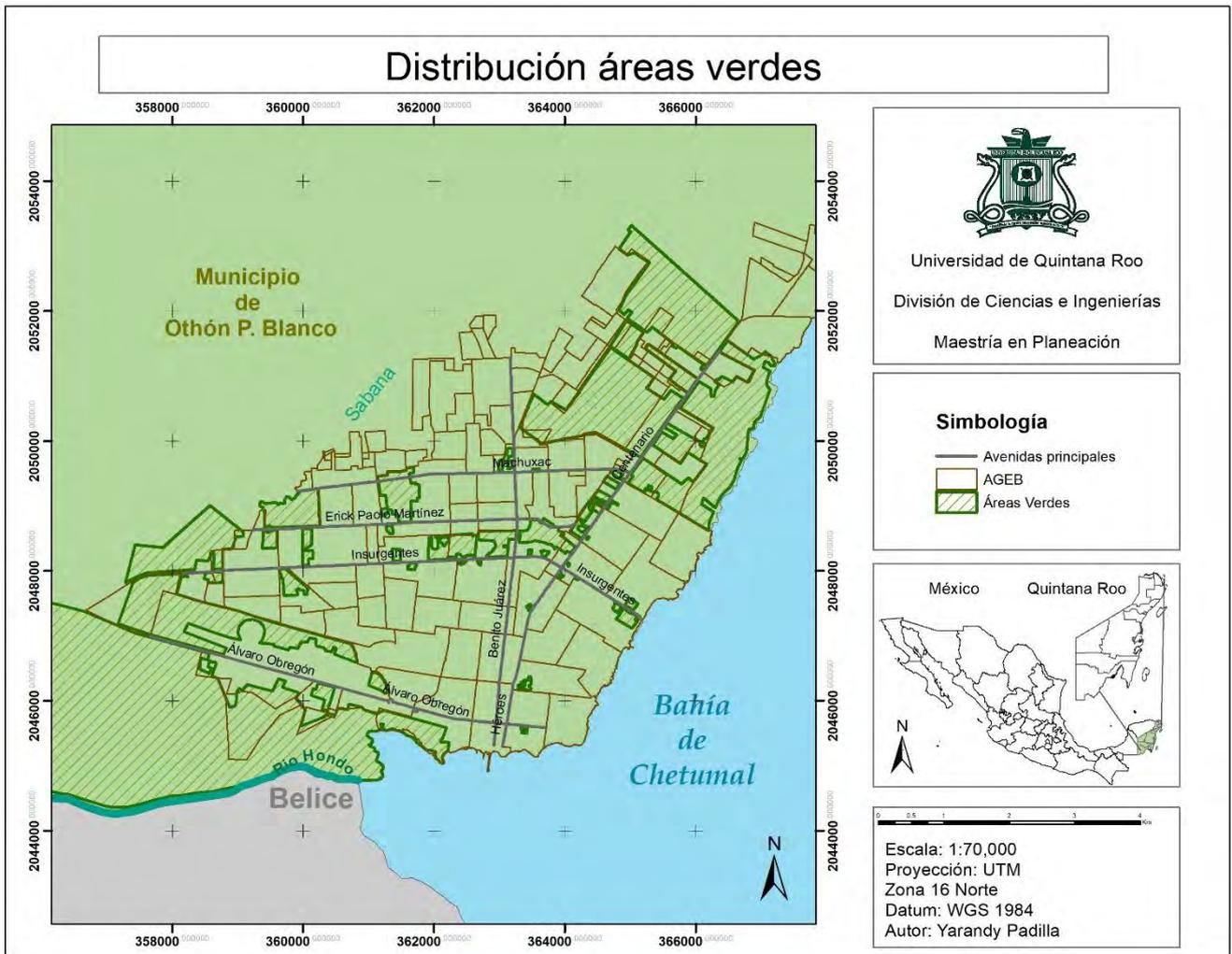
como la ceiba, caoba, cedro y palo de rosa y otros frutales como el ciricote, y los



diferentes tipos de zapotes.

Mapa 7. Identificación de los usos de suelo de la ciudad.

La ciudad aun cuenta con áreas verdes importantes (mapa 8). Las más extensas se encuentran a la periferia de la ciudad y áreas aún no urbanizadas. Dentro de la ciudad hay áreas más pequeñas que son significantes. La distribución de las áreas verdes está en función de la ocupación de espacio por las viviendas. Esta disposición tiene un papel importante en la distribución térmica como más adelante se verá.



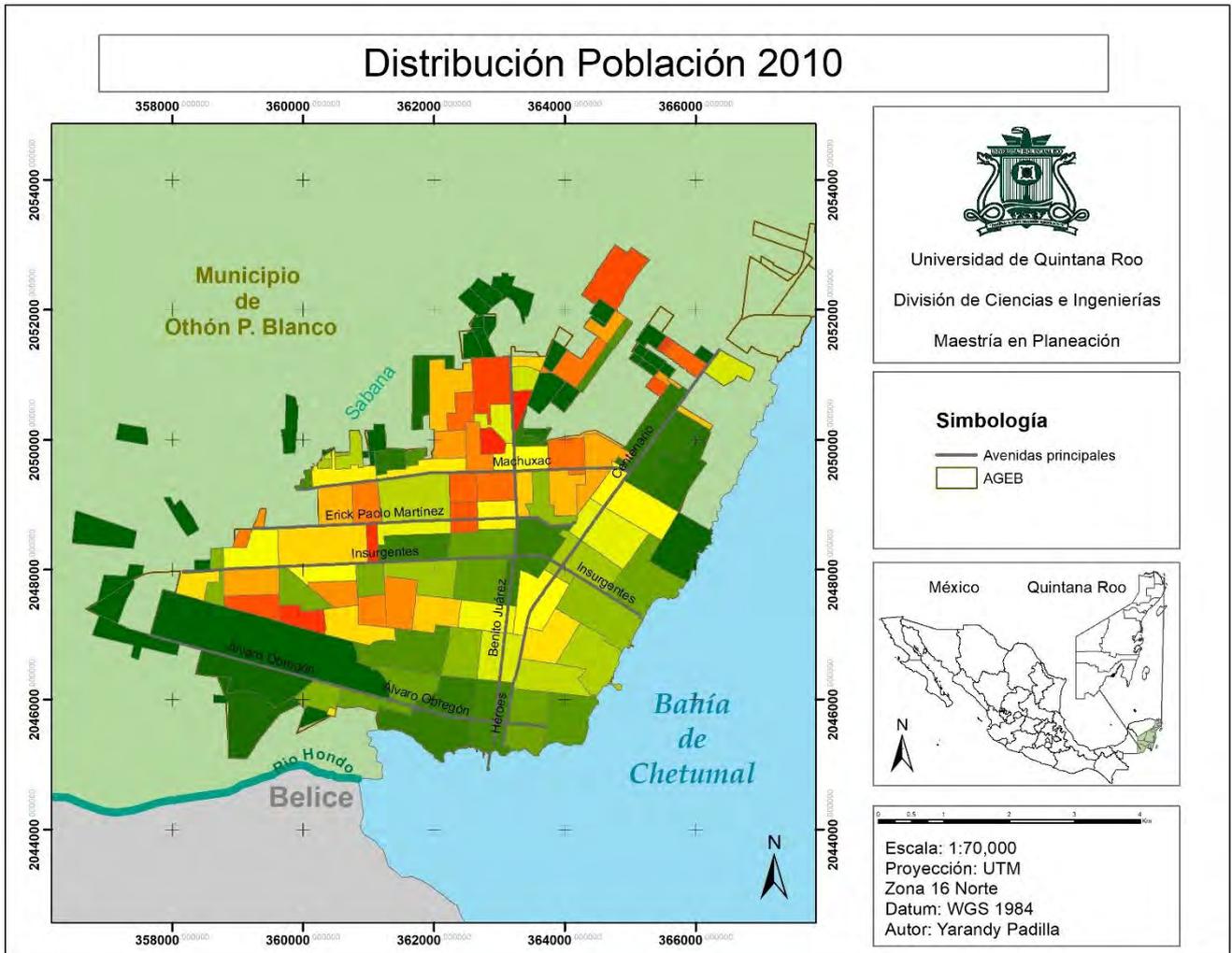
Mapa 8. Distribución de las áreas verdes de Chetumal.

3.2.7 Demografía

Conforme los datos del 2014 de población del INEGI, Chetumal tienen una población total de 161,389 habitantes de los cuales 72,888 son hombres y 76,672 son mujeres. La distribución de habitantes de manera espacial se observa en el mapa 9 donde se puede distinguir en las áreas de color verde las zonas donde menos concentración de la población existe, yendo a los colores rojos que indican mayor población.

Existen zonas sin datos aún, pero la tendencia de la mayor acumulación de población avanza hacia el norte de la ciudad, donde el sistema de vivienda se da a través de fraccionamientos caracterizados por eficientar el espacio para maximizar la ocupación, contrastando con la construcción antigua de Chetumal en donde los terrenos son

amplios y al interior todavía conservan cierta vegetación.



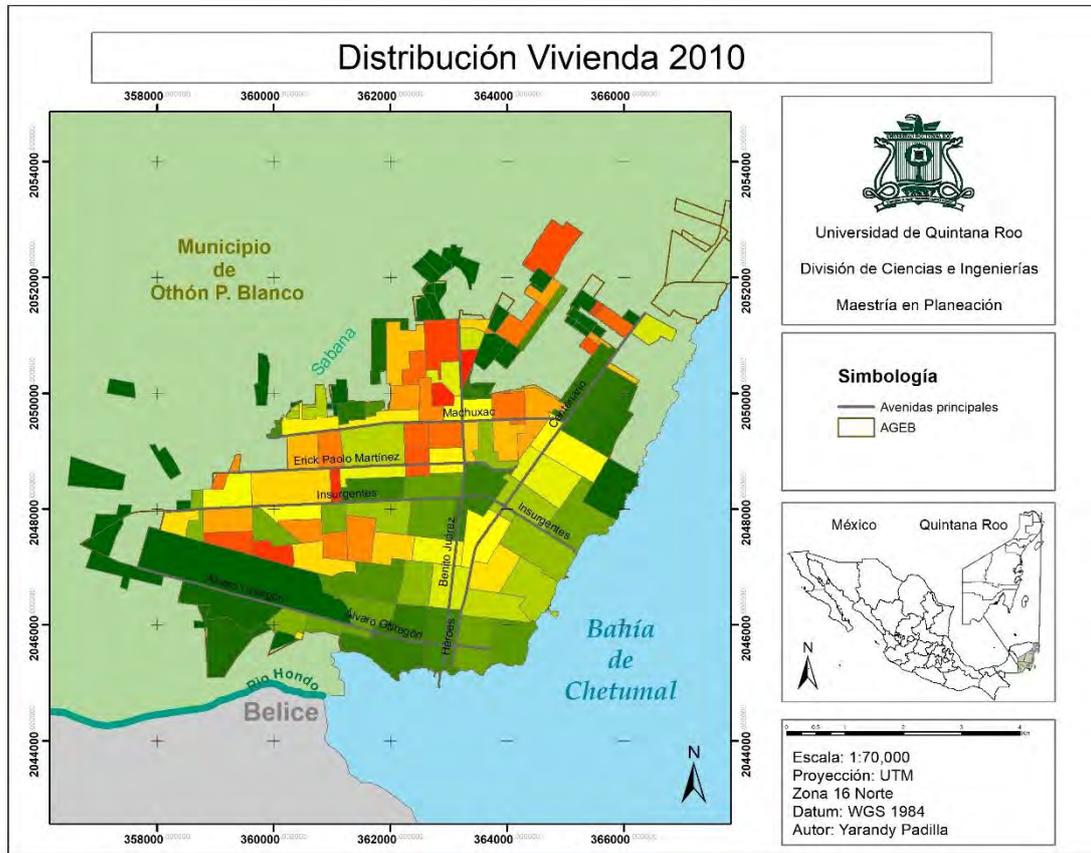
Mapa 9. Distribución de la población total de Chetumal.

3.2.8 Vivienda

Reforzando el punto anterior, en el mapa 10 se observa la densidad de viviendas en la ciudad. El patrón de densidad es similar al de población; la mayor concentración de viviendas se da hacia la parte norte y noroeste de la ciudad. Cabe señalar, que la ocupación de vivienda y las áreas verdes tienen una relación, pues en áreas de poca concentración de vivienda aún se observan áreas verdes.

Esta predominación de elementos artificiales sobre el territorio juega un papel importante en la modificación del clima local, como se explicó en el capítulo 1. Razón

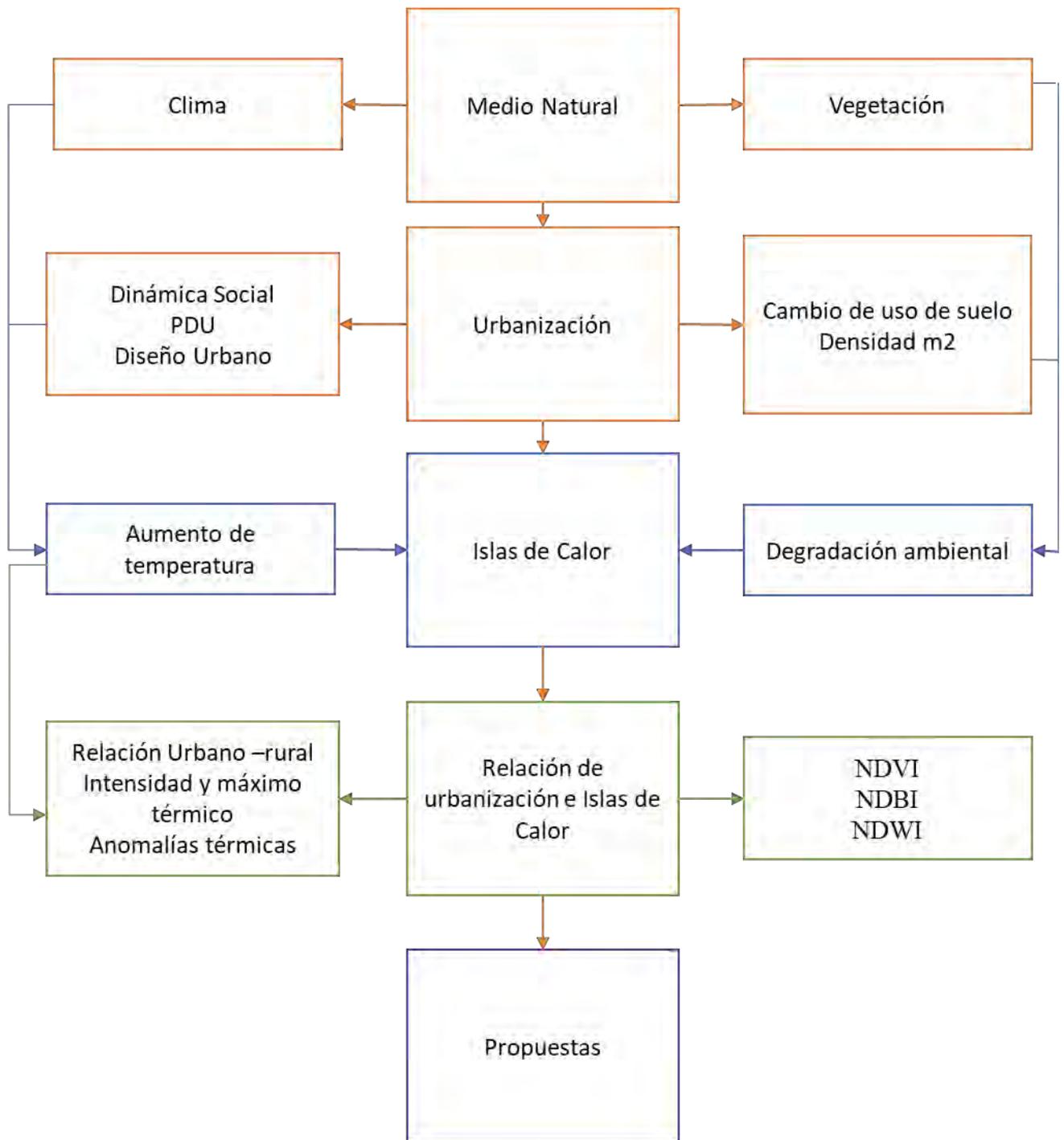
por la cual como señala Romero (2010) el entramado de microclimas diferenciados está vinculado con la composición socioeconómica de los barrios que integran la ciudad y de esas condiciones se derivan los elementos de construcción que los conforman.



Mapa 10. Distribución de la densidad de vivienda

3.3 Materiales y métodos

Esquema del modelo metodológico de la investigación



El estudio del clima urbano y en específico de las consecuencias de este como son las ICUs se tiene que realizar a través del análisis de los múltiples componentes que intervienen en la aparición del fenómeno. El modelo metodológico recaba las principales características tomadas en cuenta en la aparición del fenómeno, y la forma en la que se articulan para poder determinar una propuesta ante las ICUs

En el nivel superior se ubica el medio natural; este es el primer determinante de las

condiciones climáticas urbanas. Por ubicación geográfica es necesario comprender cuales son los comportamientos climáticos de las regiones para poder establecer los periodos de estudio, de igual forma la vegetación tiene un papel fundamental, ya que su presencia y/o ausencia pueden cambiar localmente las condiciones higrotérmicas.

Generalmente las condiciones del medio natural se ven afectadas y modificadas por los impactos de la urbanización. Este segundo nivel que engloba la urbanización, hace referencia a la evolución de la ciudad, desde el cambio de uso de suelo a través del tiempo y su cambio en la densificación, así como la dinámica urbana va cambiando las ciudades, dando como resultado un diseño urbano que corresponde a las necesidades sociales, sin embargo, los Planes de Desarrollo Urbano tienen un papel fundamental para el crecimiento urbano, teniendo como objetivo el desarrollo ordenado y adecuado a las necesidades sociales y aptitudes del medio.

El análisis de estos elementos anteriores del medio natural como de la urbanización deberían generar un antecedente climático, con ello definiendo el clima urbano local y el comportamiento temporal y espacial del mismo. Resultado de ello se pueden comprender los fenómenos climáticos urbanos. Generalmente la modificación de las condiciones naturales por consecuencia de la urbanización resulta en el aumento de la temperatura, dando lugar a las ICUs como se observa en el tercer nivel.

La relación entre los tres niveles previos se desarrolla en el cuarto. Teniendo como base el medio natural y su modificación temporal, así como los elementos que conforma la ciudad. Con esto se puede describir el comportamiento de la ICUs, en donde se establece la relación urbano – rural, la intensidad y máximos térmicos, así como las anomalías térmicas, esta información se necesita comparar con índices de vegetación, construcción y humedad, para definir los principales factores que intervienen en la aparición de ICUs. Con estos resultados de factores, y comportamientos de ICUs se debe llegar al quinto nivel que es la elaboración de una propuesta que reduzca los efectos del fenómeno, a través de la implementación de estrategias optimas a la problemática.

Enfoque de la investigación

El enfoque utilizado para este trabajo es el enfoque mixto, ya que se necesita una

relación entre los datos cualitativos y cuantitativos para hacer una correcta representación y entendimiento del tema, una conjugación de las mejores características de cada enfoque para determinar la mejor vía de entendimiento.

Las características del estudio serán las siguientes:

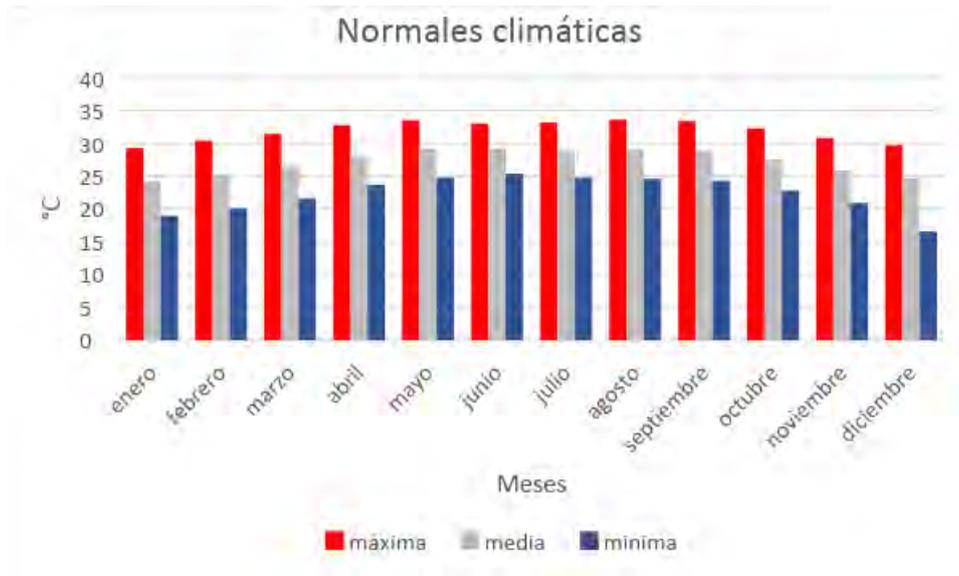
- Mide fenómenos: se estudia la dinámica espacio temporal de la distribución térmica, así como el comportamiento de la vegetación, humedad y sistema edilicio.
- Utiliza estadísticas: para la determinación de la relación de la distribución térmica con los índices que condicionan su comportamiento.
- Análisis Causa-efecto: Se entiende el proceso de microclimas y se determinan las causas y la manera en la cual contribuyen al favorecimiento en la ciudad.
- Se conduce básicamente en ambientes naturales: La zona de estudio se determina tanto en las zonas donde el ambiente ha sido modificado por la urbanización, así como la identificación de las condiciones en un ambiente que no ha sido impactado.
- Los significados se extraen de los datos: El aporte se realiza del análisis de los datos obtenidos en los diferentes ejercicios, con lo cual permite hacer modelos para la explicación del fenómeno y su comportamiento en la ciudad.

3.3.1 Selección de datos

La presente investigación partió de la comparación entre 3 diferentes imágenes satelitales que representan meses del año donde hay cambios extremos, considerándose enero, mayo y julio. La selección de estos meses fue en función del comportamiento de la temperatura anual del periodo 1981 -2010, por lo que se trabajó con el mes de menor temperatura, mayor temperatura y un mes en el que representa cambio en las condiciones climáticas, siendo julio, mismo que pertenece a la temporada canicular y que tiene mayor presencia de precipitación en comparación de los meses a analizar (gráfica 1).

En el caso de la selección de julio fue dada por la calidad de la imagen satelital

disponible; lo óptimo sería analizar agosto debido a que es el mes que presenta anualmente la temperatura máxima registrada, pero el recurso disponible no cumplía con los estándares para el procesamiento, como es la nubosidad sobre la ciudad. Cabe aclarar que las escenas correspondientes a los meses de mayo y julio también presentaban nubosidad, no obstante, estas imágenes se recortaron y se ajustó un área en la cual no interfiera en el procesamiento.



Gráfica 1. Distribución de normales mensuales climáticas del periodo 1981 – 2010

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

3.3.2 Selección de imágenes

Las imágenes satelitales utilizadas fueron tomadas por el satélite con sensor infrarrojo térmico Landsat 8 que posee los instrumentos OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Sensor infrarrojo térmico) y descargadas a través de la USGS science for a changing world (<https://lta.cr.usgs.gov/L8>). El satélite recopila imágenes de la Tierra con un ciclo de repetición de 16 días, con un tamaño aproximado de la escena de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste y dependiendo de la banda la resolución puede tener 100 metros o en el caso de las bandas térmicas 30 metros.

Los productos de Landsat 8, colección 1, describen en sus metadatos la información proporcionada para cada escena (United States Geological Survey., 2018).

LXSS_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_TX

- L= Landsat
- X = Sensor (“C” = OLI/TIRS combinado, “O” = OLI, “T” = TIRS, “E” = ETM+, “T” = TM, “M” = MSS)
- SS = Satélite (“07” = Landsat 7, “08” = Landsat 8)
- LLLL= Nivel de procesamiento de corrección (L1TP / L1GT / L1GS)
- PPP = WRS path
- RRR = WRS row
- YYYYMMDD= Año de adquisición (YYYY)/ Mes (MM)/ Día (DD)
- Yyyymmdd = Año de procesamiento (yyyy-9 / Mes (mm)/ Día (dd)
- CC =Número de colección
- TX= Categoría de colección (“RT” Tiempo real, “T1” Tier 1, T2” = Tier 2)

El nivel de procesamiento (Kautz, 2018) se refiere a:

- L1TP: Calibrados radiométricamente y ortorectificado utilizando puntos de control en tierra y modelo digital de elevación (DEM), estos datos información sirve para corregir las imágenes satelitales por el desplazamiento del relieve. Estos son los productos de nivel 1 de más alta calidad adecuados para el análisis de series de tiempo a nivel de píxel.
- L1GT: Calibrados radiométricamente y con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas utilizando los datos de efemérides de la nave espacial y los datos del DEM para corregir el desplazamiento de relieve.
- L1GS: Calibrados radiométricamente y con solo correcciones geométricas sistemáticas aplicadas usando los datos de efemérides de la nave espacial.

En cuanto a la categoría de colección (nivel)

- Nivel 1 (T1) contiene los datos de mejor calidad del terreno con precisión de nivel 1 (L1TP) que se consideran adecuados para el análisis de series de

tiempo. El georegistro es consistente y dentro de las tolerancias prescritas [$<12\text{m}$ error cuadrático medio (RMSE)].

- Nivel 2 (T2): contiene escenas L1TP que no cumplen con los criterios del Nivel 1 y todas las escenas de Terreno Sistemático (L1GT) y Sistemática (L1GS).
- Tiempo real (RT) contiene escenas Landsat 8 recién adquiridas, que requieren un período de evaluación y ajuste de calibración después de la adquisición, pero se procesan inmediatamente en función de los coeficientes de calibración preliminares, se asigna al nivel RT temporal y se ponen a disposición para su descarga. Cuando la información de calibración definitiva está disponible, estas escenas se reprocesan, se asignan a la categoría apropiada de nivel (T1 o T2) y se eliminan del Nivel RT.

Las imágenes satelitales que se utilizaron corresponden al 09 de enero, 17 de mayo y 20 de julio de 2018 y tienen las siguientes características.

- **Imagen 1:** 09 enero 2018, hora de colección, 16:16.
LC08_L1TP_019047_20180109_20180119_01_T1
- **Imagen 2:** 17 de mayo 2018 hora de colección 16:16
LC08_L1TP_019047_20180517_20180604_01_T1
- **Imagen 3:** 20 de julio 2018 hora de colección 16:15
LC08_L1TP_019047_20180720_20180731_01_T1

3.3.3 Procesamiento de las imágenes

El procesamiento de las imágenes para la obtención de la temperatura se realizó siguiendo la metodología descrita por Avdan y Jovanovska (2016), en el diagrama 4 se puede observar los pasos a seguir el software. Utilizado para los procedimientos fue ArcMap versión 10.3.

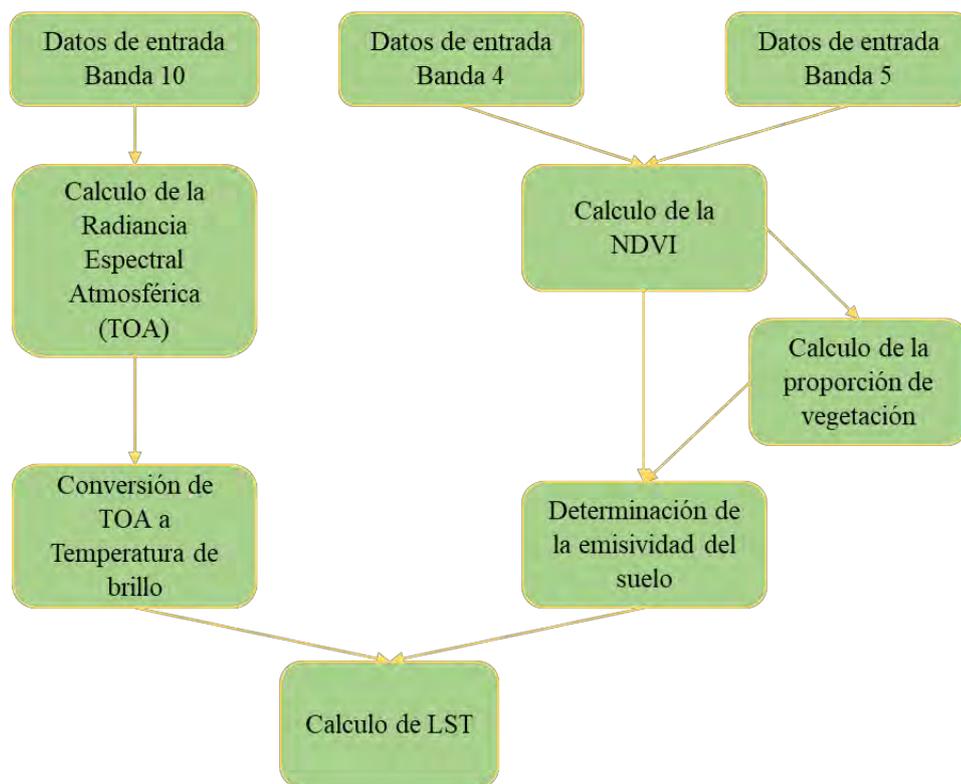


Diagrama 4. Metodología para obtener la temperatura superficial

Fuente: Avdan y Jovanovska (2016)

- Conversión a radiancia en el techo de la atmósfera (TOA)

Las imágenes satelitales necesitan una adecuada corrección para que los cambios detectados sólo sean atribuidos a verdaderas modificaciones del paisaje. Se supone que las imágenes capturadas por los satélites con el mismo sensor deberían tener los valores iguales de intensidad, eso en la realidad no es así, eso se debe a las

variaciones en las condiciones de la atmósfera y de iluminación por lo que se necesita una corrección radiométrica de las escenas (Ambrosio, González, y Arévalo, 2002).

El cálculo de la radiancia se hace a través de la siguiente fórmula

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Donde:

ML representa el factor de reescalado multiplicativo específico de la banda.

Q_{cal} es la imagen de la Banda 10.

AL es el factor de reescalado aditivo específico de la banda.

- Conversión de la temperatura del brillo (BT)

Posteriormente se realizó una conversión de resplandor a temperatura del sensor en el sensor. Para ello, los datos de la banda TIRS se convirtieron de radiación espectral a la temperatura de brillo (BT). La siguiente ecuación se utilizó para convertir la reflectancia a BT:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15$$

Donde

K_1 y K_2 representan las constantes de conversión térmica específicas de la banda de los metadatos. Para obtener los resultados en grados Celsius, la temperatura radiante resultado se resta con el valor del cero absoluto (-273.15 °C).

- Cálculo de NDVI

La finalidad de calcular el NDVI es conocer la cantidad de vegetación presente ya que es un factor importante, puesto que se puede usar para inferir las condiciones generales de

la vegetación. Para calcular el NDVI, se usaron las bandas Roja y de infrarrojo cercano, el cálculo del NDVI fue necesario para determinar la proporción de la vegetación (PV) y la emisividad (ϵ)

La fórmula para su cálculo es:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R}$$

Donde:

NIR representa la banda del infrarrojo cercano (Banda 5).

R representa la banda roja (Banda 4).

- Cálculo de la proporción de vegetación (PV)

Una vez conocido el NDVI, es necesario calcular la proporción de vegetación (PV), la cual se calculó de la siguiente manera.

$$PV = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI mín}}{\text{NDVI máx} - \text{NDVI mín}} \right)^2$$

Donde:

- NDVI es la capa resultado del proceso anterior
- NDVI mín. es el valor mínimo resultado del índice
- NDVI máx. es el valor máximo resultado del índice

- Emisividad

Con los datos anteriores se calculó la emisividad de la superficie terrestre (LSE) ya que es el elemento primordial para calcular la temperatura superficial terrestre (LST). Los cálculos se realizaron considerando la ley de Planck para predecir la radiación emitida y la eficiencia de transmisión de energía térmica a través de la superficie en la atmósfera a través de la siguiente fórmula:

$$\epsilon\lambda = \epsilon V\lambda PV + \epsilon S\lambda (1 - PV) + C\lambda,$$

Donde:

ϵ_V y ϵ_S son la vegetación y las emisividades del suelo, respectivamente. C representa la rugosidad de la superficie ($C = 0$ para superficies homogéneas y planas) toma como un valor constante de 0.005. La condición se puede representar con la siguiente fórmula

$$\epsilon_{\lambda} = \begin{cases} \epsilon_S \lambda & \text{NDVI} < \text{NDVI}_S \\ \epsilon_V \lambda P_V + \epsilon_S \lambda (1 - P_V) + C & \text{NDVI}_S \leq \text{NDVI} \leq \text{NDVI}_V \\ \epsilon_S \lambda + C & \text{NDVI} > \text{NDVI}_V \end{cases}$$

- Cuando el NDVI es menor que 0, se clasifica como agua y se asigna el valor de emisividad de 0.991.
- Para valores de NDVI entre 0 y 0.2, se considera que la tierra está cubierta con suelo y se asigna el valor de emisividad de 0.996.
- Los valores entre 0.2 y 0.5 se consideran mezclas de suelo y cobertura vegetal y se aplica para recuperar la emisividad.
- Cuando el valor NDVI es mayor que 0.5, se considera que está cubierto con vegetación y se asigna el valor de 0.973.

- Temperatura Superficial

Finalmente se realizó el cálculo de la LST o temperatura de la superficie del terreno por medio de la fórmula siguiente:

$$T_s = \frac{BT}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda BT}{\rho}\right) \ln \epsilon_{\lambda}\right]\right\}}$$

Donde:

T_s es la LST en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

BT está el resultado de la Temperatura del Brillo

λ es la longitud de onda de la radiancia emitida (para la cual se utilizará la respuesta de pico y el promedio de la longitud de onda límite ($\lambda = 10.895$)).

$\varepsilon\lambda$ es la emisividad calculada.

Y ρ se calculó con la fórmula siguiente:

$$\rho = hc / \sigma = 1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$$

Donde:

σ es la constante de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$).

H es la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$).

c es la velocidad de la luz ($2.998 \times 10^8 \text{ m / s}$).

3.3.4 Características de las islas de calor

- Relación urbano - rural

La comparación de la ciudad con su periferia es importante, de esta manera se puede comprender en su totalidad cuáles son los elementos que intervienen en el comportamiento de la temperatura. El motivo de la comparación es identificar las diferencias, las similitudes y los elementos que los hacen variar de temperaturas entre ellos. De esta manera, las áreas a considerar son la ciudad de Chetumal como el núcleo urbano y la localidad de Calderitas como su periferia. Sí bien, ambas áreas de comparación se localizan de manera cerca una de la otra, las diferencias en su composición física son las importantes a resaltar, por ende, es de suponer que las diferencias en temperaturas se harán notar.

El proceso llevado a cabo fue la extracción de los polígonos de Chetumal y Calderitas de las imágenes satelitales procesadas, que tienen como resultado la distribución de la temperatura para obtener los máximos, mínimos y promedios de cada una y determinar las variaciones temporales de estas. También se relacionó con el comportamiento térmico

de la periferia para observar el efecto de la vegetación y de los cuerpos de agua.

- Intensidades y máximos térmicos

Se vectorizó la información de la temperatura superficial para poder manejarla de mejor forma y poder obtener las intensidades; estas únicamente se extrajeron mediante una resta simple. Como datos se utilizaron las temperaturas mínimas urbanas y se restaron las demás temperaturas de forma que se obtuvieron intensidades en escala de -2°C hasta 7°C en algunos casos. Para la realización del mapa se categorizaron en rangos de 2 grados para observar de mejor forma la distribución en las intensidades mayores. El máximo térmico corresponde a aquellas áreas en las cuales se aloja la mayor temperatura.

- Anomalías térmicas

Las anomalías térmicas se realizaron con los siguientes pasos y la información utilizada fue del polígono de estudio extrayendo la bahía de la capa ráster para evitar sesgo en los datos (los datos de la media y desviación están en la sección de estadística en la información de cada capa).

- Se creó un ráster constante de la temperatura media y otro de la desviación estándar.
- Se extrajo el polígono ajustado al área de estudio
- Se utilizó la calculadora ráster para hacer la siguiente operación.

$$\frac{\bar{x} - \text{raster}}{\sigma}$$

Donde:

\bar{x} Es la temperatura promedio

σ Es la desviación estándar

El resultado de esto es la determinación de áreas las cuales tienen más de una desviación estándar tanto negativa como positiva; de forma que las que tienen desviaciones estándar negativas pertenecen a las áreas que representan mayores temperatura y probabilidades para convertirse en una isla de calor, o aquellas que tienen

mayores acumulaciones térmicas por encima de un promedio.

Las desviaciones positivas representan las áreas en las cuales la temperatura es menor, áreas que permiten su estudio para determinar las características particulares de esas zonas que puedan llevarse a las anomalías térmicas negativas para contrarrestar los efectos.

- Índices NDWI y NDBI

A demás del índice de NDVI que mide la calidad y cantidad de la vegetación se utilizaron el índice de agua NDWI que representa la humedad y el índice de paisaje NDBI que simboliza la parte edificada de la ciudad. Para su cálculo se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR} \quad \frac{Banda\ 6 - Banda\ 5}{Banda\ 6 + Banda\ 5}$$

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \quad \frac{Banda\ 5 - Banda\ 6}{Banda\ 5 + Banda\ 6}$$

Donde

- La banda 5 es Infrarrojo cercano con longitud de onda de 0.85 – 0.88 micrómetros
- La banda 6 es SWIR 1 con longitud de onda de 1.57 – 1.65 micrómetros Ambas con una resolución de 30 metros.
- Relación temperatura – índices

La temperatura se comparó con los índices, para ello se extrajo las estadísticas de los índices anteriores y la temperatura utilizando como unidad mínima de análisis las AGEBS, la herramienta zonal statics proporcionada por el software Arcmap. Posteriormente se categorizaron los datos de cada uno de los índices con Natural breaks (cortes naturales), se utilizó este método de clasificación de datos debido a que se basa en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Agrupando de mejor manera los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos donde hay diferencias considerables entre los valores de los datos. (“Métodos de clasificación de datos—

ArcGIS Pro | ArcGIS Desktop”, s/f)

Por último, se realizó con el promedio de las AGEBS de los índices y de la temperatura el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre las distintas variables, y encontrar el mayor factor determinante en la distribución de la temperatura.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Donde \bar{x} y \bar{y} son las medias de muestras promedio.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Islas de calor

Para determinar la presencia de la Isla de Calor Urbana en la ciudad se necesitan evaluar las cinco principales características que definen su aparición; estas se dan en dependencia de las particularidades urbanas como la ubicación, morfología y relación de elementos artificiales y naturales, por lo que tiene una presencia y comportamiento distinto en cada ciudad.

Características por evaluar

- Relación urbano – rural
- Intensidad
- Máximo térmico
- Distribución temporal
- Forma

En este capítulo analizarán cada una de estas características, primero describirán las tres primeras específicamente en los meses seleccionados para el trabajo (enero, mayo, julio), complementando el análisis mensual con las áreas de anomalías térmicas y la relación de la distribución térmica con los índices de vegetación, humedad y paisaje. Finalizando el capítulo con la descripción de la distribución temporal y la forma dominante presente en la ciudad y la discusión de los resultados.

4.2 Enero

Caracterizado por ser el mes con menores temperaturas en Chetumal, según la Información Climatológica por Estado proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional a través de las Normales Climatológica.

Con los datos recabados en el periodo de 1981 – 2010, el mes de enero se caracteriza por tener una temperatura mensual media de 24.2 °C, teniendo una temperatura máxima

normal de 29.3 °C, una temperatura mínima normal de 19°C, su precipitación es de 64.3 mm. Tomando estos parámetros como la base para poder describir el comportamiento térmico en las diferentes características que tiene este mes.

4.2.1 Relación urbano – rural

En la tabla 4 de comparación de temperatura entre el ambiente rural - urbano se puede observar que la diferencia en la temperatura máxima es de 2.3°C siendo más fresca la zona rural, mientras que el ambiente urbano en algunas zonas puede llegar a ser 0.1°C más fresco que lo rural. En promedio el ambiente rural se mantiene 0.9°C más fresco que el urbano, ya que Calderitas tiene 22.7°C temperatura promedio comparado con los 23.5°C de Chetumal.

En cuestiones de distribución espacial en el mapa 11 se puede observar que en Calderitas la distribución del calor es en las zonas con mayor cercanía a Chetumal distribuyéndose en el sur y este del poblado. Por contraparte en Chetumal se tiene una acumulación con cierta homogeneidad en el centro de la ciudad disminuyendo a la periferia, teniendo puntos de mayores acumulaciones en áreas ocupadas por centros comerciales que no cuentan con vegetación.

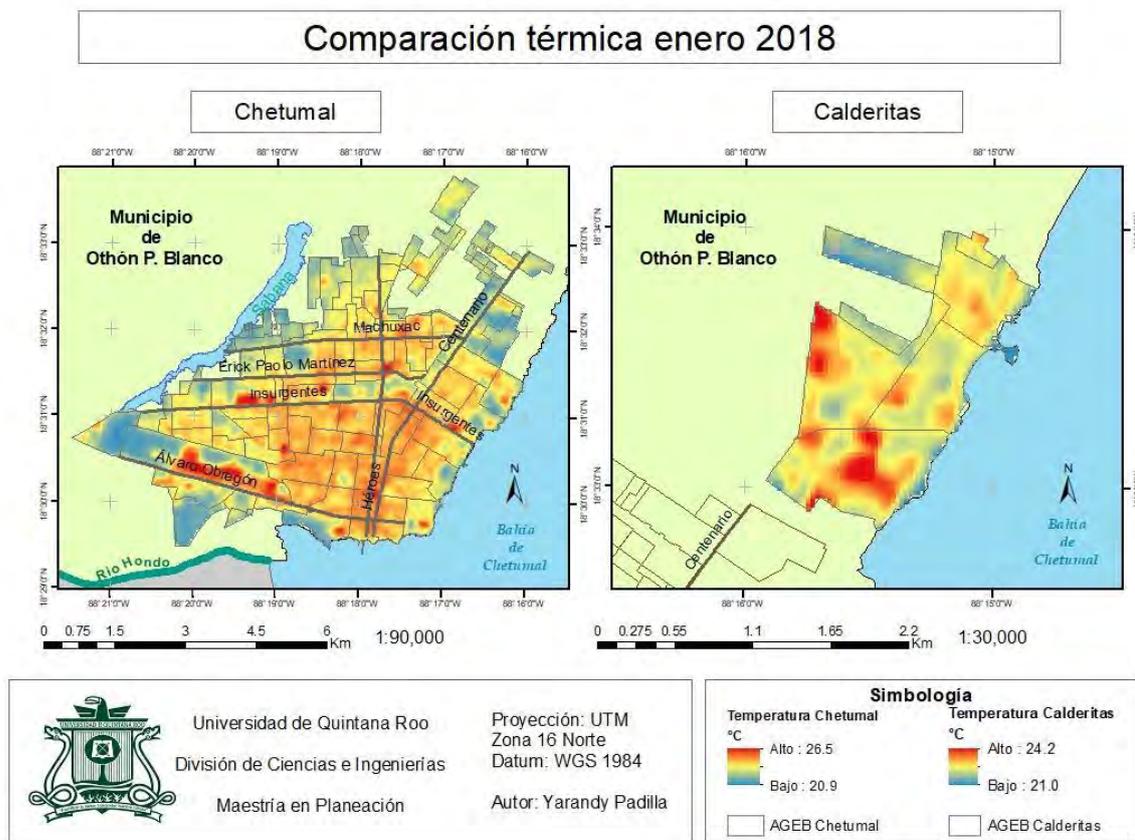
En el Anexo 1 se muestra la distribución térmica con una escala homogénea entre Chetumal y Calderitas, en donde se puede notar que la temperatura dominante en Calderitas es de 22°C almacenando pequeñas áreas con 23°C y 24°C mientras que en Chetumal la temperatura dominante es de 24°C teniendo puntos de temperaturas máximas de 26°C que disminuyen a los 25°C en su continuidad y presentando los puntos de temperatura mínima en las zonas que tienen mayor cobertura vegetal o que están en la cercanía de los cuerpos de agua de la Bahía de Chetumal o “La Sabana”.

Tabla 4. Comparación de temperaturas urbano - rural

Mes	Enero	
Lugar	Chetumal	Calderitas
Temperatura Máxima	26.5	24.2

Diferencia	2.3	
Temperatura mínima	20.9	21
Diferencia	0.1	
Promedio	23.5	22.7
Diferencia	0.9°C	

Fuente: Elaboración propia



Mapa 11. Comparación de la distribución térmica entre Chetumal y Calderitas en el mes de enero 2018

4.2.2 Intensidad y máximo térmico

Tomando como referente la temperatura mínima terrestre de Chetumal (20.9°C) y la máxima (26.5°C), en la distribución de la intensidad se comparó con las zonas circundantes de los límites de las Áreas Geoestadísticas Básicas que presentan vegetación primaria y cuerpos de agua, con los componentes dentro de la ciudad como

se observa en el mapa 12.

Con ello se encontró que los cuerpos de agua tienen una intensidad negativa, debido a que se encuentran a -2 o -1°C debajo de la temperatura mínima urbana. Las zonas con $0 - 1^{\circ}\text{C}$ corresponden a las áreas con vegetación. En Chetumal ubicándose a la periferia de la ciudad con parches al interior y en Calderitas siendo un elemento dominante.

La intensidad dominante de la ciudad oscila entre los $2 - 3^{\circ}\text{C}$ distribuyéndose en las áreas de mayor urbanización ubicadas al interior de la ciudad, en donde la presencia de espacios verdes no es un elemento dominante.

Los parches de $4 - 5^{\circ}\text{C}$ se ubican en áreas en donde domina la cubierta de asfalto, sin cobertura vegetal o reducida a pocos ejemplares, varios de estos puntos presentan sistemas de enfriamientos artificiales los cuales emiten calor al exterior de los edificios.

Las áreas en donde están ubicados parches con mayor extensión corresponden a:

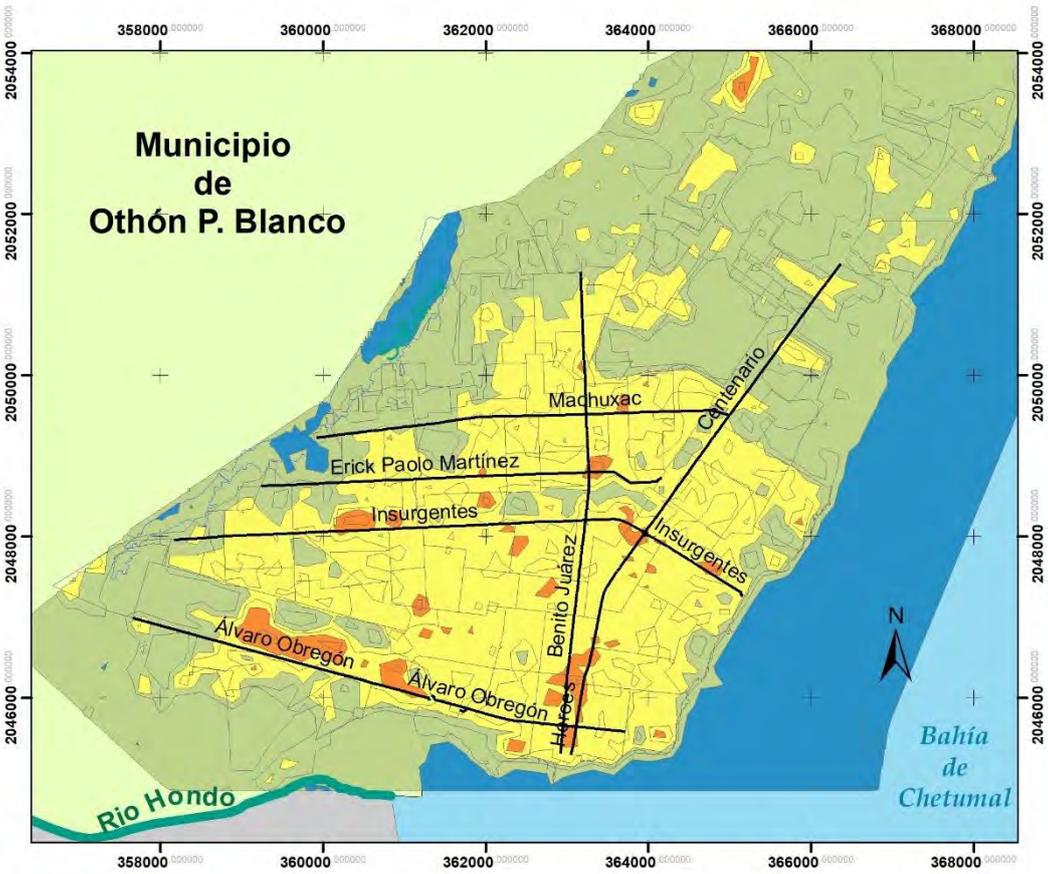
- Aeropuerto
- Plaza Chactemal – Héroe
- Centro comercial Plaza las Américas
- Espacio de Bodega Aurrera – Suburbia
- Campo deportivo – Super Aki
- Centro deportivo del Instituto Tecnológico de Chetumal
- Supermercado Soriana
- Supermercado Wal-Mart
- Área de nueva creación
- Área asignada a los marinos

Las demás áreas con menor cobertura pero que tienen una intensidad dentro de los $4 - 5^{\circ}\text{C}$ corresponden a parques, escuelas, mercados, instituciones gubernamentales y hospitales. Se puede observar que en general, la distribución dominante en los puntos de intensidades de $4 - 5^{\circ}\text{C}$ que presentan un área significativa de ocupación, se encuentran a partir de la Avenida Insurgentes distribuyéndose al sur de la ciudad, aquellos puntos al norte de la misma avenida se encuentran en avenidas principales a excepción del punto en el noreste de la ciudad que no se encuentra dentro de los límites de las AGEB correspondiendo a una zona de nueva creación para asentamientos humanos, lo que hace suponer que las principales características de este punto es la ausencia de

vegetación y la presencia de material para construcción en sus diversas fases de obra.

En el Anexo 4 se puede ver la desagregación grado a grado de la intensidad térmica y la zona correspondiente a los máximos térmicos siendo coherente con el Anexo 1 que muestra la distribución térmica en la ciudad. Las mayores intensidades están ubicadas en los máximos térmicos siendo de 5°C en intensidad y con temperaturas mayores o iguales a 26°C, correspondiendo a los nueve primeros lugares de la lista anterior.

Intensidad térmica enero 2018




Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación

Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984
 Autor: Yarandy Padilla

Simbología

°C

- 2 - -1
- 0 - 1
- 2 - 3
- 4 - 5

Mapa 12. Distribución de las intensidades térmicas de la ciudad en comparación del área rural y la periferia natural.

4.2.3 Anomalías térmicas

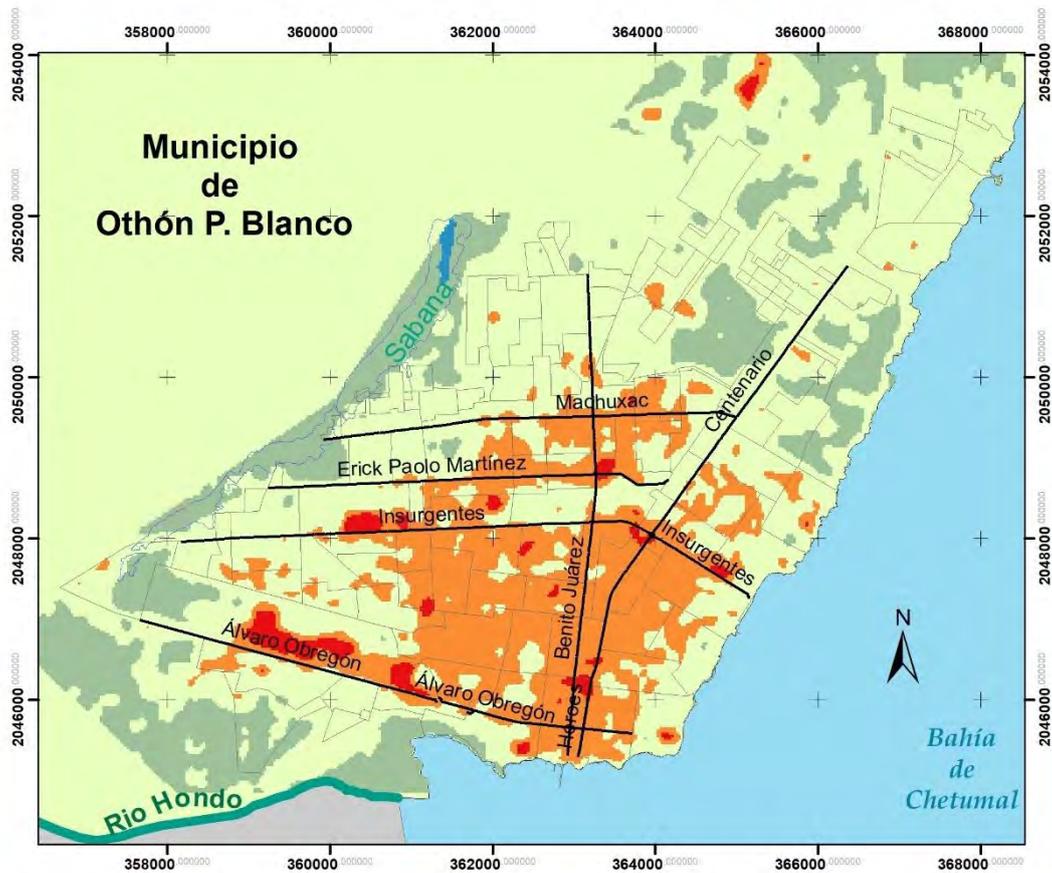
El análisis se realizó con una media de 22.82388132866844 y una desviación estándar de 1.202362102584579. El resultado corresponde al mapa 13, en donde se observa una tendencia negativa, debido a que existen áreas que se encuentran por encima de tres desviaciones estándar; esto representa zonas con mayor probabilidad de convertirse en micro islas de calor urbanas. El área ocupada entre el rango de -2 a -1 tiene una distribución dominante en la ciudad, alojándose especialmente a partir de la Avenida Insurgente al sur de la ciudad y distribuyéndose longitudinalmente sobre las avenidas principales paralelas a la Av. Insurgentes.

Por otro lado, las áreas que albergan menores temperaturas y que presentan 2 desviaciones estándar por encima son correspondientes al cuerpo de agua la sabana, y aquellas que poseen de 1 a 2 corresponden a las áreas verdes dispuestas tanto en la periferia de la ciudad como algunos parches al interior.

Este comportamiento de anomalías térmicas positivas y negativas tiene relación con la distribución de intensidades (mapa 12), debido a que las intensidades entre 2-3°C tienen una extensión muy similar a las anomalías que se encuentran en color naranja, mientras que las intensidades 4 – 5°C a pesar de ubicarse en los mismos lugares que las anomalías de color rojo, la variación entre estos datos es la extensión que ocupa, ya que en las anomalías es menor la superficie donde se distribuye.

Comparando el comportamiento de las anomalías positivas con las intensidades de 0 – 1 °C se ve una reducción significativa, ya que en las intensidades todas las áreas verdes, y zonas urbanas ubicadas en la periferia tienen los valores mínimos de temperatura, e intensidad, encontrando ciertos parches al interior de la ciudad; en contraste con las anomalías positivas que se distribuyen prioritariamente en las áreas donde existen amplias concentraciones de vegetación o humedad, disminuyendo su presencia al interior de la ciudad apareciendo únicamente en puntos con una extensión reducida.

Anomalías térmicas enero 2018



Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías

Maestría en Planeación



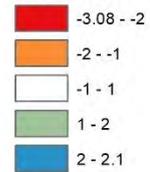
1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984

Autor: Yarandy Padilla

Simbología

Desviaciones Estándar



Mapa 13 Distribución de anomalías térmicas en enero.

4.2.4 Índices

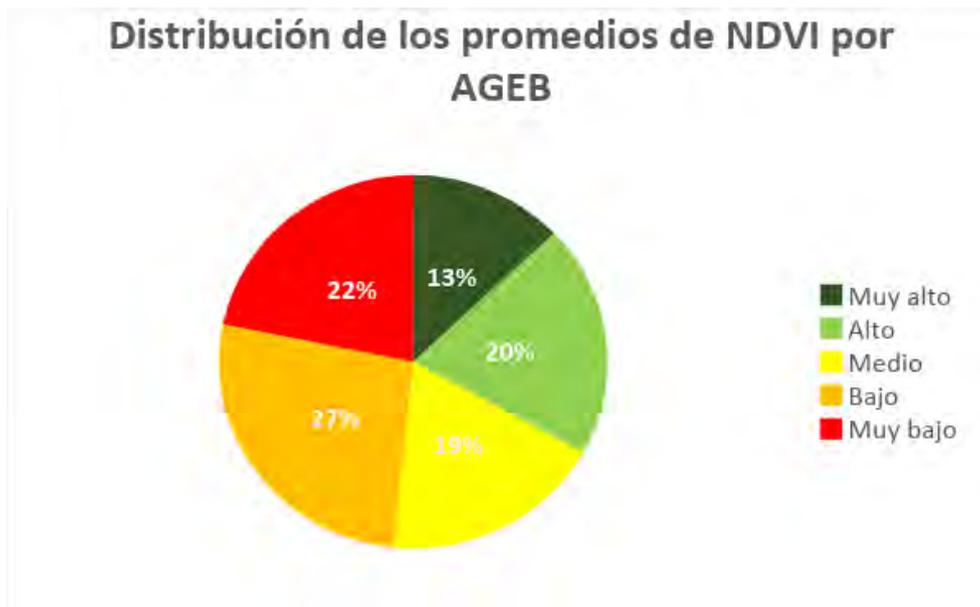
Al estar divididos los valores en 5 rangos, sus clases representadas con el valor menor situándose en la simbología del mapa al valor superior y el valor mayor en la parte inferior del mapa se manejarán los datos bajo la siguiente categoría

- Muy bajo
 - Bajo
 - Medio
 - Alto
 - Muy alto
-
- NDVI

A partir del Anexo 7 se produjo el mapa 14 que refleja el promedio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada de enero utilizando como limitante de análisis las AGEBS. En el resultado del mapa podemos observar que las áreas con NDVI muy bajo que representa una menor cantidad o calidad de vegetación se encuentran distribuidas en conglomerados; el de mayor extensión de AGEBS se dispersa iniciando por el sur de la avenida Insurgentes subiendo hasta la av. Erick Paolo llegando a la av. Machuxac dirigiéndose paralelamente en la av. Constituyentes. En el centro de la ciudad se distribuye entre las avenidas Benito Juárez y Héroes. Hay presencia de otros cúmulos que tienen menor extensión cerca del aeropuerto, y las zonas de unión de la colonia Pacto Obrero Campesino con Villas Oxtankah por la parte posterior.

Las áreas que tienen un mayor índice de NDVI se encuentran a la periferia de la ciudad ocupando extensiones superficiales amplias; dentro de la ciudad se puede observar áreas que tienen un NDVI alto en algunas zonas inclusive quedando en medio de áreas con un índice muy bajo.

La ocupación de las AGEBS por los promedios de NDVI se encuentra en la gráfica 2 en donde de las 124 AGEBS de la zona de estudio, el 13% tienen un NDVI muy alto, el 20% tiene un NDVI alto, el 18% tiene un NDVI medio, predominando en las AGEBS un NDVI bajo con un 27% mientras que el 22% restante tiene un NDVI muy bajo.



Gráfica 2. Ocupación de AGEBs por promedio de NDVI

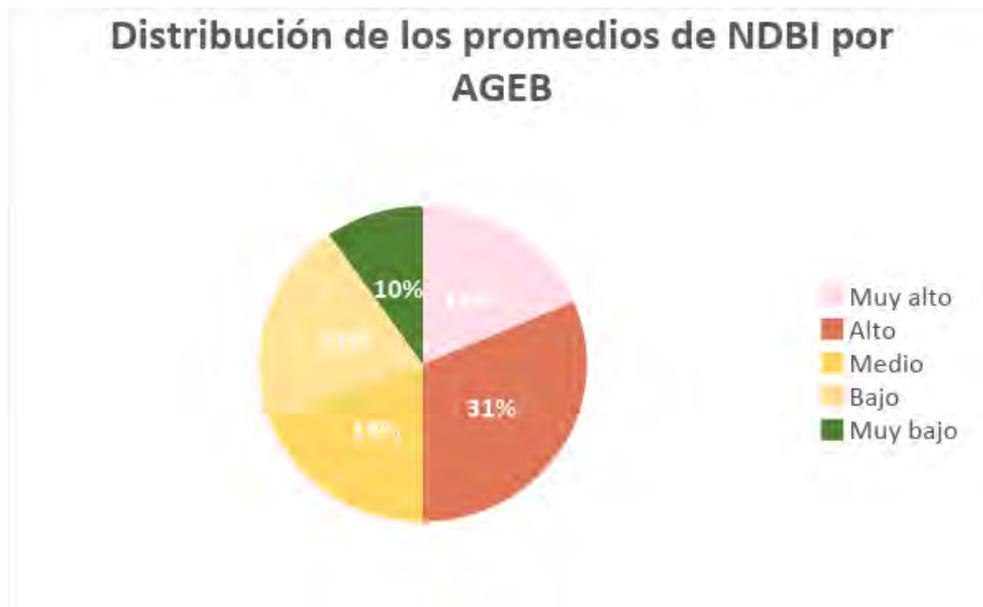
- **NDBI**

El mapa 15 se realizó con base en el Anexo 8, en el mapa resultado se representan las áreas que tienen mayor superficie edificada que las zonas con cobertura vegetal en la superficie. Se observa que las zonas que tienen un índice Muy alto de construcción en su mayoría se encuentran ubicadas en la zona norte de la ciudad, correspondiente con los asentamientos urbanos caracterizados por casas de interés social. Las zonas con un índice Alto de construcción tienen una distribución dominante al sur de la ciudad, dispersándose desde la avenida insurgentes y siguiendo en particular las avenidas Benito Juárez y Héroes, cuya característica en ambas es vegetación en camellones o dispuesta como parte de paisaje vial.

Las zonas con un índice Medio, Bajo y Muy bajo se ubican en decrecimiento a las zonas contiguas con índices Alto y Muy alto de NDVI, encontrando algunas de muy bajo al interior de la ciudad cuya característica particular es la presencia de vegetación y dejando únicamente a la periferia de la ciudad las AGEBs con Muy bajo NDBI.

La distribución de las AGEBs con los promedios de NDBI corresponden a la gráfica 3 donde el 19% de las AGEBs tiene un índice Muy alto lo que representa que la superficie edificada dominante. El 31% corresponde a un NDBI Alto, con lo que se puede observar que el 50% de la ciudad tiene un índice Alto o Muy alto en cuanto a la superficie edificada, caracterizándose estas zonas por avenidas prolongadas, que tienen

vegetación como parte de la imagen urbana y sin espacios verdes o pocos de ellos vegetados. El otro 50% de las AGEBs de la ciudad se tiene un índice Medio 19% Bajo 21% o Muy bajo 10%, áreas en las cuales la vegetación ya se encuentra en dispersa en la superficie y tiene mayores densidades, como es el caso de Calderitas en donde las manzanas se encuentran construidas en su perímetro mientras que al interior mantienen zonas de vegetación.



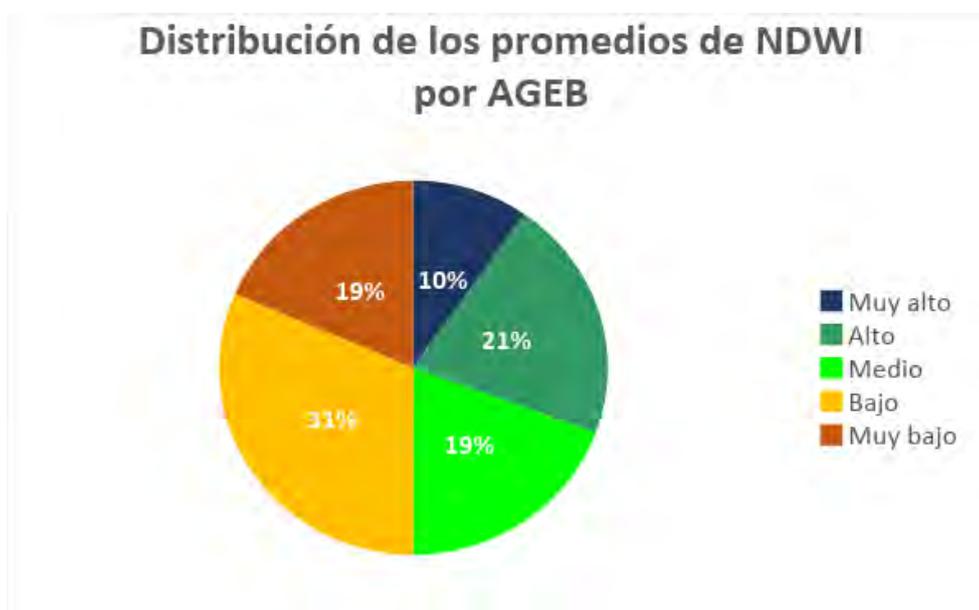
Gráfica 3. Ocupación de AGEBs por promedio de NDVI

- NDWI

Con el Anexo 9 se realizó el mapa 16, en el cual se representa las áreas las áreas de estrés hídrico en la vegetación, así como zonas de saturación de humedad en el suelo o la ausencia de esta. La distribución de las áreas con un índice Muy alto de NDWI se encuentran exclusivamente en las zonas periféricas de la ciudad, mientras que las áreas con un índice Alto se distribuyen tanto a la periferia como al interior, las zonas con un índice medio tienen un comportamiento similar ya que se encuentran tanto al interior como en algunas zonas en las periferias, estas tres clases se distribuyen con dominancia en presencia de las masas vegetales o zonas cercanas a los cuerpos de agua como la Bahía de Chetumal o La Sabana.

Las áreas que están clasificadas con Bajo y Muy Bajo índice se encuentran ubicadas de forma dominante al interior de la ciudad con una tendencia de aglomerado al norte la ciudad en donde hay menores densidades de vegetación y fuentes de agua.

La gráfica 4 señala que el 10% de las AGEBs tienen un índice Muy alto de NDWI, el 21% está clasificado con Alto y el 19% con medio siendo estas tres el 50% de la ciudad, lo que indica que el otro 50% de la ciudad se encuentra en condiciones de un NDWI Bajo 31% o Muy bajo %.

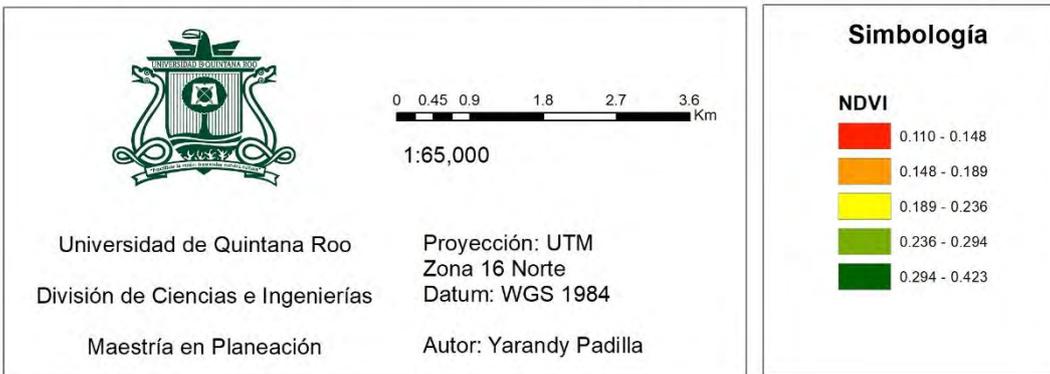
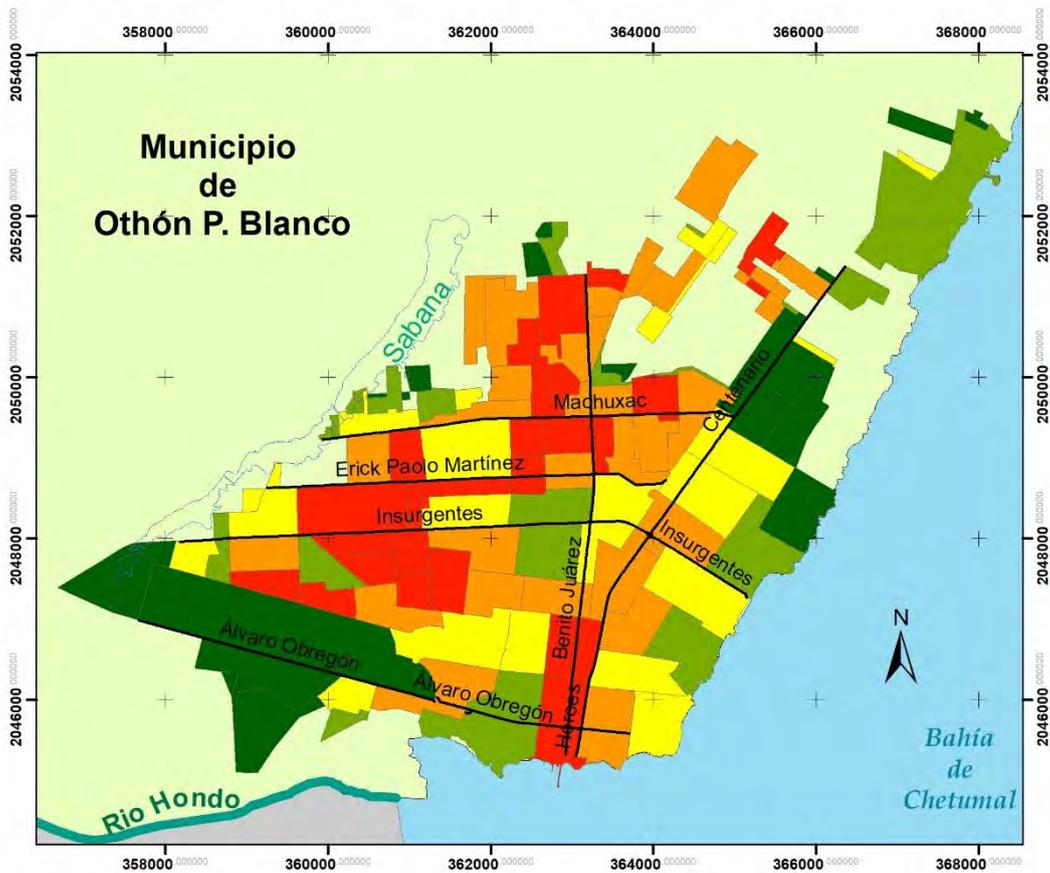


Gráfica 4. Ocupación de AGEBs por promedio de NDWI

En relación, los tres índices tienen un patrón común. Si bien el patrón de distribución de NDWI es inversamente perfecto al NDBI, el NDVI presenta una variación en su distribución. La estrecha relación entre el NDWI y el NDBI es debido a la superficie impermeable presente y dominante en los valores Muy Alto y Alto del NDBI, razón por la cual la cobertura artificial no permite se lleven a cabo los procesos de absorción y retención de agua en el suelo natural para su posterior liberación, ya sea por la evaporación del suelo o por la transpiración vegetal, debido a la presencia escasa de estos dos elementos el resultado del NDVI para las mismas áreas se encuentra entre Muy bajo y bajo.

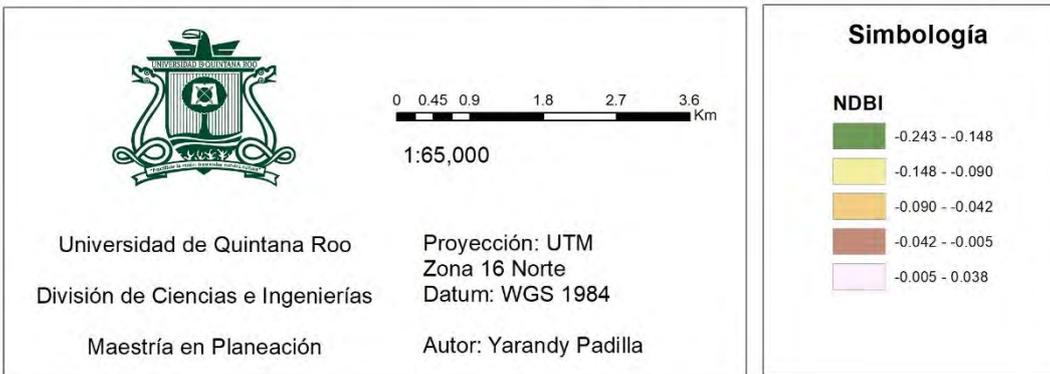
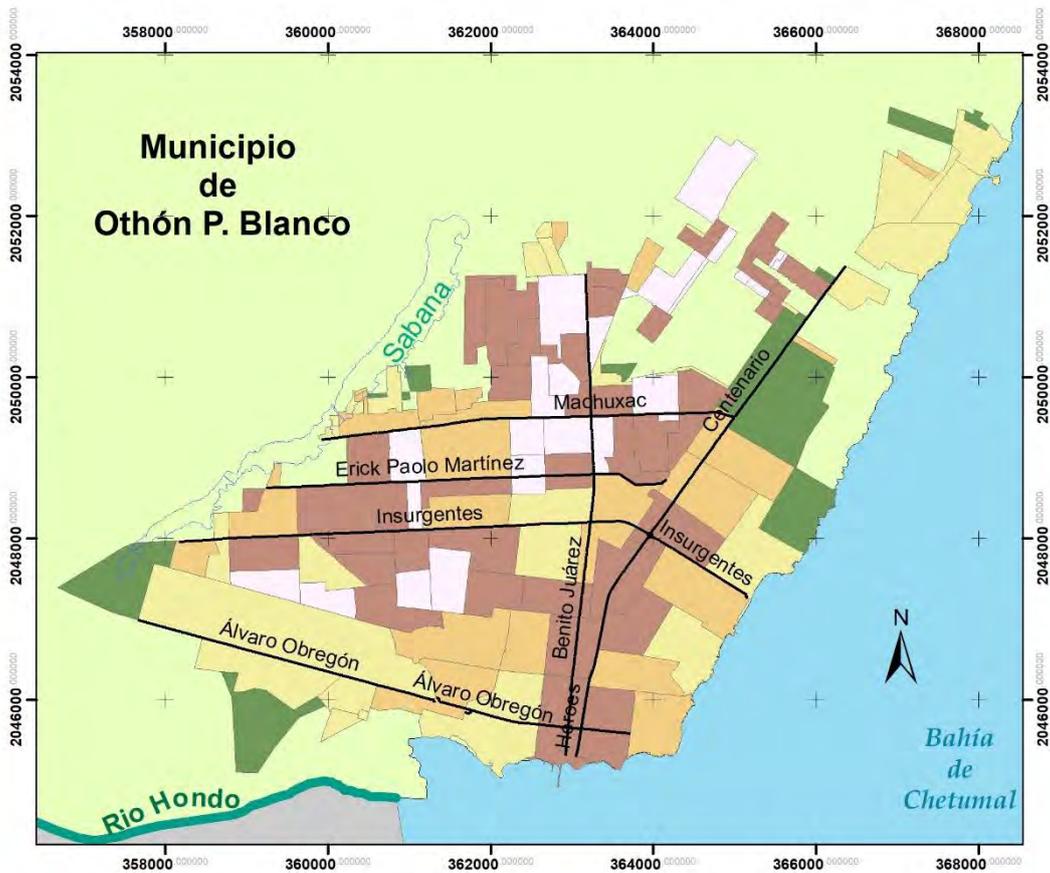
Por otro lado la relación que esto guarda con la distribución del NDVI es razón similar a la distribución del NDWI, los rangos Muy bajo y Bajo de NDVI se ubican en las zonas de NDBI Alto y Muy alto, mientras que en el NDWI en Bajo y Muy bajo, debido a que la vegetación influye en la presencia de la humedad, las zonas con un NDVI Muy alto y Alto se ubican en zonas de NDWI Muy alto y Alto en contraparte del NDBI que son las zonas de Muy bajo y Bajo índice.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada enero 2018



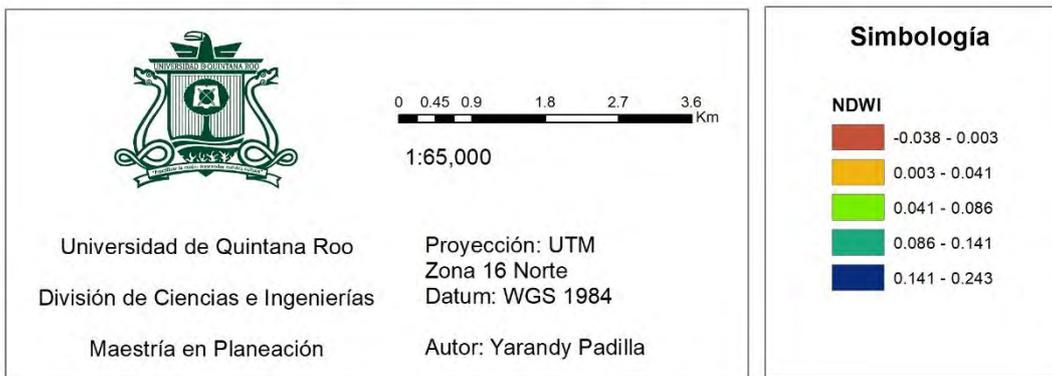
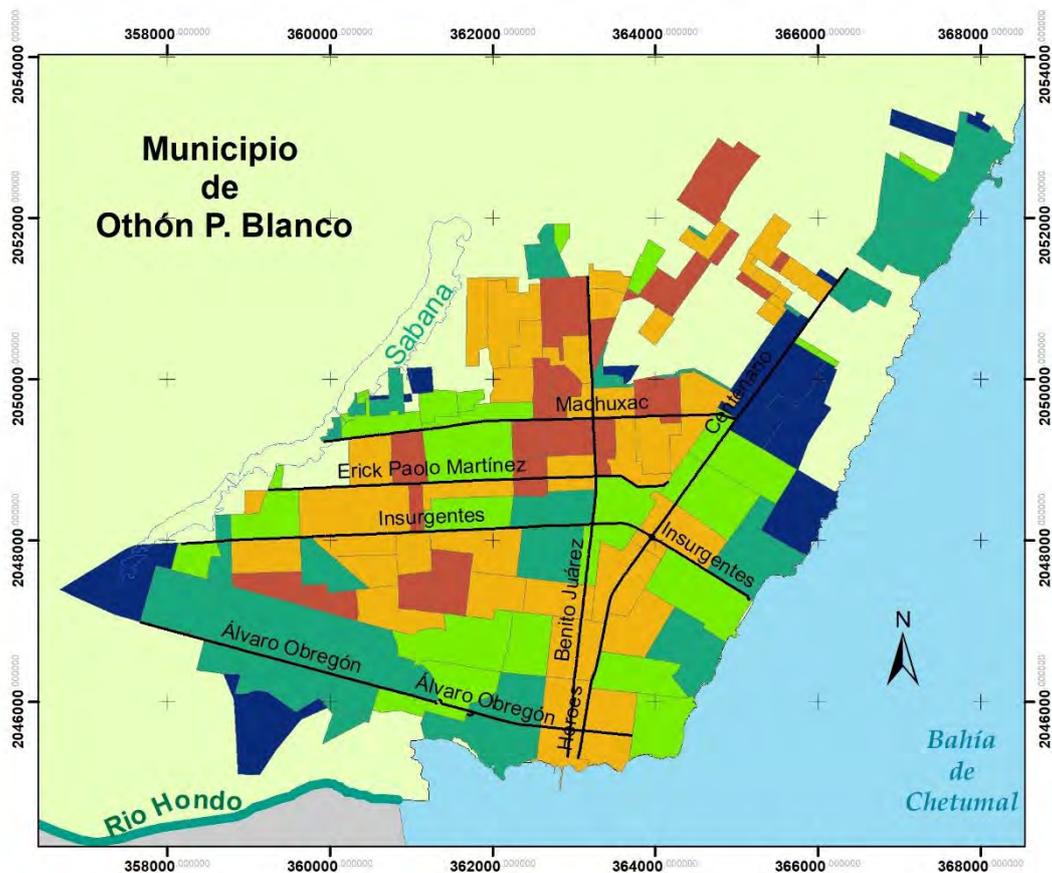
Mapa 14. Distribución de los promedios de NDVI en enero

Índice de Construcción de Diferencia Normalizada enero 2018



Mapa 15. Distribución de los promedios de NDBI en enero

Índice de Agua de Diferencia Normalizada enero 2018



Mapa 16. Distribución de los promedios de NDWI en enero

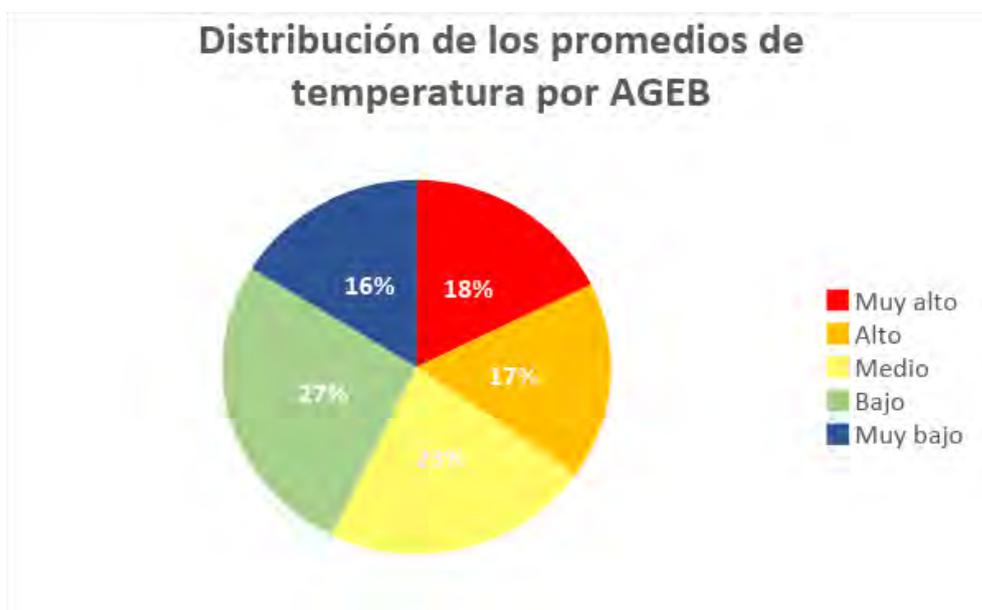
4.2.5 Relación Temperatura – índices

Factores como la vegetación, humedad y edificación juegan un papel importante al

momento de interpretar el comportamiento térmico de un lugar. En el mapa 17 se observa la distribución de la temperatura donde se puede destacar que la mayoría de las áreas con una temperatura Muy alta se encuentran por debajo de la av. Insurgentes habiendo otras por encima de esta avenida, pero dispersándose entre avenidas principales como la Erick Paolo y la Machuxac. Las áreas con una temperatura Alta se encuentran contiguas a las anteriores seguidas por las temperaturas medias, que se encuentran en algunos sitios en la periferia o cercana a la Bahía.

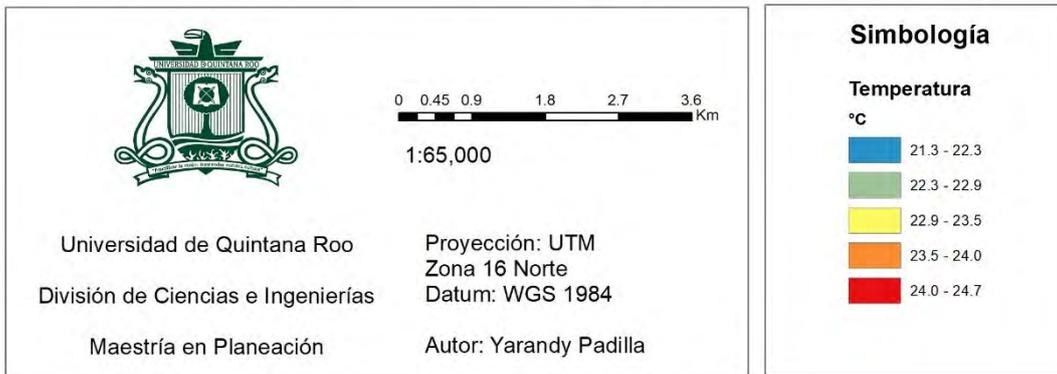
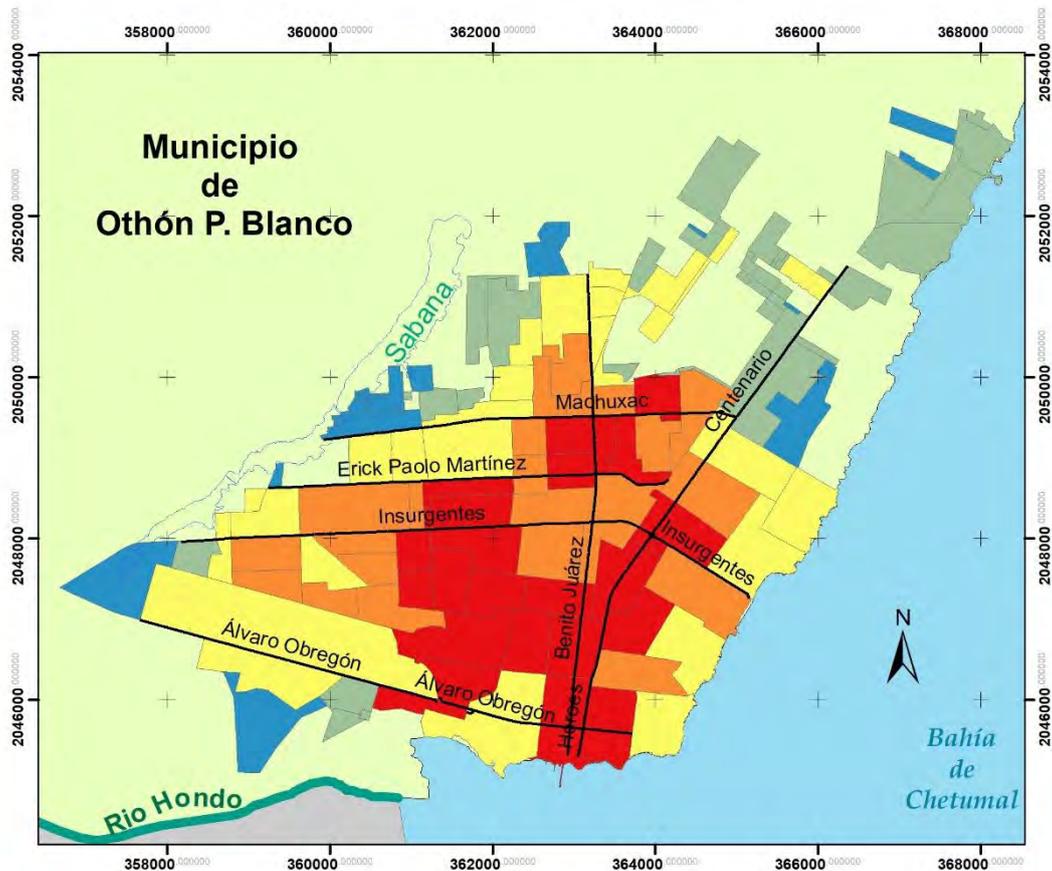
Por otro lado, las temperaturas Bajas y Muy Bajas en promedio se encuentran en la periferia de la ciudad ubicadas en las áreas con mayor densidad vegetal o cercana al cuerpo de agua de La Sabana.

En el gráfico 5 se remarca la distribución de las AGEBs según las proporciones que se tienen en la clasificación de temperaturas. De esta forma se identifica que el 18% de las AGEBs tiene un promedio de temperatura Muy alta, un 17% con temperatura Alta, un 22% con temperatura Media, 27% con temperatura Baja y un 16% con temperatura Muy baja.



Gráfica 5. Ocupación por AGEBs de la distribución térmica

Distribución media térmica enero 2018



Mapa 17. Distribución de la media térmica por AGEB en enero.

Ya que se tiene la distribución del promedio de la temperatura y se ha descrito anteriormente en otro apartado la distribución de los promedios de los diferentes índices se tiene como consecuente la relación entre la temperatura, e índices. En las gráficas siguientes se observa primero la dispersión de los índices con respecto a la temperatura

y posteriormente la relación de las variaciones que tiene el índice comparado con la temperatura en las diferentes AGEBs.

El resultado de la tabla 5 muestra que para el mes de enero la temperatura tiene una correlación negativa de -0.60 con el índice de vegetación, y con el índice de agua de -0.54 mientras que con el índice de edificación tiene una correlación positiva de 0.54. Esto demuestra que la temperatura tiene mayor relación con la vegetación seguido de la humedad y edificación.

En las gráficas de relación de temperatura con los diferentes índices se aprecia que la gráfica 6 la dispersión de los datos de NDVI se ajusta de mejor forma a la línea tendencial

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.

Temperatura / NDVI	Temperatura / NDBI	Temperatura / NDWI
-0.60758457	0.5490096	-0.5490096

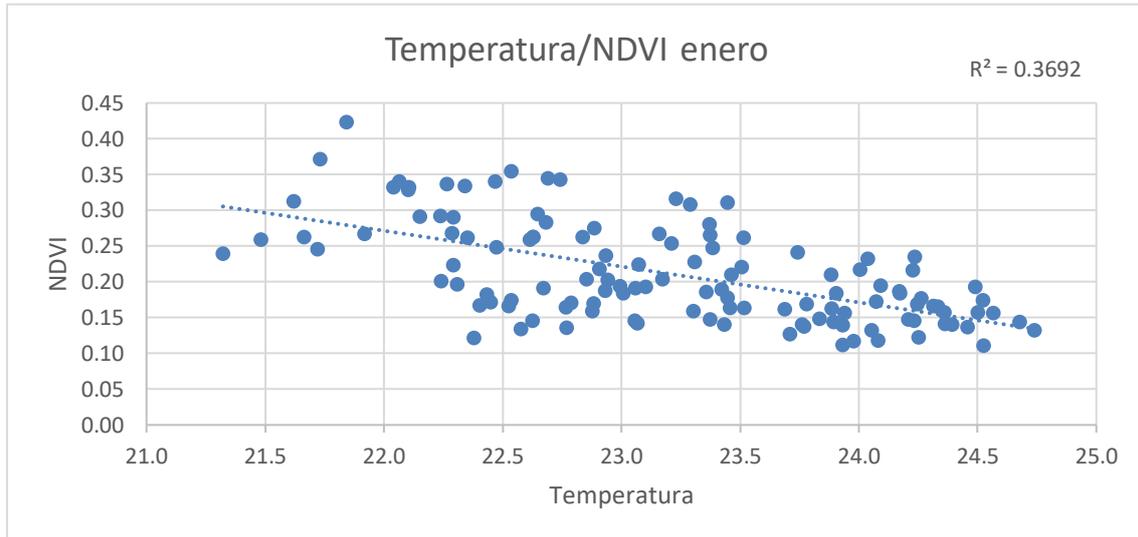
Relacionando la distribución por AGEB en las gráficas, en todos los casos se puede ver la relación que se ha descrito anteriormente con los mapas de los índices, pero ahora relacionado con la variable térmica. En primer lugar, se tiene la comparación de la temperatura contrastando su comportamiento con el de la vegetación, se identifica que en los espacios en donde existe mayor promedio de vegetación la temperatura es menor aumentando conforme la vegetación se reduce.

Para el NDBI es el caso contrario debido a que el aumento del promedio en la edificación aumenta la temperatura, disminuyendo en las áreas en las cuales desciende el promedio de edificación. Comportamiento similar del NDVI tiene el NDWI ya que las AGEBs que tienen menor humedad también presentan temperaturas mayores en contraparte de las áreas que tienen una mayor humedad tienen una disminución térmica.

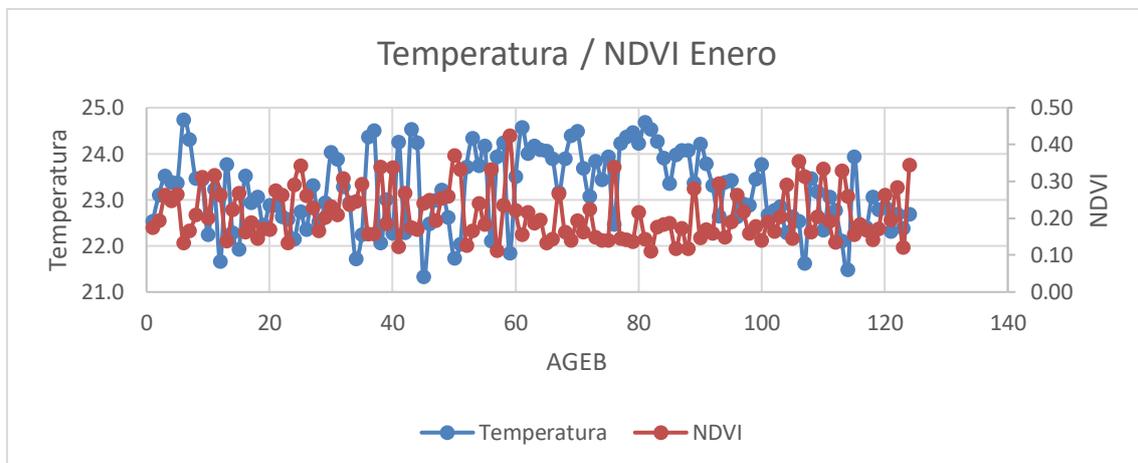
Hay recordar los datos manejados en esta sección del capítulo se presentan en términos de promedio tanto en los mapas y gráficas de los índices como de temperatura. Hay casos particulares como el aeropuerto en el que se ha visto en secciones anteriores que es una zona de mayor acumulación térmica, sin embargo, también posee dentro de su AGEB cobertura vegetal significativa que hace contrastar con las descripciones

realizadas. En este caso cabe señalar que con el Anexo 1 es notorio la diferencia térmica que existe para esta particularidad, teniendo un área de máximo térmico sobre la pista de aterrizaje y un área de mínimo térmico correspondiente a la vegetación circundante.

- NDVI

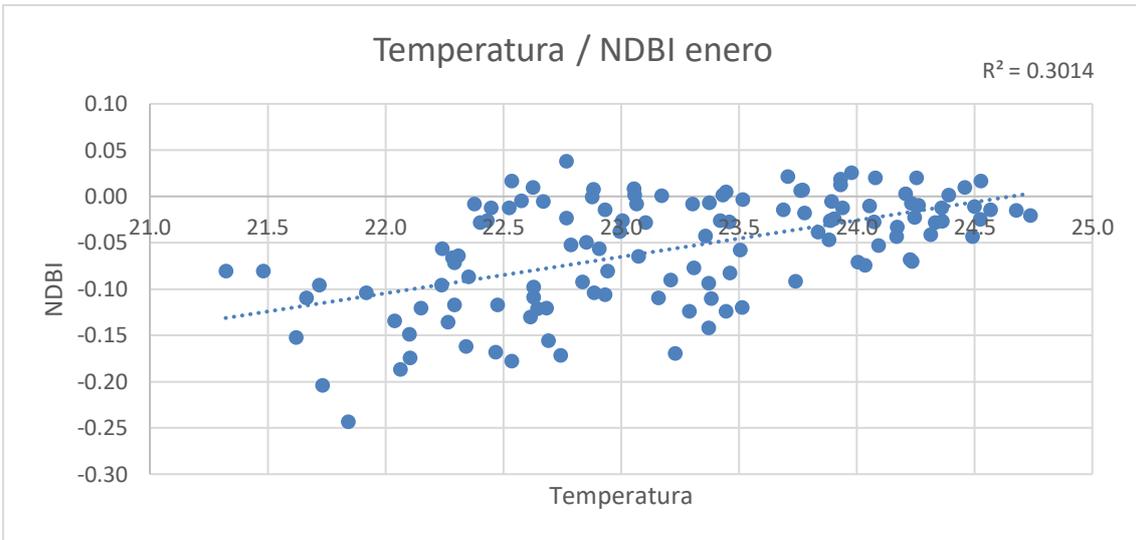


Gráfica 6. Relación entre temperatura y NDVI

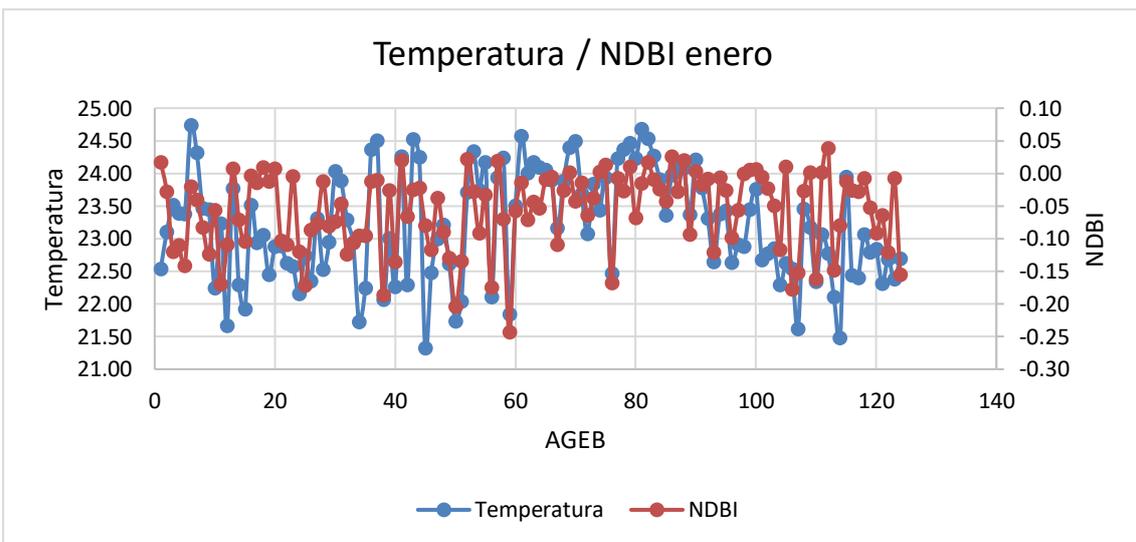


Gráfica 7. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs

- NDBI

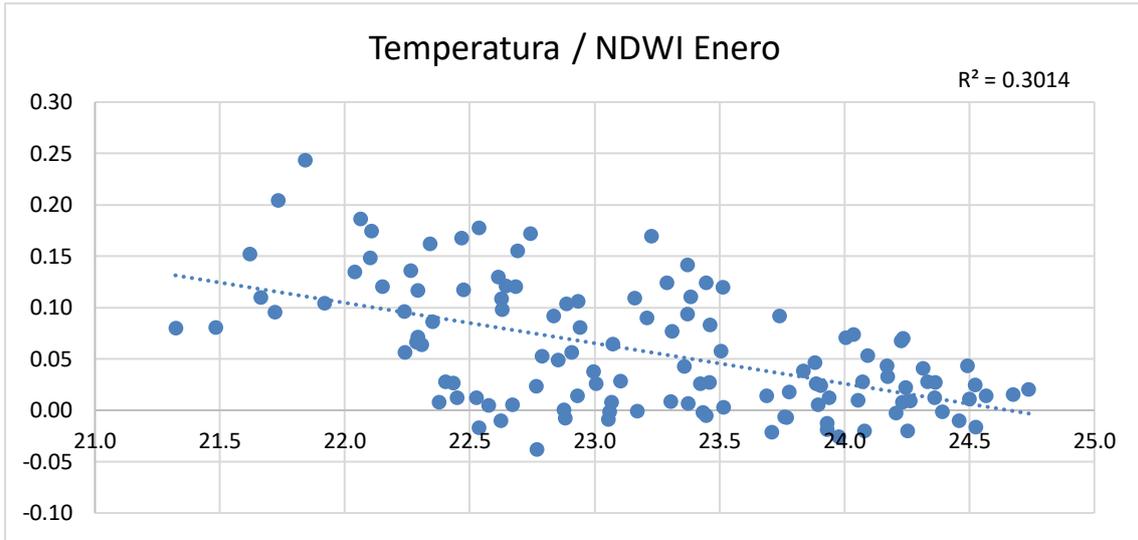


Gráfica 8. Relación entre temperatura y NDBI

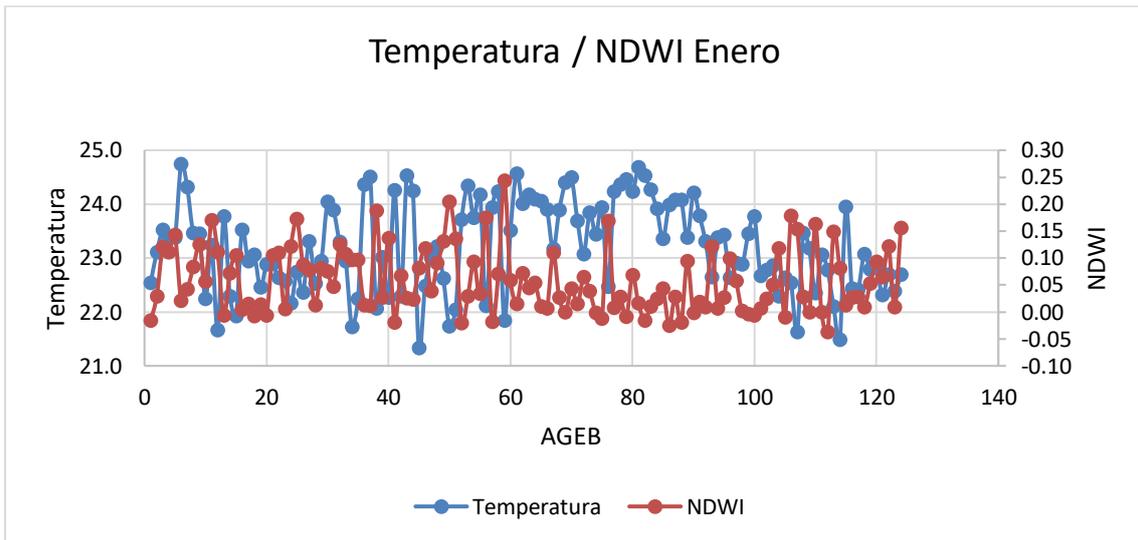


Gráfica 9. Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEs

● NDWI



Gráfica 10. Relación entre temperatura y NDWI



Gráfica 11. Comparación del comportamiento térmico y de NDWI por AGEBS

4.3 Mayo

Con los datos recopilados de 1981 al 2010 por la SMN en las normales climáticas, el mes de mayo está caracterizado por tener una temperatura máxima normal de 33.5°C, una temperatura media de 29.2°C y una temperatura mínima normal de 24.8.

4.3.1 Relación urbano – rural

En la tabla 6 se muestra la comparación de temperaturas entre Chetumal y Calderitas para mayo. En cuanto a la temperatura máxima, Chetumal tiene áreas donde la temperatura llega a los 29.8 °C mientras que en Calderitas la temperatura máxima es de 25.9 °C teniendo una diferencia de 3.9 °C entre estos dos asentamientos, siendo Calderitas en temperaturas máximas más fresco.

En cuanto a la temperatura mínima algunas áreas de Chetumal alcanzan los 20.4 °C mientras que en Calderitas la mínima es de 22.2 °C esto hace una diferencia de 1.8°C mostrando que en algunas áreas de Chetumal pueden ser más frescas que las zonas de menor temperatura de Calderitas. Para el promedio se observa que la temperatura está en 26.1°C en Chetumal mientras que en Calderitas tiene 24.5°C dejando una diferencia de 1.6°C más fresco Calderitas en promedio para el mes de mayo.

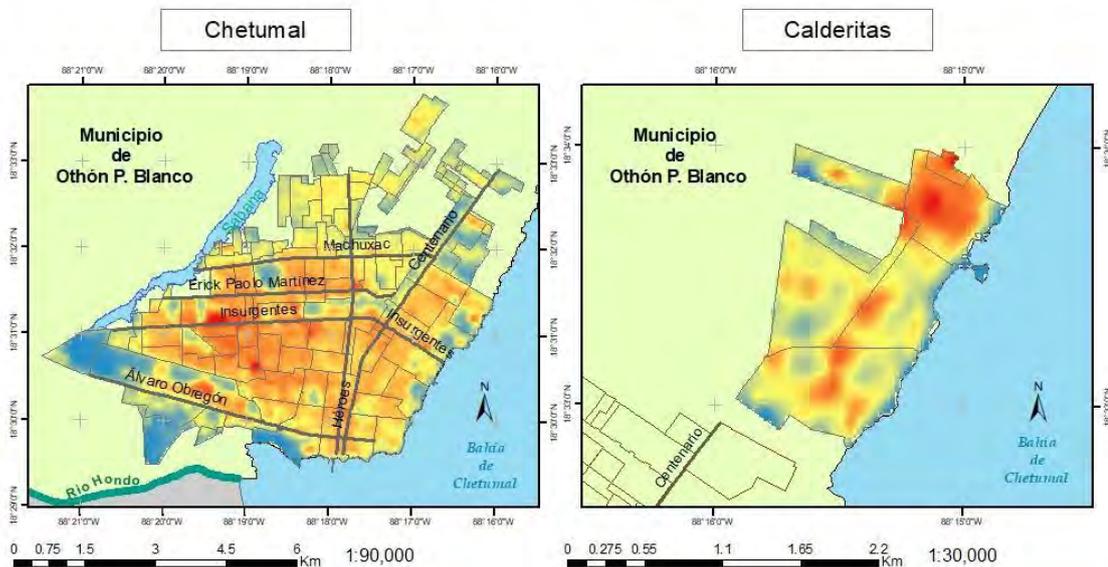
En cuanto a la distribución térmica, en el mapa 18 los puntos de mayor temperatura que resaltan en la ciudad se ubican al este de esta, sobre la av. Insurgentes teniendo algunos puntos por debajo de ella. En Calderitas la distribución de temperaturas máximas se da de forma concéntrica en el norte de la comunidad, al sur de ella existe la presencia de algunos parches de menor tamaño.

En el Anexo 2. Se puede observar la distribución térmica con una simbología homogénea entre Chetumal y Calderitas, en dónde se observa que dentro de la ciudad existen puntos de máxima temperatura puntuales rodeados de temperaturas en descenso. La temperatura con mayor extensión son los 27°C seguidos por la media de 26°C, en el caso de Calderitas se observa que la distribución de temperaturas máximas que aparece en el mapa 18 se atenúa de forma considerable y en su lugar solo aparece un polígono que ronda los 25°C y una temperatura dominante de 24°C

Tabla 6. Relación de temperaturas Urbano - Rural

Mes	Mayo	
Lugar	Chetumal	Calderitas
Temperatura Máxima	29.8	25.9
Diferencia	3.9	
Temperatura mínima	20.4	22.2
Diferencia	1.8	
Promedio	26.1	24.5
Diferencia	1.6	

Comparación térmica mayo 2018



	Universidad de Quintana Roo División de Ciencias e Ingenierías Maestría en Planeación	Proyección: UTM Zona 16 Norte Datum: WGS 1984 Autor: Yarandy Padilla	Simbología	
			Temperatura Chetumal °C Alto : 29.8 Bajo : 20.4	Temperatura Calderitas °C Alto : 25.9 Bajo : 22.2
			AGEB Chetumal	AGEB Calderitas

4.3.2 Intensidad y máximo térmico

El referente para el cálculo de intensidades fue la temperatura mínima superficial de la Ciudad, utilizando las AGEBs como limitante por lo cual la temperatura mínima es de 20.4°C, con ello se obtiene que la intensidad máxima obtenida es de 7°C mientras que en algunas zonas tienen valor negativo, teniendo como significado un valor menor que la temperatura mínima dentro de la ciudad.

La distribución de estas intensidades se observa en el mapa 18 en donde las intensidades mayores concentradas dentro del rango 6- 7 °C presenta un polígono de tamaño significativo al oeste de la ciudad, situado en la av. Insurgentes distribuyéndose al sur de esta. Hay otros puntos de máximas intensidades dispersos, notando una tendencia en su presencia a partir de la av. Benito Juárez al este de la ciudad. Estas zonas de máximas intensidades corresponden:

- Centro comercial Plaza las Américas y área colindante de espacios comerciales Suburbia, Aurrera llegando hasta la terminal de ADO de forma horizontal y de manera vertical llegando hasta el polígono donde se ubica la Procuraduría de la Defensa del Menor y la Familia.
- Supermercado Aki extendiéndose al norte hasta la av. Bugambilias
- Aeropuerto
- Instituto Tecnológico de Chetumal- Hospital General – DICONSA
- Supermercado Soriana

La presencia de otros puntos de máximas tiene superficie menor, estos ubicados en espacios de escuelas, parques, hospitales y mercados. En los dos primeros casos hay una mayor ocurrencia en las escuelas en donde hay explanadas desnudas sin vegetación circundante o canchas deportivas cubiertas de concreto.

Estos espacios de mayor intensidad en el Anexo 5 se distinguen particularmente los que poseen una intensidad de 7°C lo que equivale al máximo térmico o a 29.8°C, en donde se observa que son únicamente dos los puntos con estas características y hay una dominancia de intensidad de 5°C seguido de 4°C, patrón observado dentro de la ciudad en el mapa 4.8 y mostrando que las zonas periféricas tienen una intensidad dominante baja o albergan las menores temperaturas.

4.3.3 Anomalías térmicas

Para el análisis los valores utilizados fueron de una desviación estándar de 1.66746453957903 y una media de 25.06975449762922°C. El resultado es el mapa 20 donde se observa que tanto en anomalías negativas como positivas se mantienen en un máximo similar, teniendo a las negativas un valor máximo de -2.8 y las positivas un valor de 2.7.

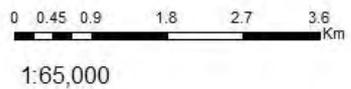
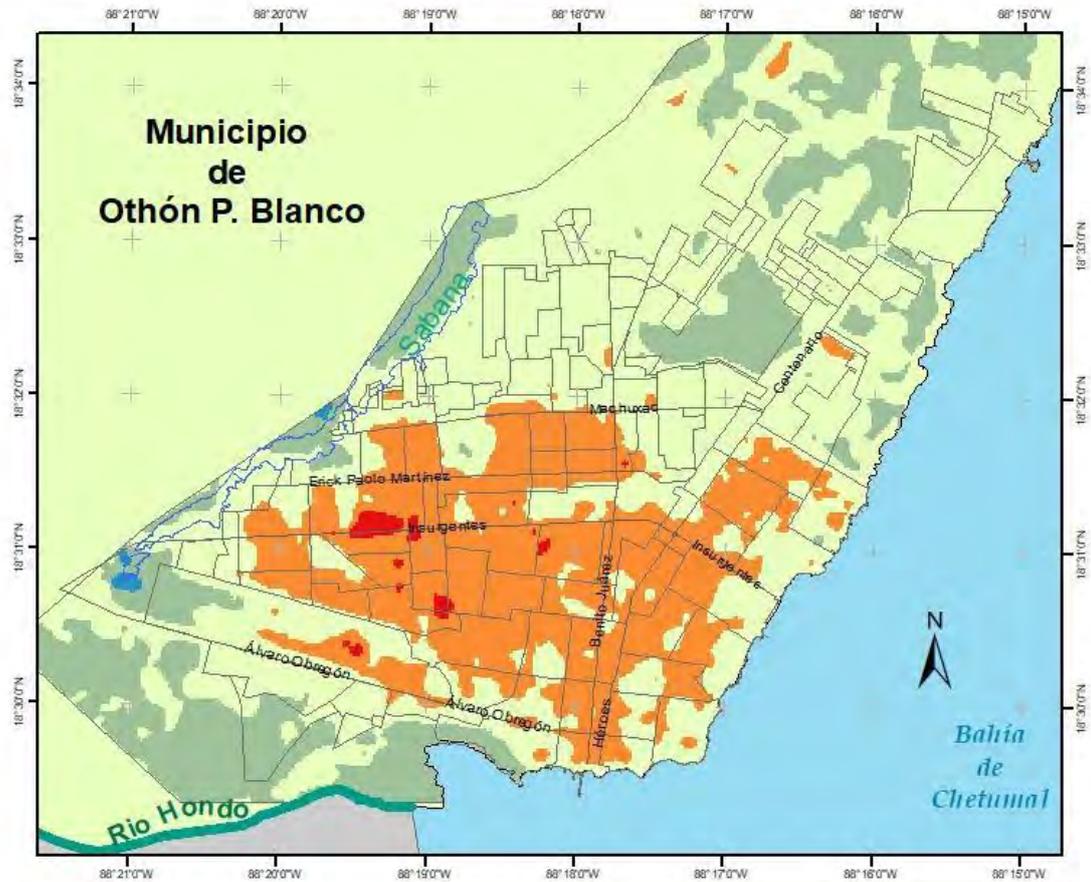
Este rango entre valores positivos y negativos muestra un comportamiento en el cual, la mayoría de las anomalías negativas se encuentran ubicadas al interior de la ciudad a excepción de las zonas de nueva creación que aún no tienen un AGEB definida al norte de la ciudad, sin embargo, estas zonas de nueva creación no almacenan los valores más negativos, esos únicamente se encuentran dentro de los límites urbanos ya establecidos.

Por otro lado, las anomalías positivas tienen una distribución a la periferia de la ciudad, en áreas en las cuales no ha sido construido y que tienen la vegetación como elemento dominante. Dentro de la ciudad se puede encontrar dos polígonos pequeños de anomalías positivas ubicados detrás de la plaza comercial Capital Center sobre la av. Machuxac y otro más cercano al Boulevard Bahía en la parte posterior del terreno de la escuela preparatoria CETMAR.

En comparación con el apartado anterior de intensidad y máximo térmico, las áreas con anomalías térmicas negativas siguen un patrón de distribución similar a las intensidades mayores, destacando las coincidencias en los espacios de la Plaza la Américas, Aurrera-Suburbia, aeropuerto, Tecnológico de Chetumal, Soriana, Super Aki, la Procuraduría de la Defensa del Menor y la Familia.

En el caso contrario de las anomalías positivas e intensidades menores se nota las diferencias en la distribución, ya que se presentan más zonas de mínimas intensidades con mayor superficie que las áreas con anomalías térmicas positivas, aunque en la parte periférica de la ciudad se mantienen un patrón de dominación de intensidades mínimas correspondiente a las anomalías positivas.

Anomalías térmicas mayo 2018



Mapa 20. Distribución de anomalías térmicas en mayo

4.3.4 Índices

Se mantiene la clasificación de rangos recordando su aplicación a la simbología de los respectivos mapas.

- Muy bajo
 - Bajo
 - Medio
 - Alto
 - Muy alto
-
- NDVI

A partir del anexo 10 se generó el mapa 21 en el cual se señala la distribución promedio del índice de vegetación. En cuanto a la distribución promedio de los rangos se puede ver que las áreas con un índice Muy alto se encuentran en las AGEBs periféricas de la ciudad, en donde el porcentaje edificado es menor que la superficie cubierta de vegetación. Las AGEBs resaltantes corresponden al espacio del aeropuerto y colindantes al sur y oeste, el área donde se ubica la Universidad de Quintana Roo al este, de manera superior las colonias Andara, Santa María, y al Norte de la ciudad algunas AGEBs de menor tamaño que corresponden a nuevas etapas de construcción posteriores a Sian Ka'an y Fraccionamiento Caribe.

Al interior de la ciudad se puede observar que hay zonas en las cuales se mantiene un promedio Alto de NDVI como las AGEBs cercanas al Zoológico encontrándose en el centro espacial de la ciudad y áreas al oeste, este y sur de la ciudad, siendo las de mayor tamaño. En Calderitas clasificación es la dominante ya que la mayoría de las AGEBs tienen un NDVI Alto.

Las áreas clasificadas como medias tienen una dispersión sin algún patrón en particular, únicamente presentándose en espacios donde la cantidad de vegetación y de construcción se encuentran equilibrados. Las áreas de Bajo NDVI son próximas a las áreas con Muy bajo NDVI, siendo estas últimas las zonas en las cuales el porcentaje de edificación o de infraestructura es mayor que la vegetación. Algunas de estas zonas se encuentran al sur de la ciudad encontrándose dispersas en el centro administrativo de la ciudad abarcando las avenidas Héroes y Benito Juárez; poco más al oeste de la ciudad en cercanía a la avenida Insurgentes las áreas que corresponden a las colonias FOVISSSTE, Ocho de Octubre y parte de la Veinte de Noviembre también muestran

valores Muy bajos de NDVI, hacia al norte de la ciudad sobre la avenida Constituyentes de manera vertical se distribuyen otras AGEBS con esta misma categoría.

En la gráfica 12 se encuentra el porcentaje de AGEBS según el grado de NDVI promedio que tienen. El 10% de las AGEBS tienen un índice Muy Alto de NDVI, el 23% tiene un NDBI Alto para este mes, el 23% de las AGEBS de ciudad tiene presente una alta calidad o cantidad de vegetación, mientras que un 49% tiene condiciones de NDVI bajo ya que el 18% tiene un NDVI Muy bajo y el 31% un NDVI bajo, mientras que un 18% de las AGEBS de la ciudad se encuentra con un NDVI medio.



Gráfica 12. Ocupación de las AGEBS por promedio de NDVI

- NDBI

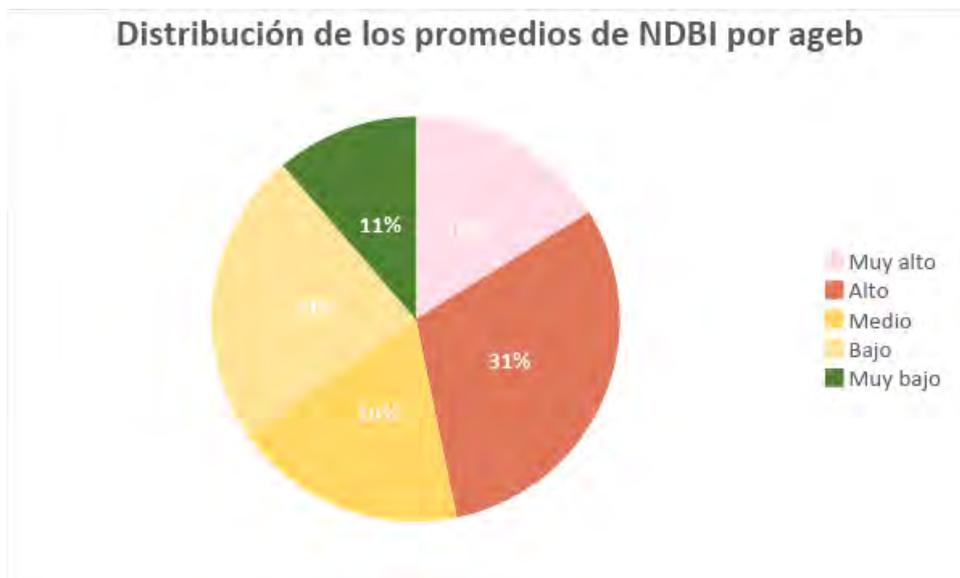
Con el Anexo 11 se realizó el mapa 22. Las zonas que presentan un NDBI Muy alto tienen una mayor distribución y concentración en la parte norte de la ciudad, dominando las zonas que se encuentran cercanas a la avenida Constituyentes y las pertenecientes al fraccionamiento Las Américas. También se encuentran algunas áreas al oeste de la ciudad por encima y por debajo de la av. Insurgentes.

Las áreas que tienen un NDBI Alto tienen una distribución con mayor heterogeneidad tanto al norte como al sur de la ciudad, pero con un comportamiento distinto. Al sur de la ciudad tomando como referente la av. Insurgentes, las áreas de NDBI Alto se concentran en las AGEBS internas, mientras que al norte de la av. Insurgentes la concentración es en aglomerados a la zona más cercana a periférica de la ciudad o en las

AGEBs externas.

Las áreas que tienen un NDBI Muy bajo están localizadas de forma predominantemente en colindancia a los límites exteriores de la ciudad, abarcando áreas como la del aeropuerto y zonas contiguas, al noreste de la ciudad y algunas AGEBs con menores tamaños al norte de la esta. Las áreas de Bajo se encuentran dominando Calderitas y con un esparcimiento sin comportamiento aparente dentro de la ciudad, al igual que las medias, estos espacios corresponden a AGEBs en donde el porcentaje de construcción se nivela con el porcentaje de vegetación.

Con la gráfica 13 se muestra que el 47% de las AGEBs tiene un NDBI considerado Muy Alto o Alto ya que se distribuye en 16% y 31% respectivamente mientras que el 34% tiene Muy bajo (11%) y Bajo (23%) y el 19% tienen un NDBI medio.



Gráfica 13. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDBI

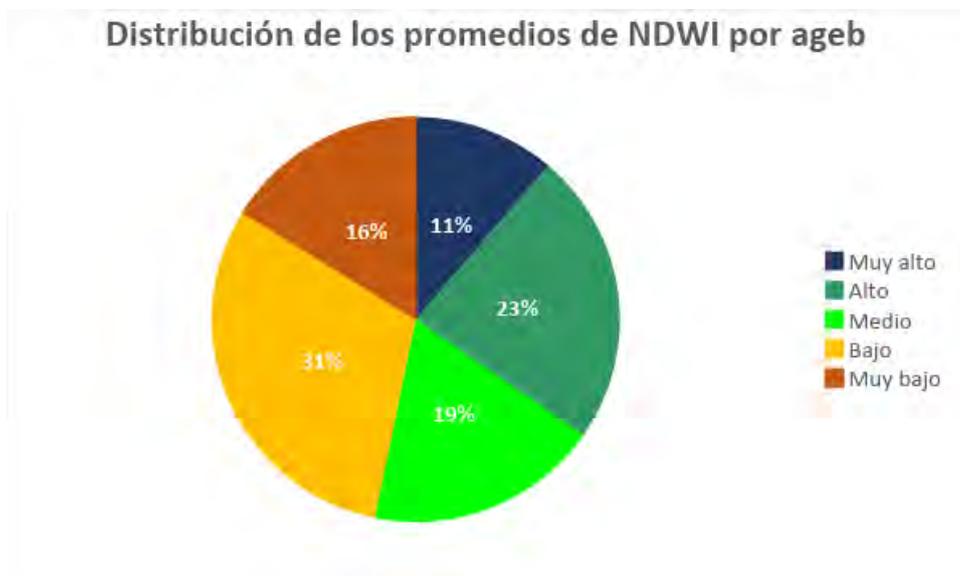
- NDWI

El mapa 23 se realizó con el Anexo 12, con él se observa que las áreas que tienen una NDWI Muy alto que son un 11% de las AGEBs, se encuentra en zona límite de Chetumal, siendo las zonas de mayor extensión las ubicadas al suroeste de la ciudad lo que corresponde al aeropuerto y zonas contiguas, para el caso del aeropuerto en el Anexo 12 se puede observar el contraste que tiene el área donde se ubica el aeropuerto de la demás superficie circundante, donde la característica principal que se nota ahí es la diferencia drástica entre el espacio edificado y el espacio natural,

caso similar a una de las áreas continuas del AGEB del aeropuerto ubicado más al sur de la ciudad en donde se aprecia que la mitad de la AGEB es la que tiene el índice más alto teniendo un comportamiento interno similar al del aeropuerto, con la diferencia que en esa área son edificaciones como comercios y casas las que ocupan la zona.

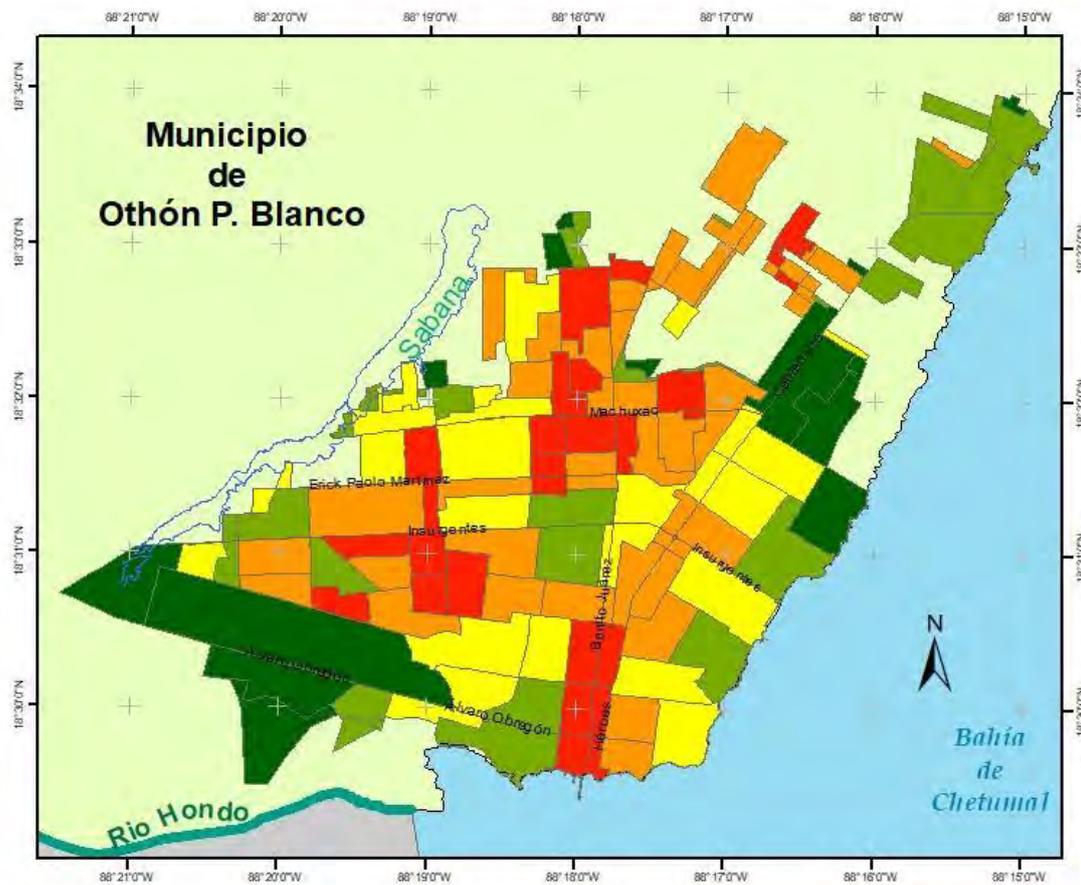
Las áreas con Alto NDWI se encuentran distribuidas al límite de la ciudad como en el caso de la bahía, y algunas dentro de la ciudad, pero dominando al oeste y noroeste de la ciudad, para el caso de Calderitas que es dominante la distribución, estas corresponden a un 23% de la ocupación de AGEBs. Las AGEBs con un NDWI Medio que corresponden al 19% tienen una distribución indiferente tanto al norte como al sur de la ciudad, pero son las más cercanas a los índices Muy Alto y Alto.

Las áreas que tienen mayor dominancia siendo un 31% las que poseen un NDWI muy bajo tienen una distribución al sur de la ciudad centrándose al interior y al norte de la ciudad ubicándose en conglomerados a las zonas límites, generalmente estas áreas rodean las que tienen un NDWI Muy bajo que son el 16%, estas se encuentran mayormente al norte de la ciudad.



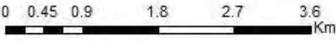
Gráfica 14. Distribución de los promedios de NDWI por AGEB

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada mayo 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

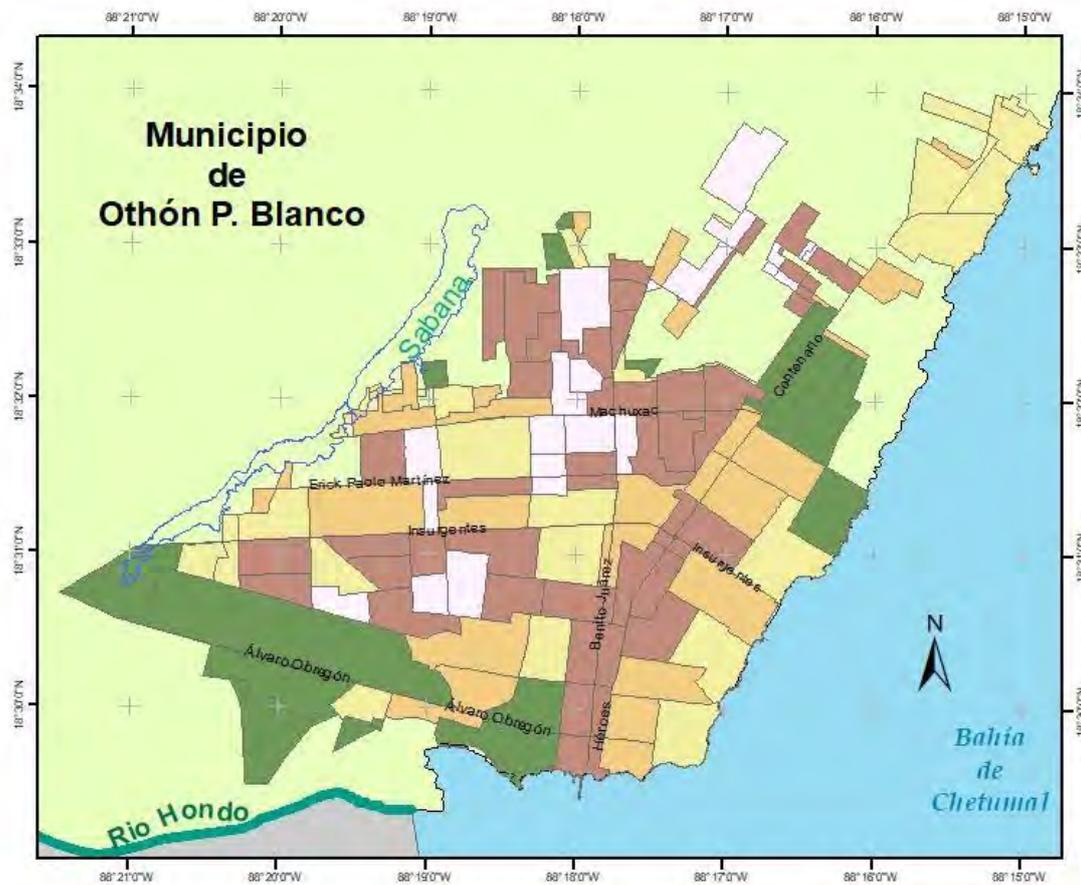
Simbología

NDVI

	0.131 - 0.172
	0.172 - 0.217
	0.217 - 0.276
	0.276 - 0.351
	0.351 - 0.526
	AGEB

Mapa 21. Distribución de los promedios de NDVI en mayo

Índice de Construcción de Diferencia Normalizada mayo 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

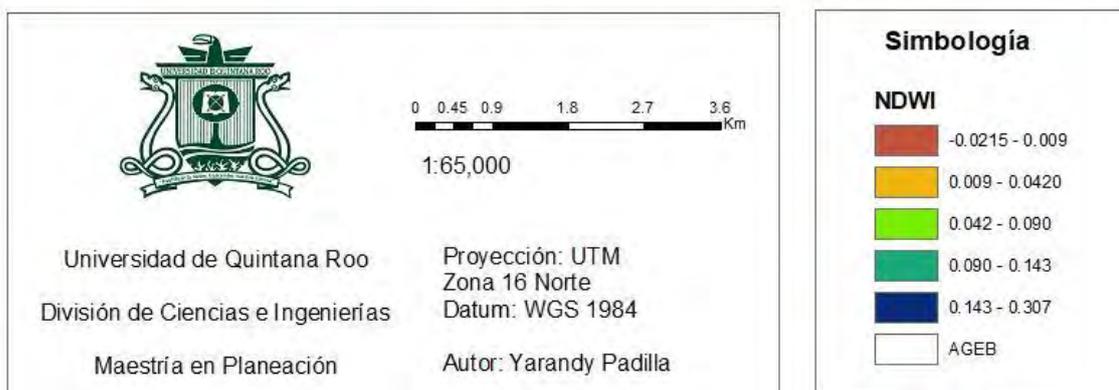
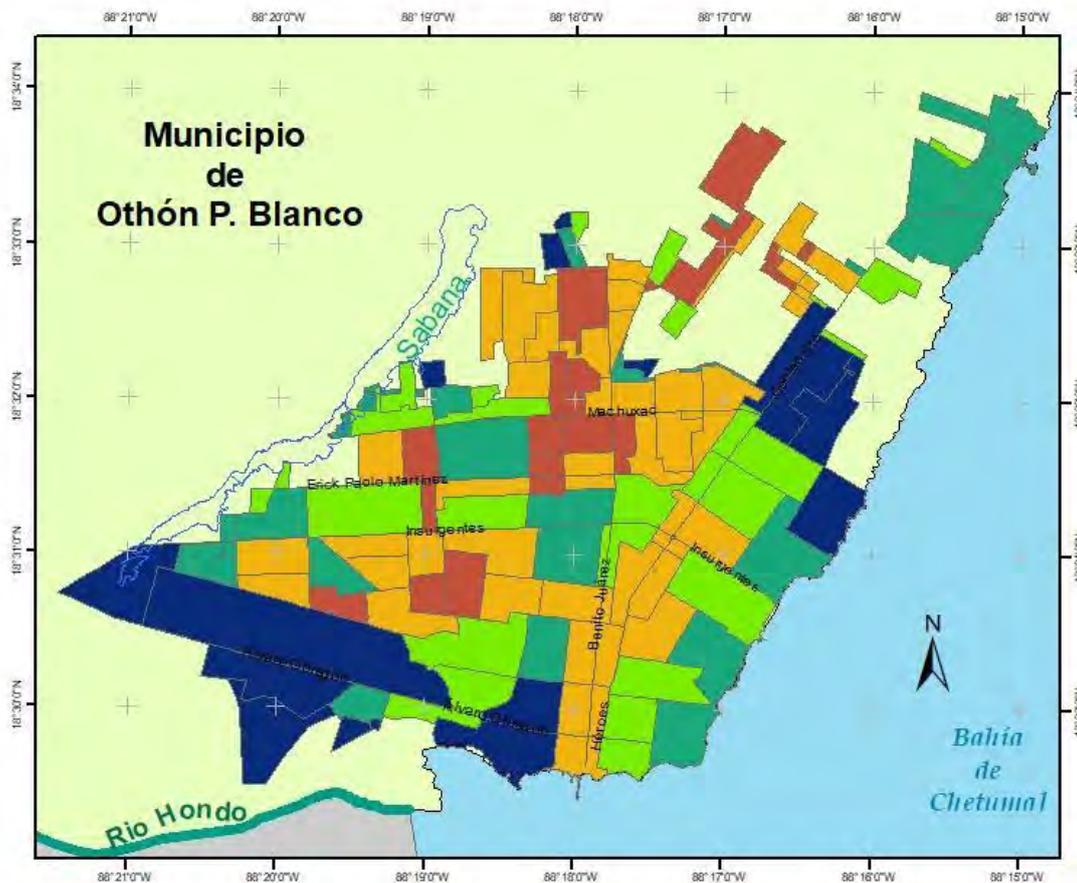
Simbología

NDBI

■	-0.307 - -0.157
■	-0.157 - -0.093
■	-0.093 - -0.049
■	-0.049 - -0.011
■	-0.011 - 0.021
■	AGEB

Mapa 22. Distribución de los promedios de NDBI en mayor

Índice de Agua de Diferencia Normalizada mayo 2018



Mapa 23. Distribución de los promedios de NDWI en mayo

El comportamiento entre los índices se observa con cierta similitud entre algunos AGEBS y en otros tiene diferencias que no se alejan de sus rangos proporcionales. Para el caso del NDVI y NDBI no todas las zonas que tienen un NDBI Muy alto son las que

corresponder a tener un NDVI Muy bajo, pero si en las áreas de NDBI Muy alto y Alto se encuentran las áreas de NDVI de Muy bajo y Bajo, por el contrario a excepción de una que otra área el índice medio se mantiene casi de la misma forma en ambos índices, y para el caso de las AGEBs con NDVI Muy Alto y Alto tiene un comportamiento más o menos similar, ya que las áreas con Muy alto NDVI se encuentran en su mayoría en las áreas con Muy bajo NDBI manteniendo una similar distribución para el NDVI Alto y el NDBI Bajo.

En la comparación con el NDWI con el NDBI la distribución es inversamente proporcional, de forma tal que en las AGEBs en dónde hay presente un NDBI Muy alto el NDWI es Muy bajo, en contraparte las áreas con un NDBI Muy bajo tienen un NDWI Muy alto. Relacionando en NDWI y NDVI las áreas en ambos casos con Muy Alto y Alto tienen la misma distribución, al igual que las áreas con Muy bajo y Bajo índice.

4.3.5 Relación Temperatura – índices

Con base al Anexo 2 se realizó el mapa 24 y derivado de él la gráfica 15. Con ellos podemos observar que el 14% de las AGEBs que tienen una temperatura promedio considerada Muy alta se encuentran ubicados en un conglomerado al oeste de la ciudad, ubicándose sobre la av. Insurgentes ubicándose de forma dominante al sur y con algunas AGEBs por encima de esta avenida y distribuyéndose de manera horizontal a la av. Constituyentes y de forma vertical a la av. Machuxac. Este promedio de AGEBs tiene un comportamiento presente descrito en la intensidad previamente.

Las áreas contiguas a las Muy Altas inmediatamente son las áreas de Altas que son el 18% de las AGEBs, la distribución de estas predomina al este del conglomerado de las anteriores abarcando una mayor área, de igual forma, pero con menor superficie al oeste se encuentra un grupo de áreas de Alta temperatura y unas cuantas esparcidas al norte y sur, pero sin perder continuidad.

Al norte y este de la ciudad la dispersión de las temperaturas Medias es la que domina y prosigue a las temperaturas Altas cubriendo un 27% de las AGEBs, su aparición de estas al norte se desarrolla con mayor aparición sobre la av. Machuxac al este se ubican con colindancia a la Bahía de Chetumal.

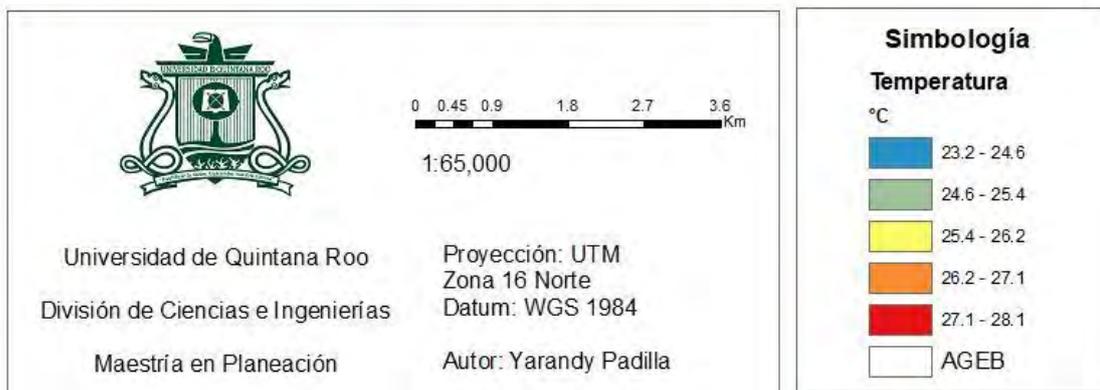
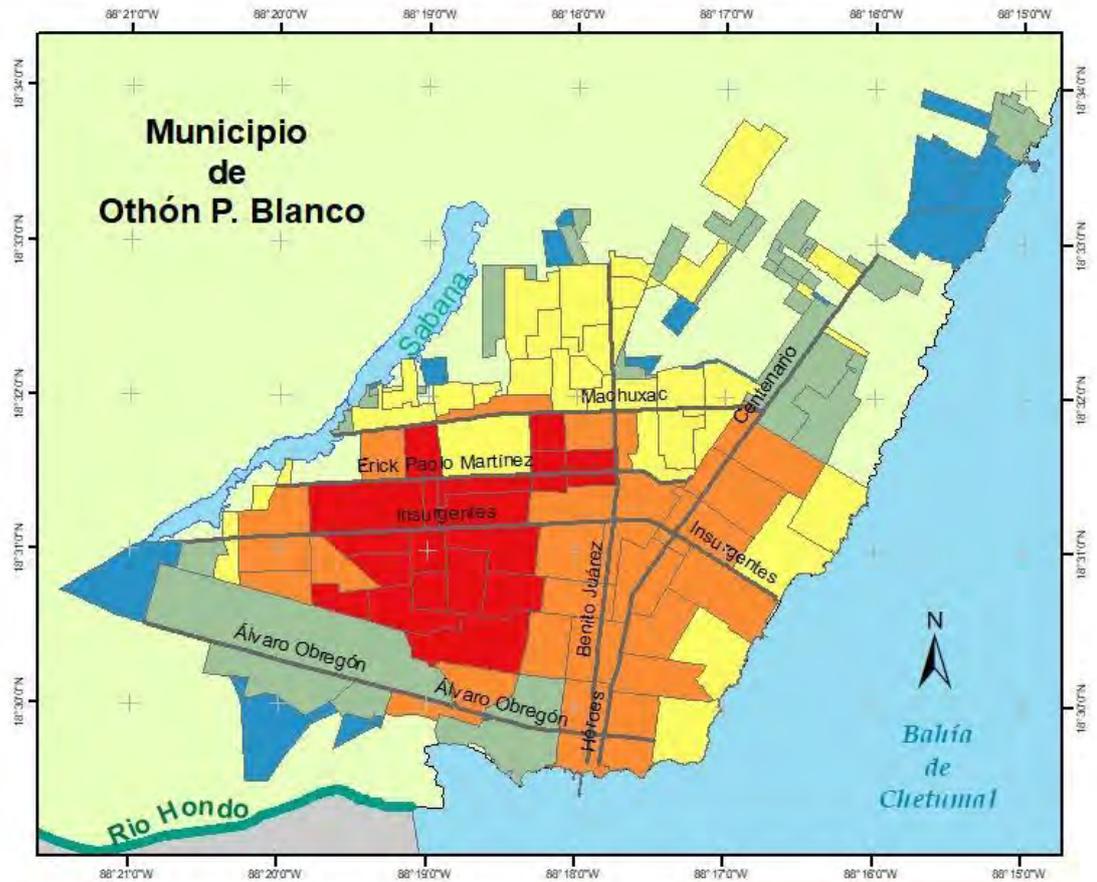
El comportamiento cambia al sur y suroeste de las temperaturas Muy altas, ya que las

zonas colindantes son de temperatura Baja o Muy Baja, que se distribuyen en la zona del aeropuerto, pero con temperatura las zonas próximas a esta. Las áreas de Bajas que son el 27% de las AGEBS también se dispersan por al norte y noreste de la ciudad, ubicándose únicamente en los límites, para el Calderitas tiene una temperatura considerada Muy baja que ocupa el 14% de las AGEBS.



Gráfica 15. Distribución de los promedios de temperaturas por AGEBS

Distribución media térmica mayo 2018



Mapa 24. Distribución de la media térmica por AGEB en mayo

Con lo anterior descrito tanto de los índices como del comportamiento térmico podemos observar que de manera espacial la distribución de las áreas que tienen una Muy baja o Baja temperatura tienen los índices Muy altos o Altos de NDVI, al igual que el NDWI

algunas áreas de Muy Alta y Alta coinciden con ciertos polígonos de Baja y Muy Baja temperatura siendo los de mayor coincidencia los encontrados hacia los límites en todos los mapas.

En cuestiones de temperatura Muy Alta y Alta las áreas en contraste con el NDVI se distribuyen en los de Medio, Bajo y Muy Bajo, distribución similar con el NDVI y contrario con el NDBI, ya que en este último índice las mayores temperaturas se distribuyen en las áreas de Muy Altas, Altas y Medias y ocupando hasta ciertas de la Baja.

Con el análisis de correlación de Pearson muestra un coeficiente de correlación de la temperatura con los índices como lo muestra la siguiente tabla

Tabla 7. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.

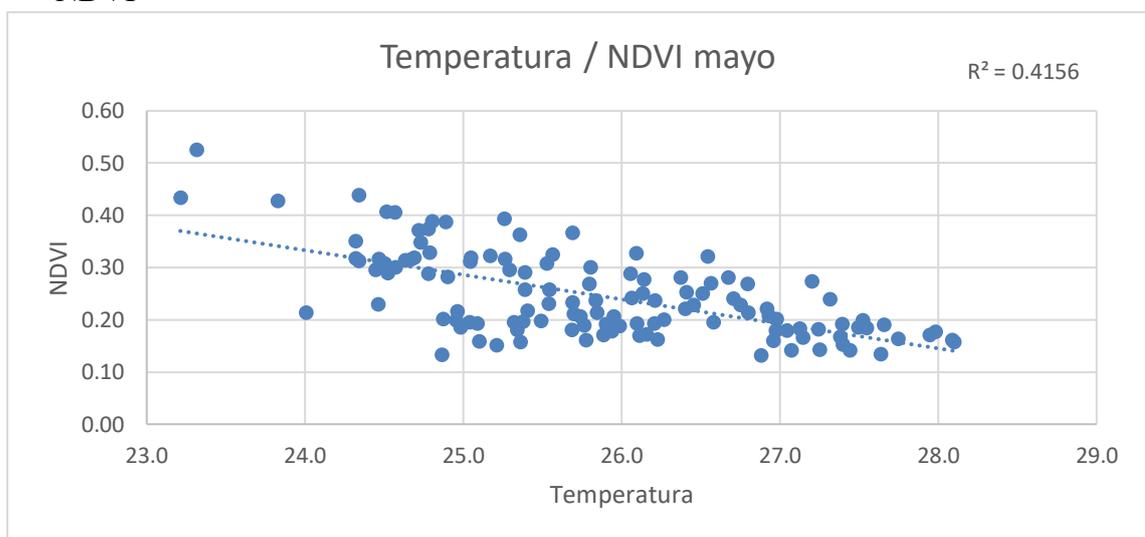
Temperatura / NDVI	Temperatura / NDBI	Temperatura / NDWI
-0.64469357	0.60845759	-0.60845759

Con esto podemos ver que el índice que mayor relación tiene con la temperatura es la vegetación, debido a que tiene una relación negativa en donde espacialmente sí existe menos presencia o calidad de la vegetación la temperatura aumenta. La relación con el índice de construcciones y con el de humedad son con la misma importancia, siendo los segundos contribuyentes en la determinación de la temperatura. Para el NDBI se tiene una correlación positiva, lo que indica que en las áreas donde existe mayor porcentaje de edificación la temperatura aumenta, mientras que en el caso del NDWI en las áreas donde hay menor humedad la temperatura es mayor, contrario a las zonas donde hay más humedad y la temperatura disminuye.

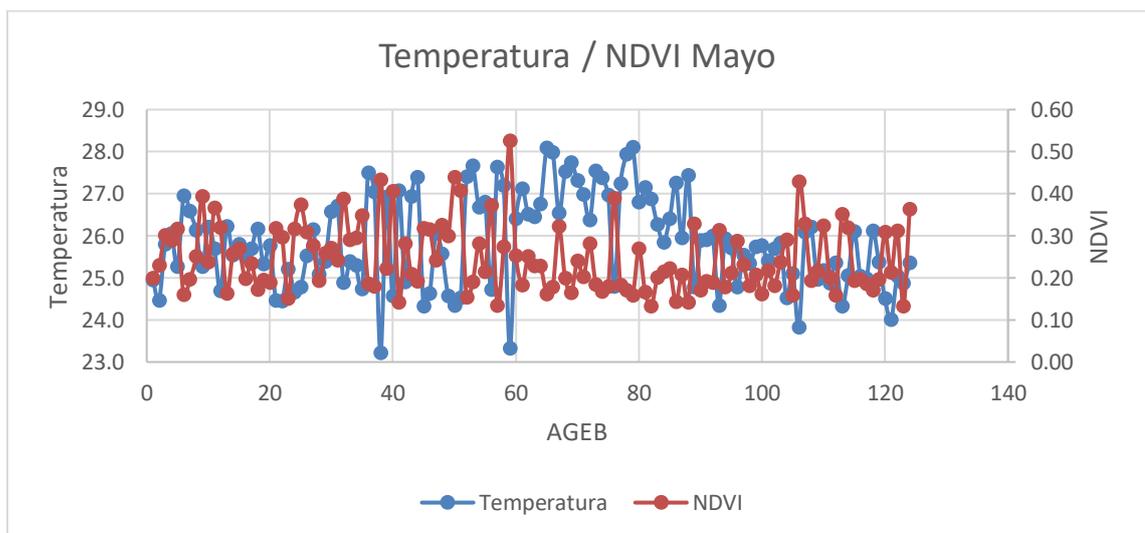
Con los siguientes gráficos se indica el comportamiento tanto de dispersión de cada índice relacionado con la temperatura, y el comportamiento de cada índice en relación con la temperatura por cada AGEBA. En esos se distingue que en la gráfica de dispersión de NDVI los datos tienen una tendencia lineal evidente, y con un área de dispersión menor a comparación de NDBI y el NDWI.

Para la comparación de las gráficas por AGEB es evidente que tanto en el NDVI como en el NDWI cuando la vegetación o humedad disminuye o muestra los picos mínimos, la temperatura para ese mismo punto muestra los máximos. En la gráfica del NDBI el comportamiento que se observa es el contrario, ya que en la temperatura y el índice tienen un comportamiento similar, en aquellos puntos donde el NDBI es menor también lo es la temperatura.

- NDVI

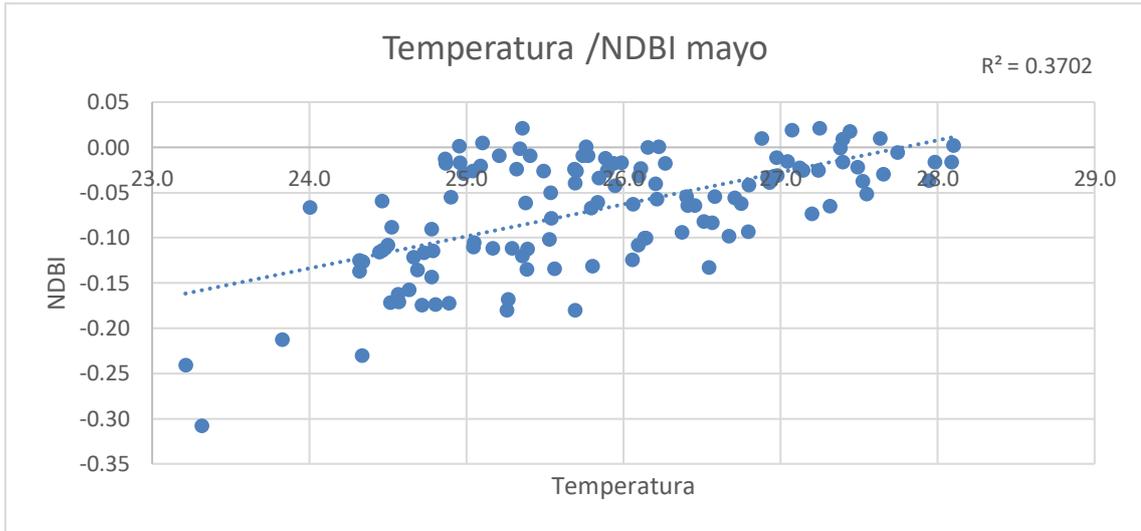


Gráfica 16 Relación entre temperatura y NDVI

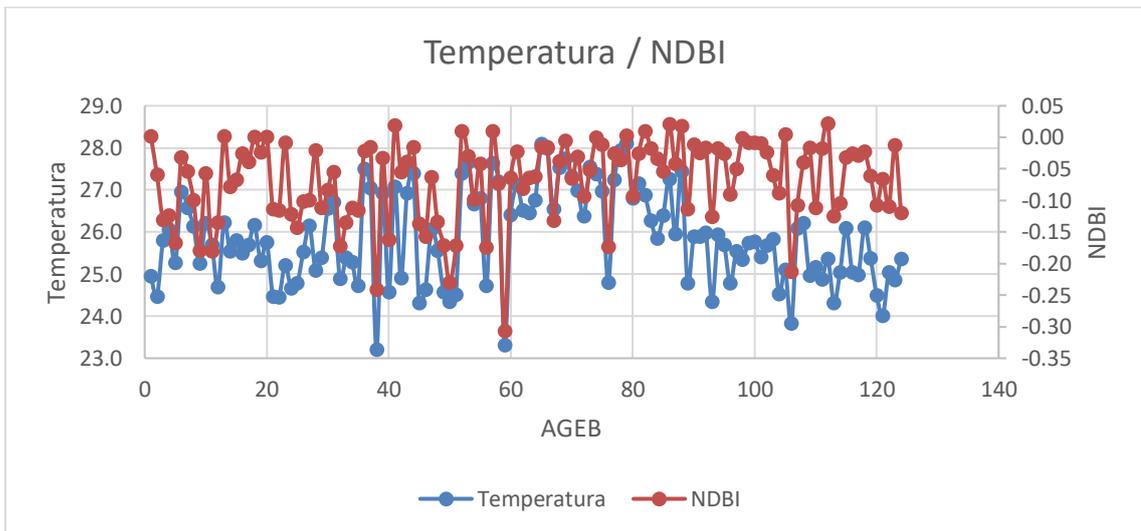


Gráfica 17. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs

- NDBI

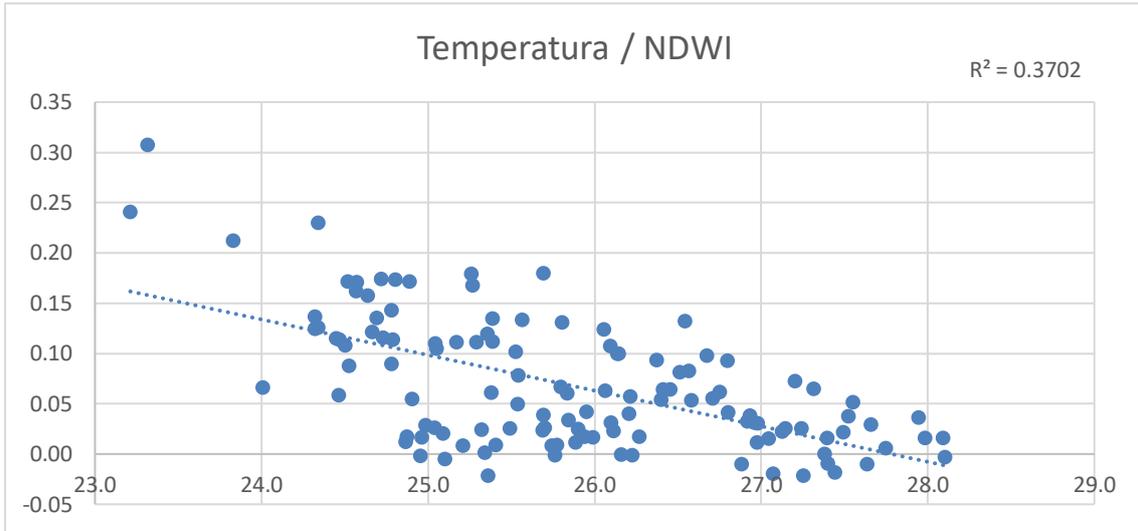


Gráfica 18. Relación entre temperatura y NDBI

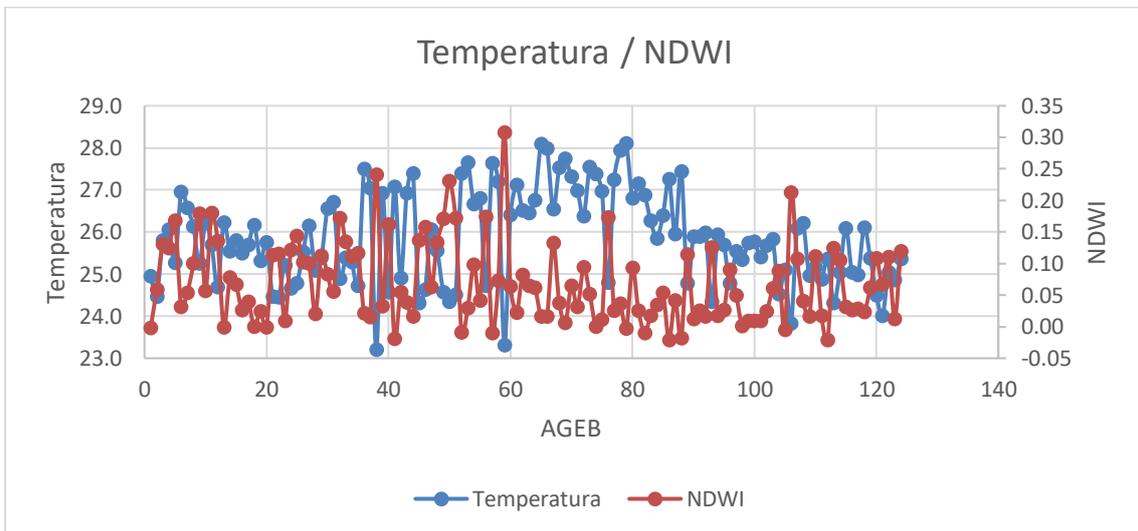


Gráfica 19. Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEBS

● NDWI



Gráfica 20. Relación entre temperatura y NDWI



Gráfica 21. Comparación del comportamiento térmico y de NDWI por AGEs

4.4 Julio

Con base en los datos de la SMN acumulados en las normales climatológicas del año de 1981 a 2010 este mes se caracteriza por tener una temperatura máxima normal de 32.4 una temperatura media normal de 28.5 y una temperatura mínima normal de 24.5 en cuestiones de precipitación normal tiene 146.1 mm.

4.4.1 Relación urbano – rural

La tabla 8 muestra la comparación entre Chetumal y Calderitas de la temperatura para julio. La temperatura máxima muestra que en Chetumal la mayor temperatura es de 31.6°C en algunas zonas, mientras que Calderitas la máxima temperatura que alcanza es de 28.3°C en cuanto a máximas Calderitas es 3.3°C más fresca.

Con las temperaturas mínimas se observa que en algunas zonas la ciudad tiene 23.6°C y por su parte las áreas más frescas de Calderitas llegan a los 23.8°C siendo Chetumal únicamente 0.2°C menos que en Calderitas en algunas áreas. En las temperaturas promedio la diferencia es de 1.2°C a favor de Calderitas, pues es la zona rural la que se encuentra más fresca en promedio ya que tiene una temperatura media de 26.9°C contra los 28.1°C de Chetumal.

De manera espacial el mapa 25 se observa que en Chetumal el calor se encuentra acumulado en el interior de la ciudad, mientras las áreas que mayor cercanía tienen al límite urbano son zonas más frescas. En Calderitas el calor se acumula con mayor intensidad al sur del poblado, dispersándose al centro, las zonas más frescas se encuentran al noreste la comunidad y se presenta una línea paralela a la línea de costa que muestra una zona continua de menor temperatura.

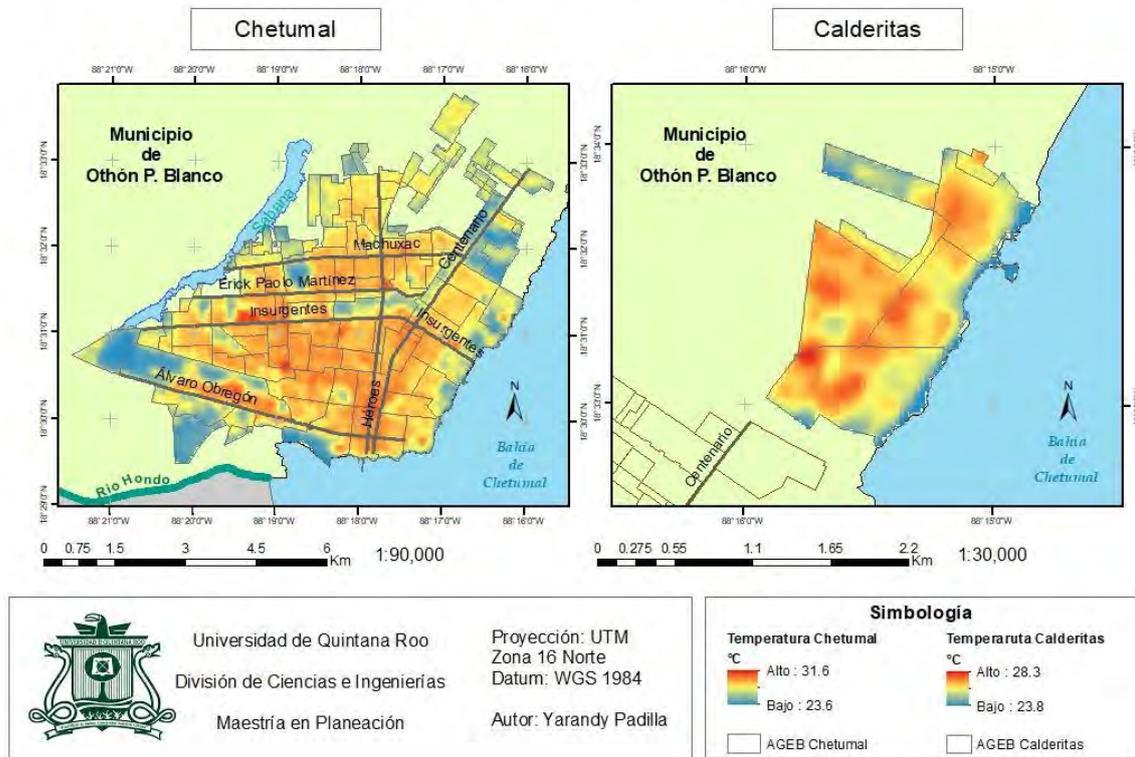
En el Anexo 3 que tiene una escala homogénea entre Chetumal y Calderitas se observan puntos de máxima temperatura en lugares específicos rodeados de descenso de temperaturas en las zonas circundantes. Chetumal tiene una temperatura de esparcimiento dominante de 29°C mientras que Calderitas tiene 27°C. Las áreas con menores temperaturas se encuentran en los límites colindantes a las zonas de vegetación y algunas líneas paralelas a la Bahía. Dentro de la ciudad se encuentran zonas de bajas temperatura habiendo ciertos parches de 24°C que tienen una zona de afectación inmediata con un ascenso térmico que termina convergiendo con la temperatura

dominante circundante.

Tabla 8. Relación de temperaturas Urbano - Rural

Mes	Julio	
Lugar	Chetumal	Calderitas
Temperatura Máxima	31.6	28.3
Diferencia	3.3	
Temperatura mínima	23.6	23.8
Diferencia	0.2	
Media	28.1	26.9
Diferencia	1.2	

Comparación térmica julio 2018



Mapa 25. Comparación de la distribución térmica entre Chetumal y Calderitas en el mes de julio 2018

4.4.2 Intensidad y máximo térmico

Las intensidades fueron calculadas a partir de la temperatura superficial mínima de la ciudad tomando los límites de los AGEBs siendo esta los 23.6°C. Con eso se obtiene el mapa 26 en donde se observa que las intensidades máximas oscilan entre los 6 y 7°C teniendo áreas circundantes con datos negativos.

Las máximas intensidades se distribuyen con mayor de forma puntual sobre algunos sitios y teniendo una zona de esparcimiento en otros. La zona que mayor superficie ocupa es el centro comercial de Chetumal seguido de:

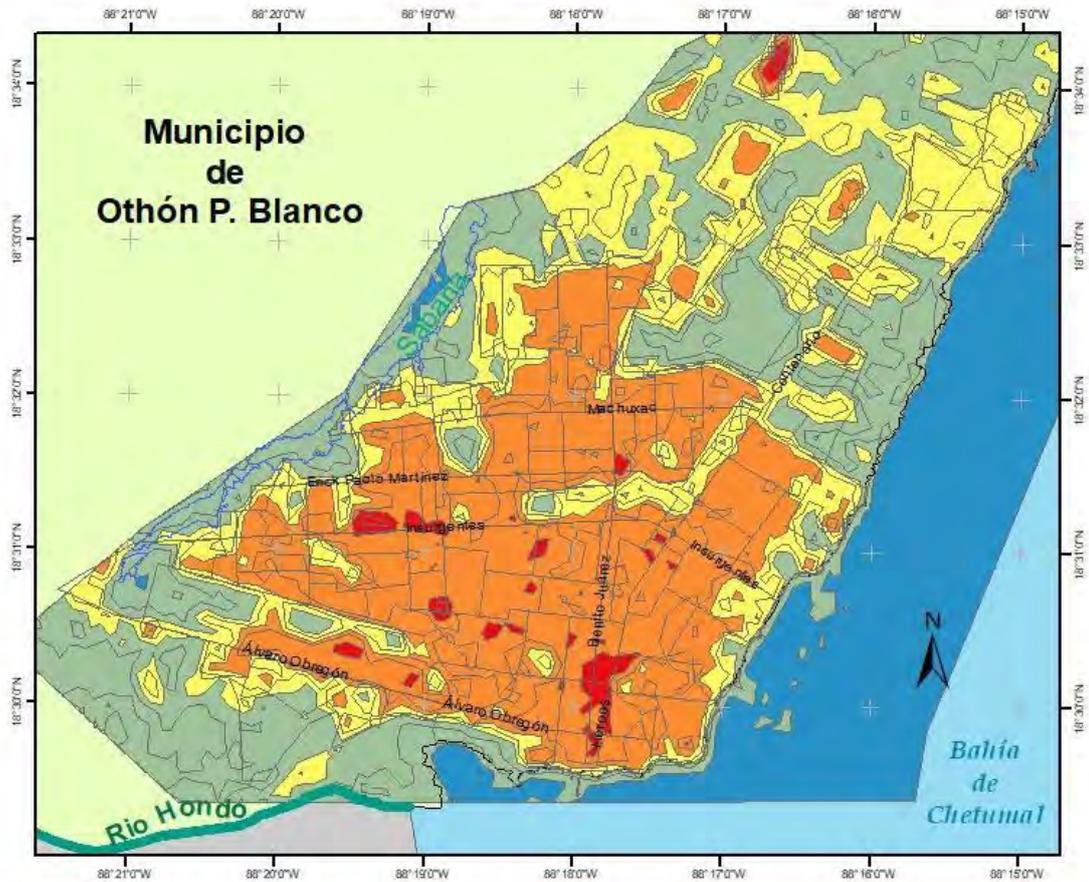
- Centro comercial Plaza las Américas
- Supermercado Aki
- Área comercial Suburbia Aurrera llegando a la terminal del ADO
- Tecnológico – Hospital General
- Supermercado Soriana

- Seguro Social - Fiscalía General del Estado
- Aeropuerto
- Área de nueva creación al noreste de la ciudad

Los demás puntos de máximas intensidades corresponden a escuela, mercados, parques, instituciones gubernamentales. En el Anexo 6 se observa la desagregación de intensidades por cada grado donde se indica que son únicamente tres los puntos que tienen una intensidad de 7°C o el equivalente a los 31.6°C que representa el máximo térmico de julio, por su parte existe la presencia de mayores zonas que tienen una intensidad de 6°C dispersas en varios puntos de la ciudad y dominando de la av. Insurgentes a el sur, la tempera dominante son los 5°C seguido de los 4°C al interior de la ciudad y disminuyendo conforme se acerca a la periferia.

A la periferia de la ciudad se puede observar el efecto que tiene la vegetación, ya que las zonas que tienen cierta masa vegetal tienen una intensidad mínima de 1°C y tienen una zona de esparcimiento inmediata definida por los elementos circundante, lo que es decir que puntos que tienen las mínimas intensidades sí no se tienen limitantes urbanas cercanas tienen un área de afectación amplia, mientras que las que se encuentran cercanas a elementos urbanos son intervenidas directamente y su área de influencia es menor.

Intensidades térmicas julio 2018



Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación

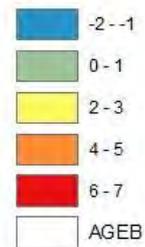
0 0.45 0.9 1.8 2.7 3.6 Km

1:65,000

Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984
 Autor: Yarandy Padilla

Simbología

°C



Mapa 26. Distribución de las intensidades térmicas de la ciudad en comparación del área rural y la periferia natural

4.4.3 Anomalías térmicas

En julio el análisis se elaboró con una media de $27.03634902862167^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar de 1.739963256992014 el resultado es el mapa 27 en el cual las anomalías positivas y negativas tienen un rango máximo similar teniendo de máximo -2.6 y 3.

En total son 7 los puntos con mayor anomalía térmica siendo estos el centro comercial Plaza las Américas, Soriana, Mercado Ignacio Manuel Altamirano, Suburbia - Aurrera, Hospital General, Super Aki y la zona de nueva creación al norte de la ciudad. La mayoría de estos puntos se ubican tomando como referente la av. Insurgentes al sur de la ciudad.

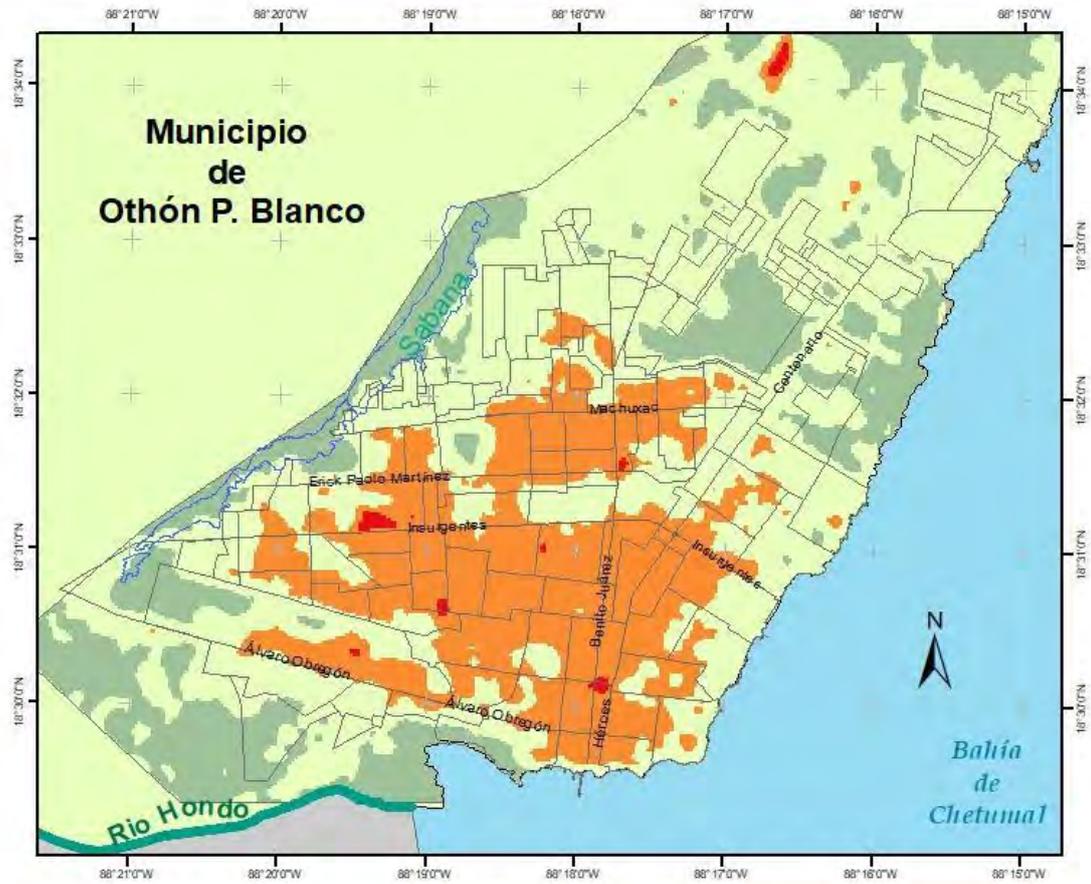
Con mayor extensión se tienen las anomalías térmicas que van de -2 a -1°C estas tienen una distribución que cubre gran parte de la ciudad, al igual que las anomalías anteriores estas tienen mayor cubierta dominante al sur de la ciudad distribuyéndose al norte entre las avenidas Machuxac y Erick Paolo predominantemente al este de las vialidades.

Las anomalías positivas por su parte se ubican mayormente en la periferia de la ciudad principalmente al suroeste, dentro de la ciudad únicamente se encuentran tres puntos, el que tiene la ubicación más céntrica dentro de la ciudad es el punto ubicado en la parte posterior de la plaza comercial Capital Center, otros dos se encuentran en colindancia con la Bahía, pero aun estando dentro de los límites de la ciudad, estos se ubican en las cercanías de la escuela preparatoria CETMAR.

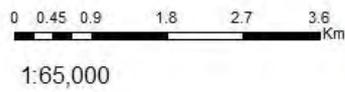
La distribución de anomalías tiene un patrón de dispersión similar a la intensidad, si bien las máximas negativas se encuentran puntos focales donde se ubican las intensidades máximas la superficie ocupada es menor, caso similar con las anomalías positivas que tienen en varios puntos la misma ubicación, pero con una superficie menor.

En cuanto a la dispersión de las anomalías que se encuentran dentro de los -2 a -1°C y las intensidades de 4 a 5°C se puede observar que tienen un patrón semejante, ya que se presentan en las mismas áreas teniendo únicamente una reducción en los bordes de las anomalías dando ligeramente una reducción al espacio ocupado.

Anomalías térmicas julio 2018



Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación



Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984
 Autor: Yarandy Padilla

Simbología

Desviaciones Estándar

- 2.6 -- -2
- 2 -- -1
- 1 - 1
- 1 - 2
- 2 - 3
- AGEB

Mapa 27. Distribución de anomalías térmicas en julio

4.4.4 Índices

Se mantiene la clasificación de rangos recordando su aplicación a la simbología de los respectivos mapas.

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

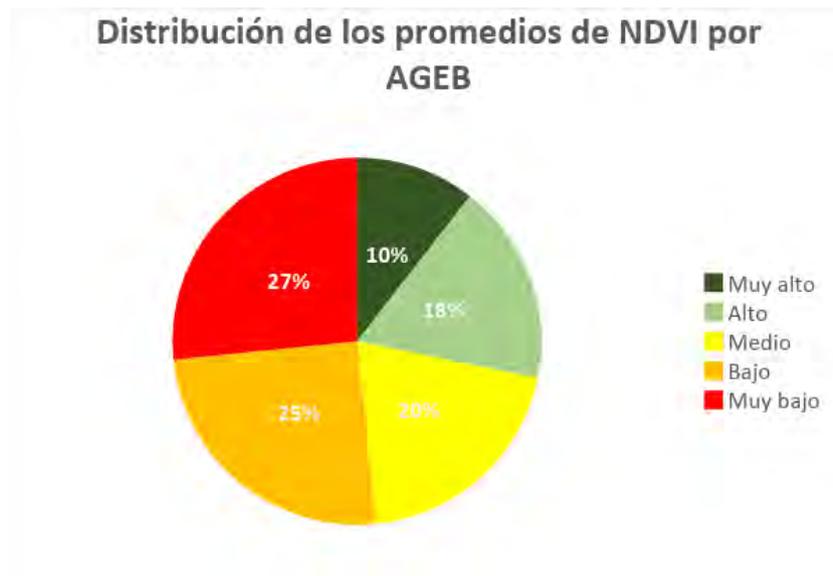
- NDVI

El resultado de los promedios del índice de vegetación del mapa 28 a partir del Anexo 13. Se obtuvo que el 10% de las AGEBs tiene un índice Muy alto de NDVI estas áreas se ubican a en las AGEBs que se encuentran en el límite urbano de la ciudad, distribuyéndose al suroeste de la ciudad las de mayor extensión, en los límites del norte habiendo varias de menor tamaño y al noreste de la ciudad dentro de las colonias Andara y Santa María.

El 18% de las AGEBs que tienen un índice Alto se encuentran ubicadas contiguas en varios casos a las áreas anteriores, ubicando un único polígono al interior de la ciudad al oeste de esta y cercano a la av. Insurgentes. Calderitas tiene dominación de NDVI Alto ya que solo son dos AGEBs de menor tamaño las que tienen una categoría diferente.

Las áreas que tienen un NDVI medio son el 20% distribuyéndose en zonas como el este de la ciudad como parte de la transición entre AGEBs con índices Alto y Muy alto con las que tienen Bajo y Muy bajo. La mayoría de estas áreas se encuentran próximas a la av. Insurgentes y algunas dispersas al norte de la ciudad.

El 52% de la ciudad para este mes tiene un NDVI Bajo (25%) o Muy Bajo (27%), la distribución que presentan las de la última clase están en relación con las avenidas principales, ya que un conglomerado se distribuye de manera vertical sobre las av. Héroes y Benito Juárez, mientras que otro conglomerado con mayor número de AGEBs comienza al oeste de la av. Insurgentes siguiendo la av. Erick Paolo subiendo a la av. Machuxac y distribuyéndose de forma vertical sobre la av. Constituyentes. Por su parte las áreas con NDVI bajo se encuentran circundantes a las de Muy bajo.



Gráfica 22. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDVI

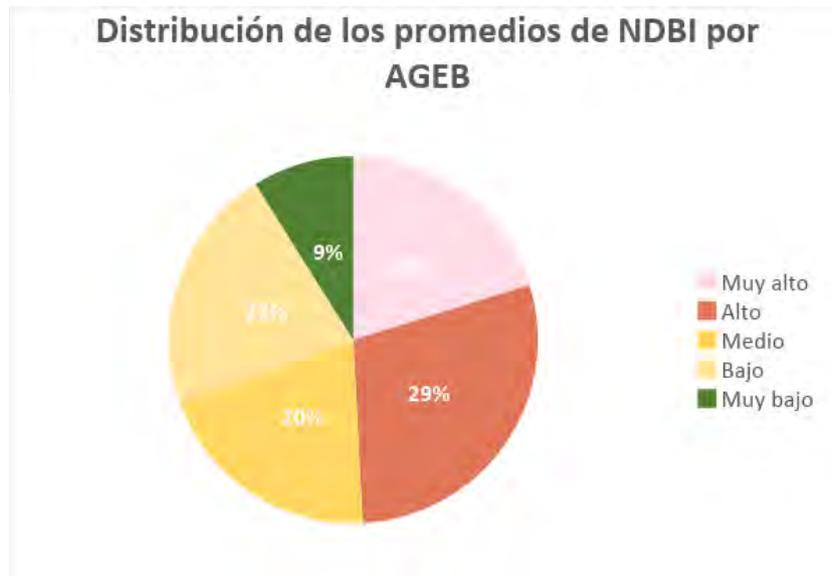
- NDBI

A partir del Anexo 14 se elaboró el mapa 29 dando como resultado que el 20% de las AGEBs de Chetumal tienen un NDBI Muy alto, estas áreas se distribuyen casi equitativamente al norte y al sur de la ciudad, tienen una tendencia de distribución transversalmente en la ciudad sobre las av. Benito Juárez y Héroes al sur y sobre las Constituyentes al norte, al oeste se distribuye de forma paralela a la av. Insurgentes y hay algunos polígonos al noreste de la ciudad, en la parte posterior de la colonia Pacto Obrero Campesino.

Las áreas de Alto índice son el 29% de las AGEBs de la ciudad y tienen una distribución dominante al norte de la ciudad. En general su patrón de dispersión se encuentra contiguo a las áreas de Muy alto y Medio que son áreas que ocupan el 20% de las AGEBs. La distribución de estas se encuentra en relación con las dos clases anteriores siendo estas tres las que componen principalmente los índices dentro de la ciudad.

Posteriormente se tienen las áreas de Bajo índice (22%) las cuales están distribuidas en la parte colindante con los límites de la ciudad, los polígonos encontrados están ubicados en Calderitas, algunos de poca superficie al norte de la ciudad y otros de mayor superficie al sureste contiguos a la bahía, otros más al suroeste cercanos al espacio del aeropuerto. Finalmente, las AGEBs con Muy bajo índice (9%) se

encuentran únicamente en las áreas límite de la ciudad, siendo las que están al oeste y sur del aeropuerto, algunas al norte de la ciudad y otras al este.



Gráfica 23. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDBI

- NDWI

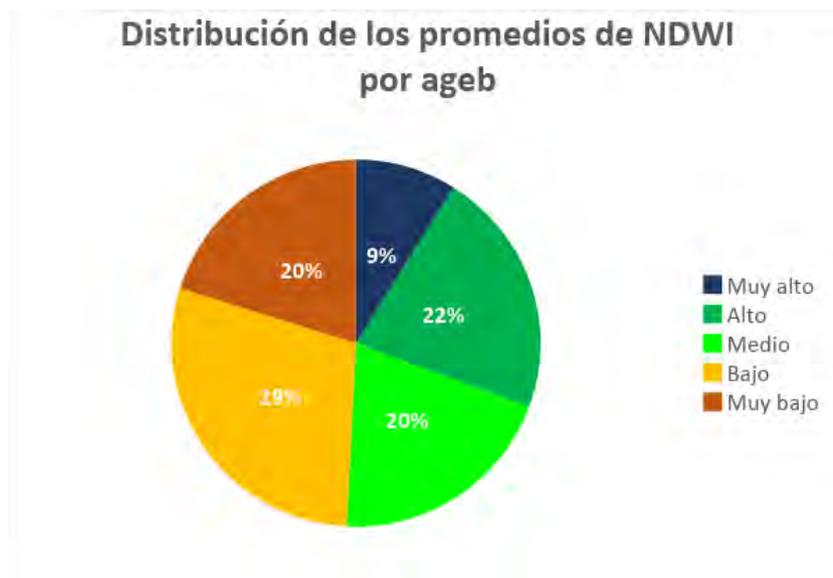
Con el Anexo 15 se elaboró el mapa 30, el resultado es la distribución promedio de la humedad en la ciudad. El 51% de la ciudad tiene un índice que va de Muy alto a Medio; desglosado se distribuye de la siguiente forma, el 9% de las AGEBs tiene un NDVI Muy alto, ubicándose estas zonas al suroeste de la ciudad, al noreste y al norte, la característica principal de ellas es la cercanía inmediata con los límites de la ciudad.

Las AGEBs de NDWI alto ocupan un 22% y estas tienen una proximidad inmediata a las áreas anteriores, en algunos casos en donde no están en cercanía tienen una distribución similar, estando en las áreas límites de la ciudad, a excepción de una que se encuentra relativamente al interior de la ciudad al oeste de esta. Calderitas tiene un NDWI dominante Alto.

El 20% de las AGEBs tiene un NDWI Medio y estas áreas se encuentran en continuidad de las dos anteriores pero presentes de manera más interior en la ciudad y están separan de forma evidente las áreas de Bajo y Alto.

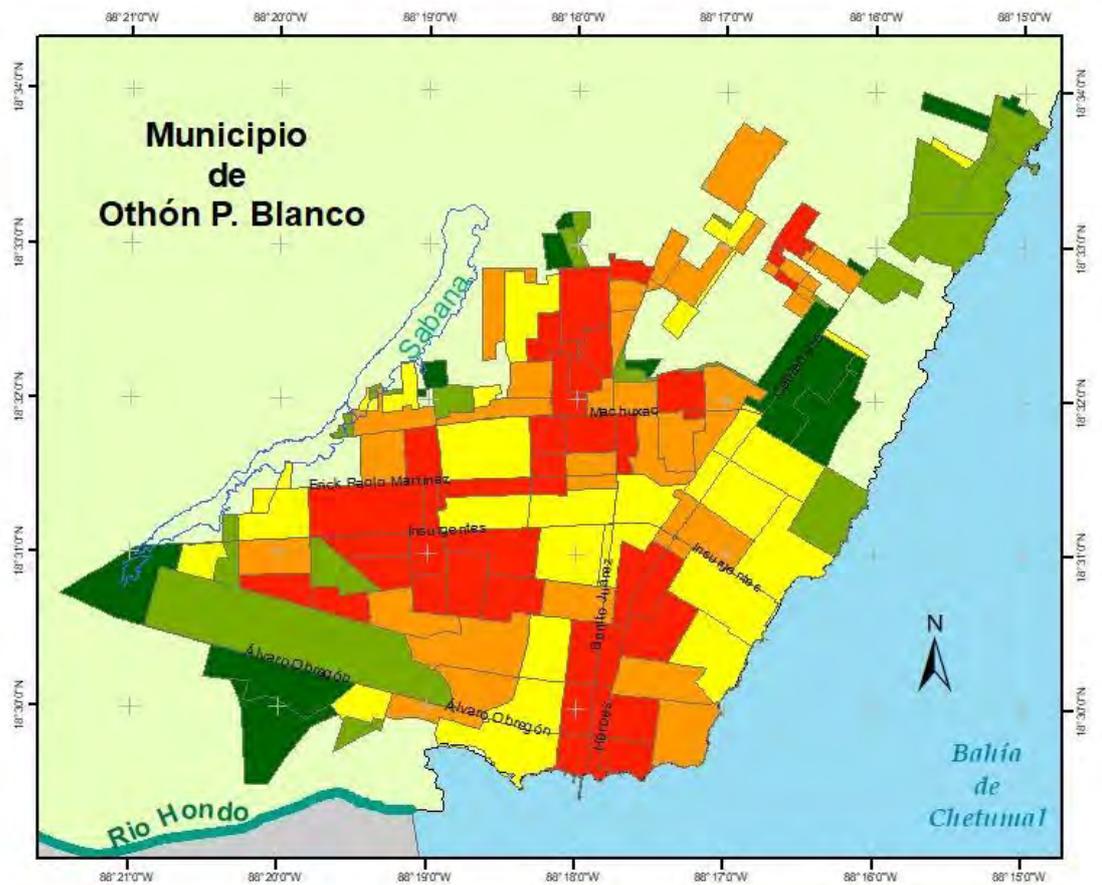
Las áreas de que tienen un NDWI Bajo y Muy bajo constituyen el 49% del total de las AGEBs teniendo 29% y 20% respectivamente. La distribución de estas tomando como referencia la av. Insurgente, al sur están interiorizadas, ubicadas al centro de la zona y rodeado de las demás clases. Al Norte de la ciudad la mayor conglomeración de AGEBs con estas categorías (Bajo y Muy Bajo) se encuentran de forma dominante en la parte superior.

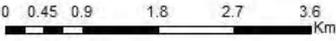
Hay que señalar que en el Anexo 15 se puede observar que en aquellas AGEBs que tienen un NDWI medio, se puede identificar un patrón de distribución donde se distingue de forma notoria la traza de las manzanas; en zonas de Alto, el color dominante es verde sin tener un patrón espacial de traza urbana, mientras que en las áreas de Bajo o Muy Bajo lo único que se llega a distinguir son pequeños parches verdes al interior de zonas de color amarillo – naranja, resultado del déficit de humedad en la zona.



Gráfica 24. Ocupación de las AGEBs por promedio de NDWI

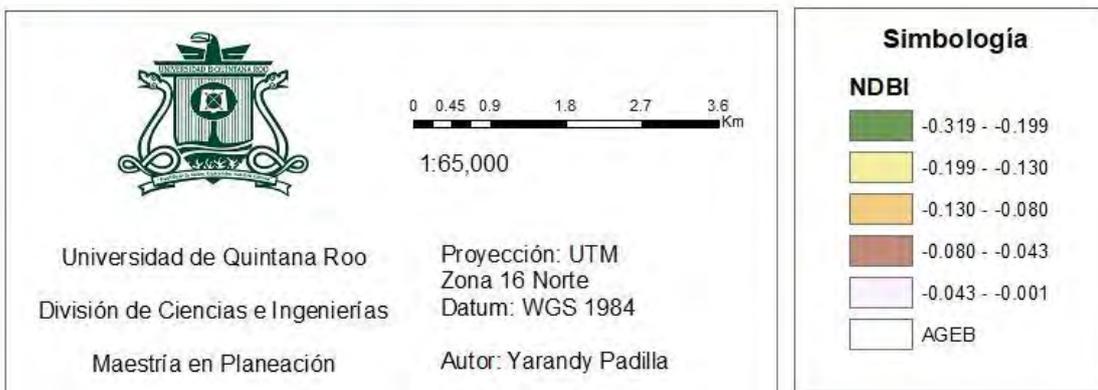
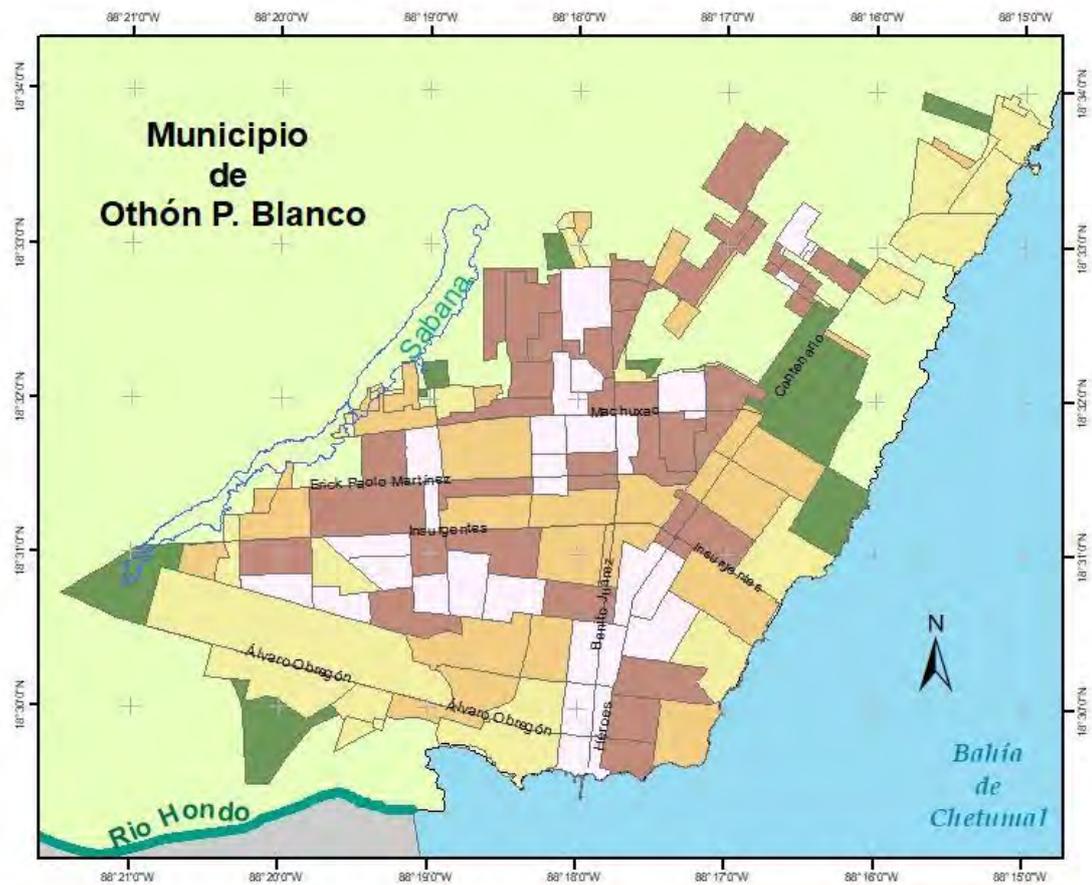
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada julio 2018



	 1:65,000	Simbología NDVI <table style="margin: auto;"> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; background-color: red;"></td><td>0.147 - 0.202</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; background-color: orange;"></td><td>0.202 - 0.246</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; background-color: yellow;"></td><td>0.246 - 0.296</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; background-color: lightgreen;"></td><td>0.296 - 0.366</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; background-color: darkgreen;"></td><td>0.366 - 0.508</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;"></td><td>AGEB</td></tr> </table>		0.147 - 0.202		0.202 - 0.246		0.246 - 0.296		0.296 - 0.366		0.366 - 0.508		AGEB
	0.147 - 0.202													
	0.202 - 0.246													
	0.246 - 0.296													
	0.296 - 0.366													
	0.366 - 0.508													
	AGEB													
Universidad de Quintana Roo División de Ciencias e Ingenierías Maestría en Planeación	Proyección: UTM Zona 16 Norte Datum: WGS 1984 Autor: Yarandy Padilla													

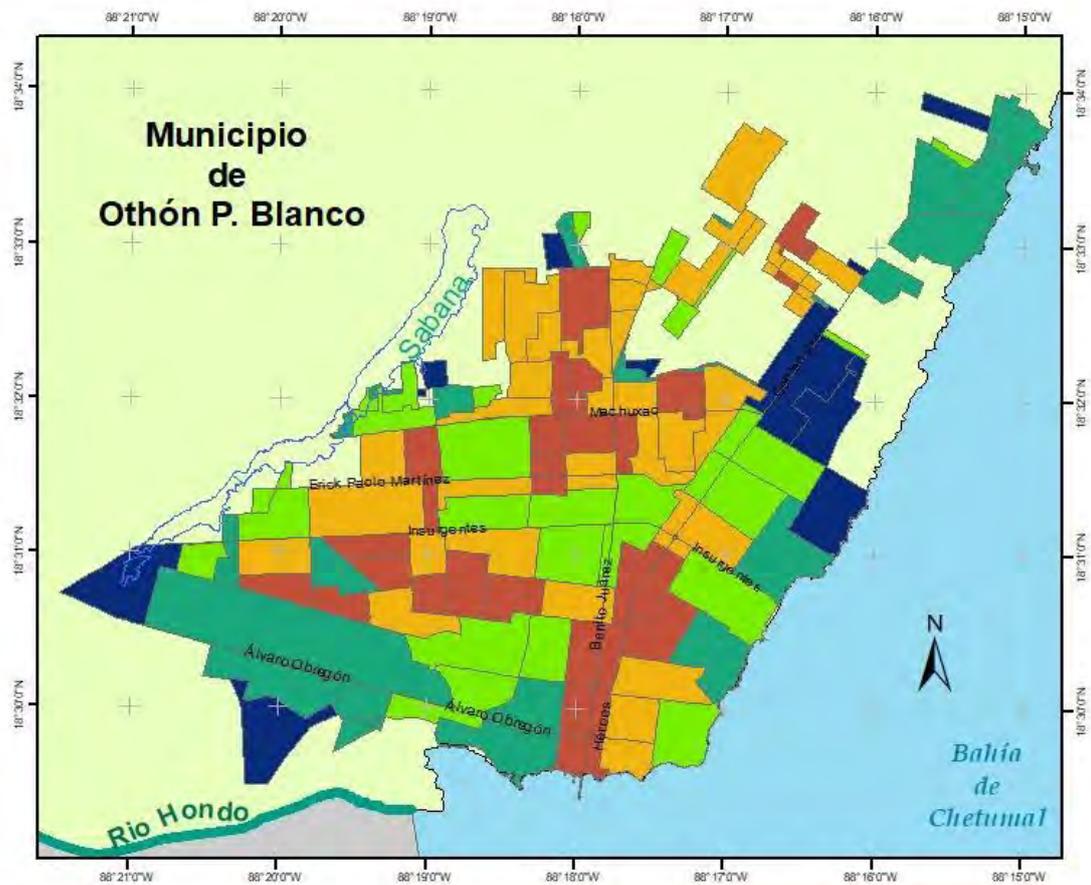
Mapa 28. Distribución de los promedios de NDVI en julio

Índice de Construcción de Diferencia Normalizada julio 2018

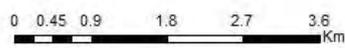


Mapa 29. Distribución de los promedios de NDBI en julio

Índice de Agua de Diferencia Normalizada julio 2018



Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984

Autor: Yarandy Padilla

Simbología

NDWI

	0.001 - 0.041
	0.041 - 0.078
	0.078 - 0.123
	0.123 - 0.185
	0.185 - 0.319
	AGEB

Mapa 30. Distribución de los promedios de NDWI en julio

4.4.5 Relación Temperatura – índices

El Anexo 3 sirvió de base para realizar el mapa 31 donde el 19% de las AGEBs tiene una temperatura Muy Alta yendo en promedio de los 28.9°C a los 29.8°C. Estas áreas se encuentran distribuidas principalmente al sur de la ciudad a partir de la av. Insurgentes hasta las AGEBs paralelas a la av. Álvaro Obregón y de forma perpendicular llegando a las AGEBs posteriores a la av. Héroe de Quevedo con dirección al este. También hay cierta distribución al norte entre las av. Machuxac y Erick Paolo.

Las temperaturas Altas ocupan el 22% de las AGEBs, tienen una distribución continua a las Muy Altas distribuyéndose principalmente al interior de la ciudad y próximas a las avenidas principales teniendo una distribución mayor interna y habiendo algunas que se encuentran ya en los límites colindantes con la Bahía. Las AGEBs con temperatura Media son el 22% y estas se ubican subsecuentemente de las Alta con la diferencia de que comienzan a aparecer predominantemente a las áreas más cercanas de los límites, en algunos polígonos se pueden observar dentro de la ciudad.

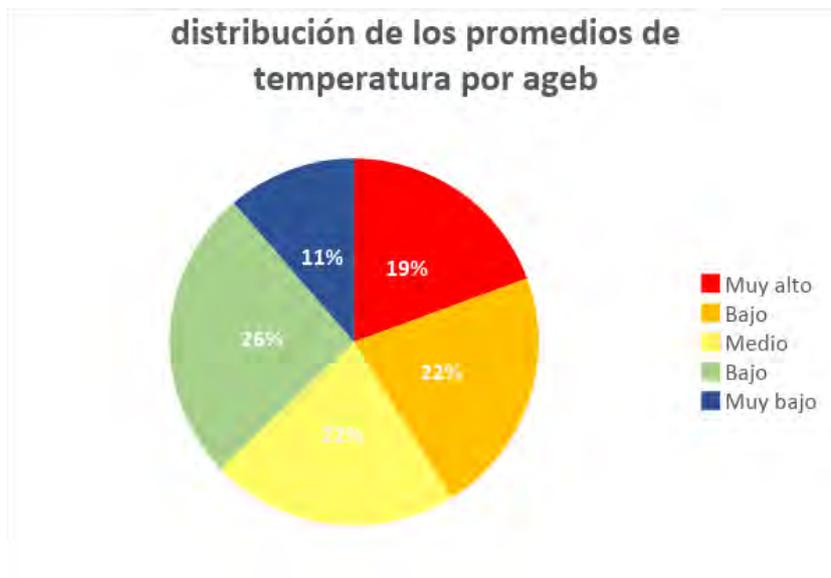
Las temperaturas Bajas tienen mayor dominación en las AGEBs con un 26% la distribución es semejante a las temperaturas Muy bajas que tienen la ocupación de 11%, en ambos casos las AGEBs que presentan estas clases se encuentran únicamente en los límites de la ciudad, y de forma dominante al norte y noreste de la misma, al suroeste cercano al polígono del aeropuerto se observan otras 4 áreas que también tienen estas clases siendo mayores en su superficie que las que se encuentran al norte.

A pesar de que las temperaturas Baja y Muy Baja tienen ocupado el 37% de las AGEBs el espacio de superficial que tienen es significativamente menor que el de las AGEBs que tienen temperatura Alta o Muy alta que son el 41%

En el anexo utilizado de base para el análisis de los promedios se observa que las temperaturas dominantes de la ciudad de forma superficial van de los 31°C a los 28°C. Las áreas en donde se encuentran las mayores temperaturas (31°C) tienen una zona de influencia inmediata circundante (30°C) teniendo una mayor dispersión de pequeños polígonos que tienen los 30°C concentrados en su totalidad en la superficie de los 29°C. en decrecimiento la siguiente temperatura los 28°C rodean todas las temperaturas internas de la ciudad y es la última temperatura urbana que tiene mayor extensión, en

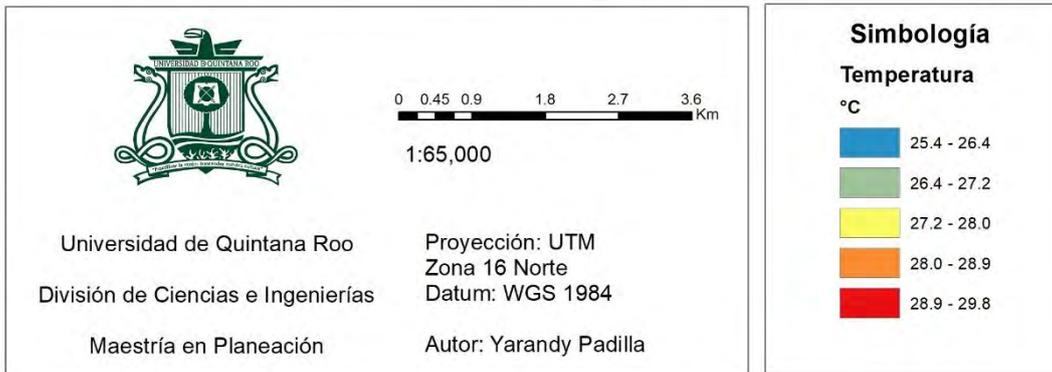
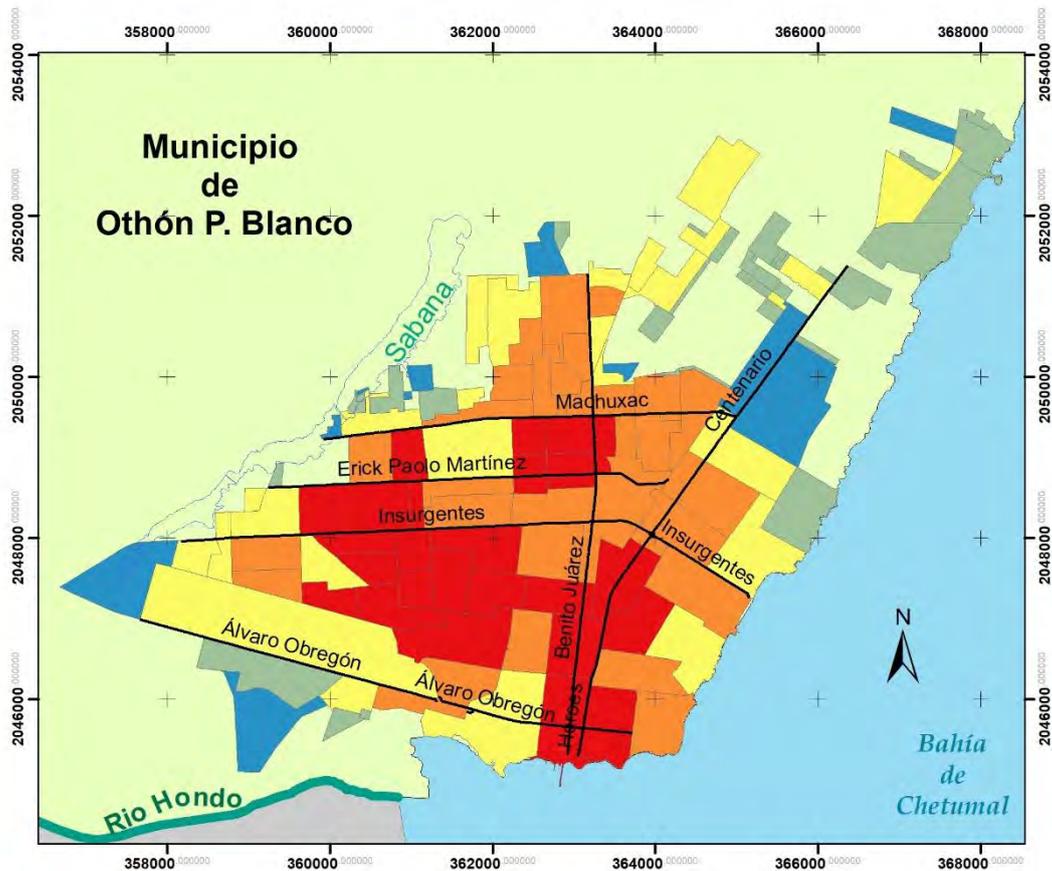
ella se encuentran dispersos algunos polígonos de 29°C.

Las temperaturas mínimas se encuentran en los cuerpos de agua, ya sea en la sabana o en la Bahía de Chetumal, pero de manera superficial las zonas vegetadas externas a los límites de la ciudad tienen 24°C y aquellas que se encuentran dentro de la ciudad llegan a tener 25°C seguidas de gradientes inmediatas a su contorno hasta fundirse el efecto que tienen con el calor retenido en la ciudad en los 28°C.



Gráfica 25. Distribución de los promedios de temperaturas por AGEb

Distribución media térmica julio 2018



Mapa 31. Distribución de la media térmica por AGEB en julio

Con el resultado de la distribución del mapa 31 y su anterior explicación se encuentra que las áreas de la ciudad que tienen una temperatura Muy alta coinciden parcialmente

con las áreas de NDVI Muy bajo, en su mayoría todas las áreas de las temperaturas Muy altas corresponden inversamente al patrón de distribución de las de NDVI, sin embargo, algunas áreas que tienen un NDVI Muy bajo como las que están situadas al norte de la ciudad tienen una temperatura Alta.

Para el NDBI las temperaturas Muy altas se distribuyen en las zonas de Muy alto y Alto contraparte al NDWI donde estas mismas temperaturas se distribuyen en las áreas de Baja y Muy baja humedad, siendo la mayoría de estas áreas las que se encuentran al sur al interior de la ciudad y al norte dentro de las avenidas principales.

La temperatura Alta y Media tiene la distribución de los polígonos de las AGEBs con NDVI Bajo y Medio al igual que en el NDWI, mientras que en el NDBI las áreas que ocupa son las que tienen Alto, Medio y en algunas AGEBs Bajo.

Las AGEBs que tienen una temperatura Baja y Muy baja se ubican en las AGEBs que tienen un NDVI Alto y Muy Alto salvo en un caso en particular del aeropuerto y área superior en donde el NDVI es Alto pero la temperatura presente es Media, en los anexos correspondientes se puede observar que para el aeropuerto se distingue el contraste de la pista de aterrizaje y la diferencia con el área vegetal circundante tanto en la temperatura como para el NDVI. Para el NDBI y NDWI existe un mayor contraste en la dispersión, ya que únicamente las áreas con NDBI Muy bajo y las de NDWI Muy alto tienen la misma ubicación que las AGEBs con temperatura Muy baja.

Con el coeficiente de correlación de Pearson estas relaciones de ubicación anteriores se identifican de mejor manera, notando que la distribución de temperatura tiene una relación más directa con el NDVI teniendo un coeficiente negativo de 0.80, mostrando que en las zonas en donde hay mayor vegetación la temperatura es menor, comportamiento similar al NDWI, que tiene un coeficiente negativo de 0.76 indicando que en las áreas que hay mayor humedad la temperatura disminuye; el coeficiente de construcción siendo inversamente proporcional al de NDWI tiene es de 0.76 demostrando que donde hay más construcción la temperatura es mayor.

Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson de Temperatura con los diferentes índices.

Temperatura / NDVI	Temperatura / NDBI	Temperatura / NDWI
--------------------	--------------------	--------------------

-0.80340309	0.76017893	-0.76017893
-------------	------------	-------------

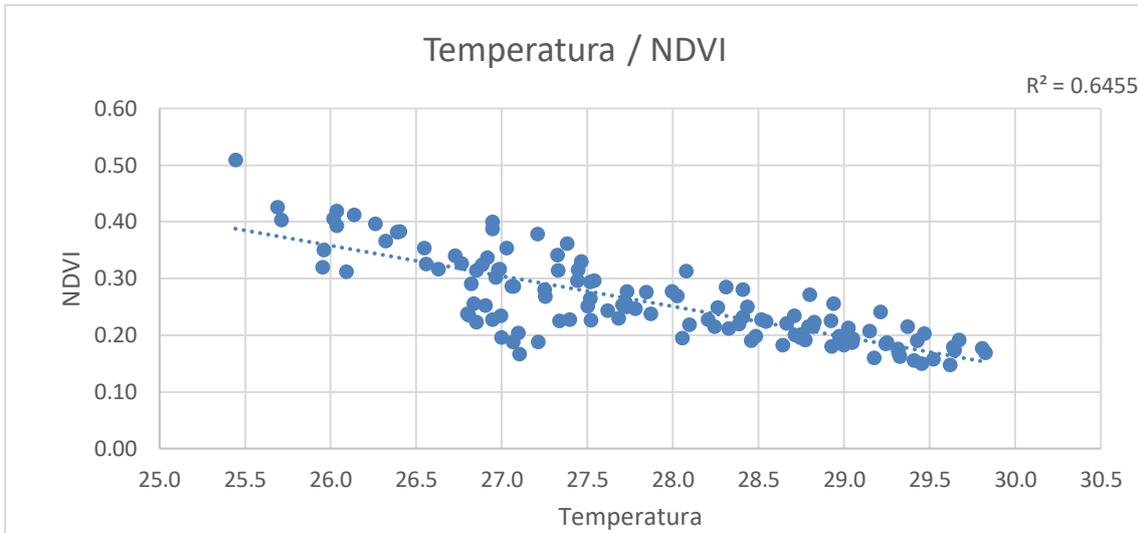
Esta relación de los índices se puede observar en las gráficas siguientes en donde se relaciona la temperatura con la dispersión de los índices y posteriormente contrastando el comportamiento de los índices y la temperatura por AGEB.

En las gráficas podemos observar que el índice de vegetación tiene una dispersión que se ajusta de mejor manera a la línea de tendencia y que su comportamiento comparado en las AGEBS se nota que en los picos donde la AGEB tiene en promedio más vegetación la temperatura tiene un comportamiento inverso, mostrando una temperatura menor.

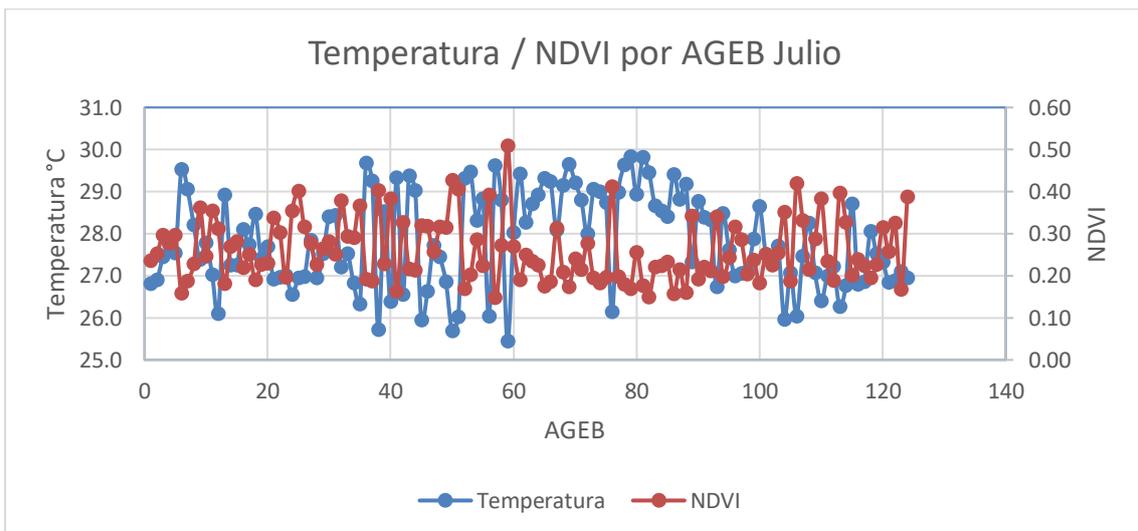
Para el caso del NDBI los datos muestran mayor dispersión con respecto a la línea de tendencia, pero interesante en este caso es la dispersión que se tiene por AGEB, ya que se observa un comportamiento similar en ambos elementos, en los puntos más altos de temperatura. Si bien existen áreas en donde el comportamiento de la temperatura contrasta de los datos de NDBI es debido a los promedios que se están manejando en los datos, como el caso ya explicado del aeropuerto.

Para el NDWI tiene un comportamiento inverso al NDBI, donde los datos tienen una dispersión notable con respecto a la línea de tendencia, pero el comportamiento del índice con la temperatura respecto a las AGEBS es lo que resalta. En este caso se tiene un comportamiento inverso ya que en las áreas donde mayor es el promedio de humedad menor es la temperatura presente, de forma similar pasa con las áreas en donde la humedad es menor la temperatura aumenta.

- NDVI

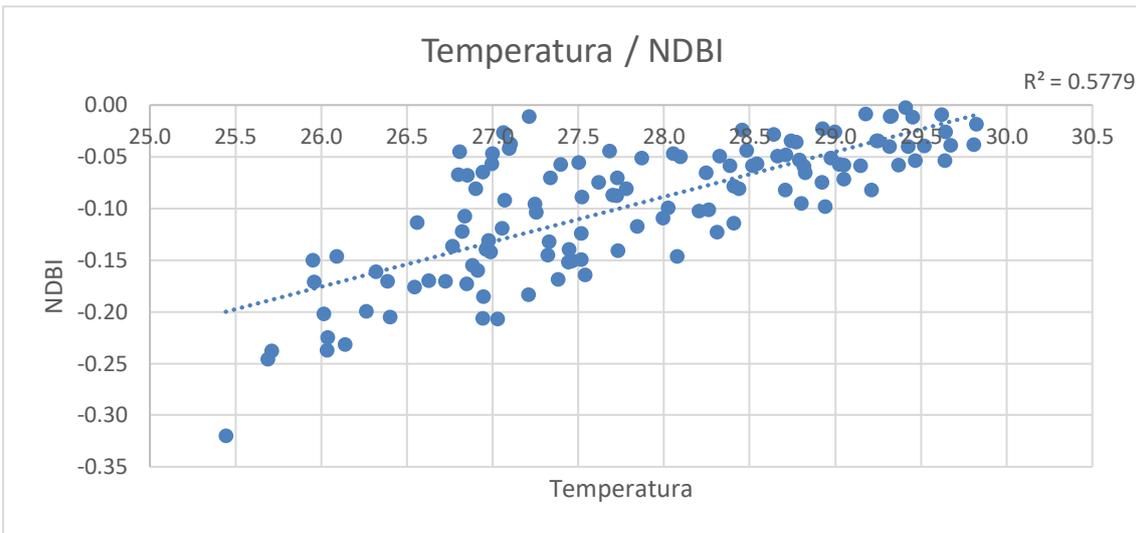


Gráfica 26. Relación entre temperatura y NDVI

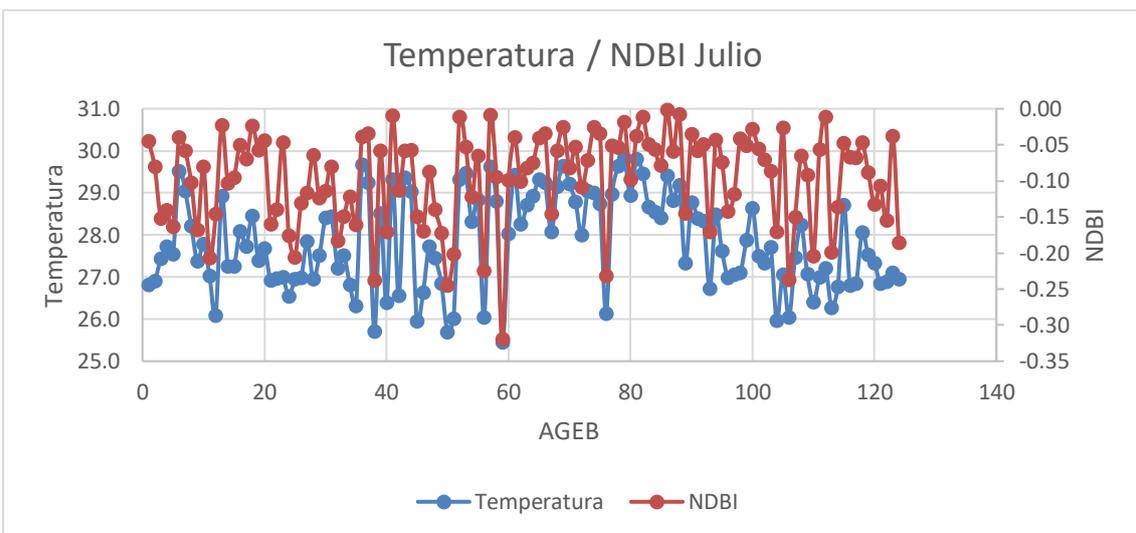


Gráfica 27. Comparación del comportamiento térmico y de NDVI por AGEBs

- NDBI

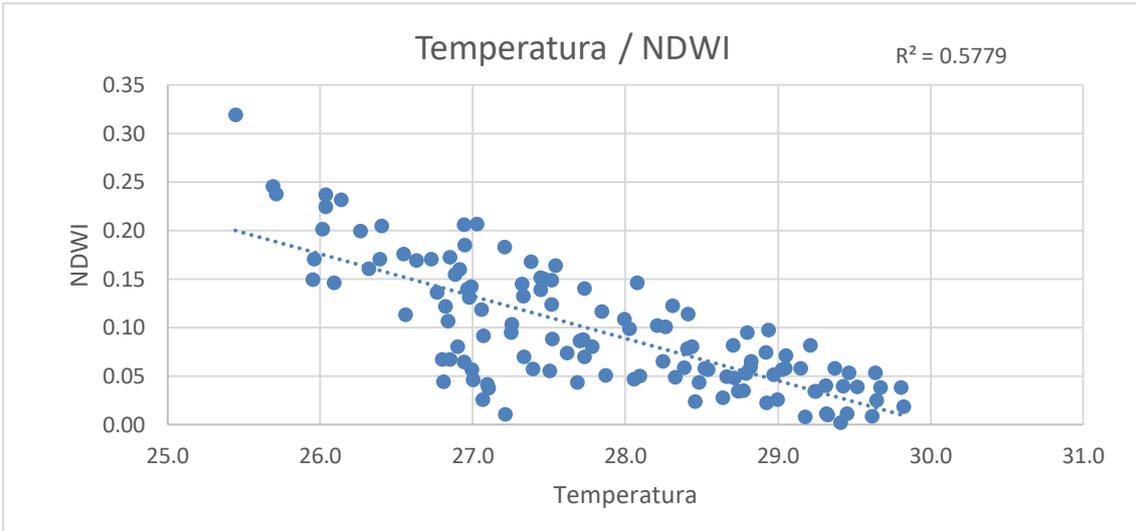


Gráfica 28. Relación entre temperatura y NDBI

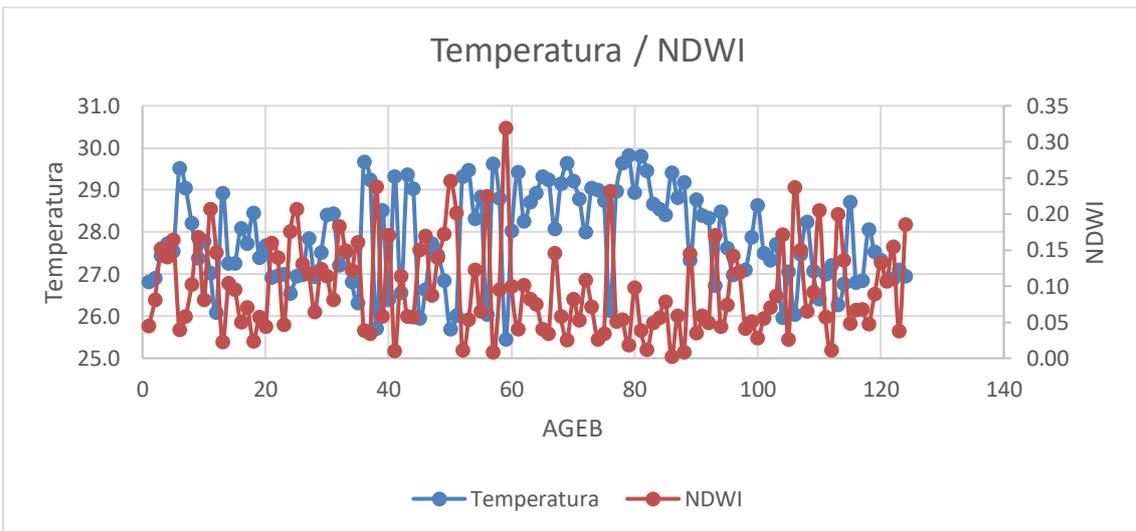


Gráfica 29 Comparación del comportamiento térmico y de NDBI por AGEs

- NDWI



Gráfica 30. Relación entre temperatura y NDWI



Gráfica 31. Comparación del comportamiento térmico y de NDWI por AGEs

4.5 Discusión

A pesar de tener la comparación de las distintas características de tres días representativos de momentos extremos del año, en enero, mayo y julio; lo recomendable es tener un análisis de mayor amplitud teniendo un lapso de estudio mensual recurrente o anual, hay autores que consideran el comportamiento mensual o puntual para describir el comportamiento térmico. Liu, Zhang (2011); Paulo Gomes, Amorim, y de Costa, (2016); Stathopoulou, Cartalis, y Keramitsoglou, (2004) hacen un análisis preciso en el año, únicamente tomando los datos en concreto de un mes o comparando el comportamiento entre verano e invierno de un año en específico, por lo que hacer un estudio puntual puede permitir tener un acercamiento a la comprensión de la distribución térmica en ciertos momentos del año.

Hablar de Islas de Calor Urbanas es hablar de la descripción del calor atmosférico y superficial en las ciudades y su comparación con sus entornos (Voogt, 2008). Cabe recordar que Oke, (1973) remarca, que en dependencia del tamaño de la ciudad es la distribución de la intensidad de las ICUs.

Comparando la temperatura de Chetumal con su población próxima siendo esta Calderitas; podemos remarcar varias observaciones iniciando por la conformación del paisaje construido. En Chetumal se pueden identificar un centro con predominante cobertura artificial y carente de vegetación que conforme se aleja del centro generalmente al sur, oeste y este se encuentran áreas predominantemente habitacionales con mayor presencia de vegetación, al norte de la ciudad se encuentran los desarrollos inmobiliarios de viviendas de interés social en donde la ocupación de la vegetación disminuye y la presente es predominantemente de ornato. En Calderitas, resalta que la mayor parte de la comunidad no cuenta con equipamiento urbano, las manzanas tienen menor número de viviendas y la cantidad de árboles es mayor debido a que en las manzanas la construcción se realiza de forma periférica y al interior queda resguardada la vegetación, es común ver dentro de la comunidad tanto árboles frutales como maderables con alturas mayores a los comparados dentro de la ciudad.

En cuestión de temperatura con lo visto anteriormente Chetumal es más cálido que Calderitas de 0.9°C a 1.6°C, teniendo en el mes más cálido una diferencia en temperaturas máximas de 3.9°C, con las áreas verdes circundantes la diferencia puede

ser de 2.5° a 4.1°C tomando como referente el promedio de temperatura de la ciudad.

La diferencia térmica se da básicamente por lo ya descrito por Oke (1973); el tamaño de las ciudades influye en la intensidad de la Isla de Calor, debido al tamaño de la población que almacena, las actividades realizadas, el tipo de vivienda, el tráfico, la densidad vegetal y demás elementos que contribuyen a la acumulación de calor dentro de la ciudad; razón por la cual al contrastar Calderitas con Chetumal resulta evidente esta diferencia de temperatura, ya que la comunidad es significativa de menor tamaño y población que la ciudad.

Discriminando el cuerpo de agua de la Bahía las intensidades en el mes de enero van de -1 a 5°C mientras que en el mes de mayo y julio son de -1°C a 7°C a pesar de que estos dos últimos meses difieren en el rango de temperaturas y en la temperatura promedio. Lo interesante en las intensidades es la distribución de los máximos y mínimos.

En las intensidades máximas o máximos térmicos de los diferentes meses se describieron las diferentes variaciones, sin embargo, al compararlas entre ellas se distinguen dos áreas constantes de máxima intensidad siendo 5°C o 7°C según corresponda, pertenecientes a las áreas del centro comercial Plaza las Américas y el supermercado Aki. Ambas áreas tienen como características constantes la extensión utilizada está por una superficie impermeable, los inmuebles tienen sistemas de enfriamiento artificiales y escasa vegetación siendo en mayoría de ornato.

De forma decreciente inmediata a estas máximas intensidades hay un comportamiento interesante que destacar, en enero las intensidades máximas son puntuales y tienen un área de influencia inmediata a ellas que se debilita conforme se aleja de ese máximo hasta quedar en la intensidad constante de la ciudad para este caso 3°C, y los únicos parches de intensidades ya con una extensión mayor se encuentran en el aeropuerto y sobre lo conocido como centro de Chetumal (la parte comercial), para julio es un comportamiento semejante variando únicamente en rango de intensidades y cuya intensidad de mayor distribución es 5°C. En mayo hay una presencia de la mayoría de los puntos calientes presentes en enero y julio, la diferencia son sus áreas de influencia que ocupan mayor superficie, encontrando parches en donde se unen varios puntos con sus respectivas áreas de influencia formando una zona de acumulación térmica mayor que lo visto en los otros meses; a pesar de ellos la intensidad predominante oscila entre

los 4°C y 5°C.

Es notorio el impacto de la vegetación en la distribución térmica; en los Anexos donde se muestran la intensidad desagregada por grados, los espacios de vegetación abundante son aquellos que en los tres meses permanecen con las mínimas temperatura en este caso corresponde al 0°C en intensidad. Dentro de la ciudad el espacio más relevante con las características anteriores corresponde al zoológico Payo Obispo, a pesar de que en mayo tiene una intensidad de 1°C este punto forma parte de un tipo de corredor de baja intensidad.

Este corredor resulta evidente que, tanto en los mapas como anexos correspondientes, se aprecia una zona que almacena las menores intensidades; este parte desde el zoológico distribuyéndose en dirección al este sobre la av. Insurgentes hasta topar con la av. Centenario ascendiendo por ella hasta integrarse a las zonas de menor intensidad. Este “corredor” tiene una intensidad de 1°C o 2°C mermando las intensidades de 4°C y 5°C al borde de su paso.

Ruiz y Leiva (2014) describen en su trabajo que aquellas zonas con vegetación de gran altura (con respecto a la regional) poseen temperaturas son menores; este el caso en el zoológico, también encontrado en la zona posterior a Capital Center y las áreas periféricas de la ciudad, lo que explica porque estas zonas mantienen de forma constante las mínimas temperaturas.

Por el contrario Guillén-Mena y Valdez (2016) concluyen en su trabajo que los puntos de mayor calor superficial corresponden a zonas cuyas características son los espacios carentes de vegetación, con mayor tráfico, afluencia de personas y actividades industriales; en Chetumal no hay actividades industriales al interior de la ciudad, pero las demás características se encuentran presentes en los puntos de mayores intensidades, adicionando edificios que tienen un alto consumo energético por los sistemas de enfriamiento.

En las anomalías térmicas negativas existen 5 puntos calientes contantes con probabilidades de convertirse en una microisla de calor urbana; en las intensidades sólo se encontraban 2 puntos que también aparecen aquí, adicionando el aeropuerto, el Hospital General y el supermercado Soriana. En enero es cuando más puntos de

anomalías térmicas y de mayor superficie se observan siendo resultado de las mínimas temperaturas del mes y las características ya descritas para estos puntos.

Las anomalías que van de -2° a -1°C en los tres mapas permiten identificar de manera sencilla la forma y distribución temporal de la distribución térmica. En las fechas analizadas se observa que la localización del calor tiene una distribución confinada al interior de la ciudad y sigue de cierta manera el trazado de la esta, cambiando de modo temporal únicamente en su extensión, pero manteniendo el mismo patrón. En las anomalías positivas se observa su presencia predominante al exterior de la ciudad y teniendo una única presencia al interior de la ciudad confinada a la zona vegetada posterior a Capital Center.

Aniello, Morgan, Busbey, y Newland (1995) identificaron microislas de calor utilizando una sola escena satelital, en ella encontraron que en su zona de estudio los usos de suelo asociados con la cubierta impermeable como los estacionamientos de asfalto, calles, o gran cantidad de edificios están asociados con las Microislas de calor, al igual que las áreas con suelo desnudo y con cubierta de hierba. Para Chetumal esas zonas de anomalías térmicas negativas al igual que las intensidades mayores cumplen con esos criterios, y se explica la constancia de la zona de calor al norte de la ciudad, ya que siendo un área de nueva creación lo dominante de ahí es suelo desnudo con nula vegetación.

Los índices y su relación con la temperatura ya han sido previamente evaluados en otros trabajos; en esta investigación se encontró una relación más fuerte entre la vegetación y la temperatura que entre la temperatura y otros índices, pero en los tres casos tienen una relación positiva o negativa que fue incrementando, presentando la relación más fuerte en julio.

Hay que remarcar que las variaciones que tuvieron índices no necesariamente son debido al incremento en la superficie del índice sino por cuestiones ambientales, a final de cuentas estos índices miden la cantidad de energía absorbida y reflejada por las diferentes superficies. Como se describió anteriormente para el caso del NDVI se mide la cantidad y calidad de la vegetación; enero tiene la mínima precipitación de los tres meses estudiados, por lo que resulta lógico tener el NDVI más bajo en ese mes, ya que el estrés hídrico afecta la calidad del arbolado. Para los siguientes meses el NDBI

aumenta y en este caso es por la energía absorbida por los materiales de construcción de los edificios, consecuencia lógica de las altas temperaturas de los meses seleccionados.

Esta correlación lineal difiere a lo encontrado por Yuan y Bauer (2007), ya que en su estudio en Minnesota se encontró que la distribución térmica está más relacionada con el NDBI que con el NDVI, y tiene una mayor constancia debido a la variación temporal del índice de vegetación. En Chetumal indiferentemente de la temporada, la temperatura tiene una correlación más fuerte con la vegetación que con la parte edificada, haciendo que las temperaturas sean debilitas al acercarse a áreas vegetadas.

CONCLUSIONES

Derivado al marco conceptual, se puede determinar que el uso de isla de calor define únicamente la diferencia de temperatura de la ciudad contrastado contra la periferia natural o rural; el término que más se adecua para la acumulación puntual del calor en la ciudad queda mejor descrito dentro del término microisla de calor, siendo aquellas áreas urbanas que dependiendo de la ciudad almacenan mayor calor y siendo estas las áreas prioritarias para implementar estrategias en la reducción térmica urbana.

Con el marco normativo y diversos programas que tiene México se promueve en algunos aspectos la implementación de medidas de mitigación o adaptación que conciernen a Islas de Calor Urbanas (ICUs), sin embargo, la forma en la cual son abordadas en el marco no está diseñada para atender esta problemática (ICUs); principalmente están elaborados pensando en la reducción del impacto y contribución que tienen las ciudades ante el Cambio Climático, por lo que las medidas son parcialmente similares. Lo necesario en este caso es tener un marco que permita la implementación de las medidas enfocadas a los efectos de las ICUs, ya que con el aumento de la temperatura global efectos como las olas de calor se ven acentuados y con mayor impacto a la salud humana y las medidas temporales como el uso de sistemas de enfriamiento no son una solución.

A pesar de que dentro del Plan de Desarrollo Urbano se contempla un proyecto de reforestación y se sabe que este puede minimizar el efecto de isla de calor, no se encuentra en el Plan en ningún apartado en el cual se aborde la distribución térmica de Chetumal y las áreas prioritarias a manejar, de igual forma no se trata la problemática de isla de calor como tal por lo cual no se proponen estrategias para mitigar este efecto de climatología urbana.

En cuestiones metodológicas, se requiere de una combinación de diferentes técnicas como las propuestas para la identificación de la isla de calor, sin embargo, el estudio no puede realizarse de forma única, debe ser tomando en cuenta diferentes temporalidades para observar el fenómeno ante distintas condiciones que pueden afectar su comportamiento. Para el caso de planeación se necesita identificar las anomalías térmicas, ya que no señalan únicamente las zonas que acumulan el calor, sino aquellas

que tienen mayor probabilidad de convertirse en una microisla de calor, de forma que permite tomar acciones anticipadamente.

En el comportamiento térmico se observa que la periferia de Chetumal almacena las menores temperaturas, asociando estas a masas de vegetación o cuerpos de agua. En comparación con Calderitas la ciudad es más cálida, derivándose por la diferencia de elementos constituyentes (dimensión de predios, equipamiento urbano, vegetación, tráfico, dinámica social).

La intensidad máxima urbana supera por 5°C o 7°C las áreas arboladas que se encuentra predominantemente al exterior de la ciudad y en algunos casos al interior y en comparación con las intensidades mínimas terrestres los cuerpos de agua tienen de forma constante una diferencia de -1°C. Los puntos calientes de Chetumal tienen como características comunes la poca o nula vegetación, zonas de mayor afluencia vehicular / de personas, superficies impermeables, y en algunos casos sistemas de enfriamiento artificiales de gran volumen.

Las anomalías térmicas permiten definir la forma de la distribución térmica, ubicada de manera al interior de la ciudad teniendo una dispersión similar, únicamente variando la superficie sobre la cual se encuentra. Con este punto se puede afirmar que hay presencia del efecto de Isla de Calor Urbana Superficial, ya que las anomalías térmicas que van de -1 a -2 muestran este fenómeno y su presencia para las tres fechas analizadas, también hay existencia de microislas de calor, representadas por las intensidades mayores a -2. Siendo estas últimas las zonas de mayor prioridad para la implementación de medidas de mitigación del fenómeno.

En cuanto a la relación con los índices se observa que la mayor correlación lineal que existe es entre la temperatura y la vegetación, por lo que la distribución es un factor determinante para el desarrollo de ICUs y MIUCs de forma que la vegetación debilita los efectos de esta consecuencia de climatología urbana.

Ante los datos anteriormente proporcionados de las características de las Islas de Calor Urbano y contrastando con lo que dice la bibliografía se puede determinar que existe la presencia del fenómeno Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Chetumal y mediante las anomalías térmicas también la presencia de Micro Islas de Calor Urbanas

(MIUCs).

Estas últimas (MIUCs), son las áreas prioritarias para la aplicación de estrategias que permitan la reducción de temperatura, ya sea modificando el medio circundante o a través de aplicación de materiales que eviten o reduzcan la absorción de calor.

RECOMENDACIONES

Al ser este un análisis puntual tanto de días en específico como en determinada hora, se recomienda realizar un estudio es espectro amplio, tomando como caso de estudio la Isla de Calor Urbana Atmosférica, utilizando las estaciones disponibles de SMN o UQROO únicamente como referente y situando dispositivos remotos de medición de temperatura y humedad que permitan tener un análisis fino de la distribución térmica en la ciudad. Lo ideal sería tener estos dispositivos recabando la información cada hora durante los 365 días del año, lo que permitiría estudiar las condiciones térmicas de la ciudad en diferentes momentos del día, y ante diversas condiciones, ya que parte de los estudios también se centran en el análisis del comportamiento térmico por la noche, identificando la posible existencia de Islas Frías.

Con este análisis y comparando la información con lo recopilado a través de imágenes satelitales, ósea teniendo tanto la identificación de la Isla de Calor Urbana Atmosférica y la Isla de Calor Urbana Superficial se puede realizar un modelo de planeación el cual permita implementar en las áreas que tienen mayores anomalías térmicas medidas que contrarresten este efecto. Y determinar las acciones más adecuadas dependiendo de las propiedades de los edificios de las zonas a tratar o de los espacios disponibles a ocupar.

El arbolado urbano es una de las medidas de mitigación que mayor impacto tienen al momento de implementar planear un diseño urbano que combata los efectos de la Isla de calor, sin embargo, es necesario tener un plan para esta reforestación urbana, el primer criterio a tomar en cuenta es la determinación de la viabilidad de las distintas especies regionales que se tienen, debido a que no todas proporcionan en la misma cantidad una amortiguación térmica. Las especies dependiendo sus características fisiológicas como el tipo de vegetación que es (caducifolia, perennifolia, etc.), la dimensión y densidad de su copa, la extensión de sus raíces y más importante la cantidad de humedad que retiene y que transpira pueden impactar en mayor o menor cantidad para su implementación al diseño.

Al momento de realizar el proyecto de reforestación urbana es importante determinar el tipo de vegetación que será destinado para los distintos espacios urbanos, asegurando siempre la integridad de los elementos infraestructurales urbanos y que estos no se verán comprometidos por la vegetación, como ha sido el caso de números sitios en la

ciudad que la infraestructura termina inservible por el crecimiento de los árboles.

Se resalta en este estudio que las áreas prioritarias para recibir la adaptación de medidas de mitigación son aquellas que tienen una constancia en las anomalías térmicas y cuya medida para contrarrestar estos efectos en particular en el caso de la reforestación puede tomar como referente las áreas urbanas que no presentan anomalías térmicas, ya que estas indican una menor variabilidad térmica, el ejemplo está dado por zonas como el zoológico, el área ocupada por la infantería de marina o la zona posterior a al centro comercial Capital Center, ya que la característica principal de estas es su ubicación central en la ciudad y su capacidad de amortiguamiento.

Por último, se necesita un mayor rigor en la aplicación del marco normativo, hasta ahora tenemos como medida internacional tener por individuo una superficie de 10m² de área verde, medida la cual diferentes desarrollos inmobiliarios de creación de vivienda de interés social no cumplen con ella ni en el espacio habitacional ni dentro de las áreas en comunes. Sí bien en Chetumal la vegetación que tenemos en la ciudad cubre los 10m² por habitante en relación, la distribución no es la adecuado, ya que como resultado tenemos AGEBs que el porcentaje está muy por debajo de esta medida, y AGEBs en donde la densidad es mínima y funciona más como una reserva vegetal que como un área de asignación de vivienda. Estas disparidades dan como resultado ese déficit de áreas verdes al interior de la ciudad, en las zonas donde sí se requiere.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ambrosio, G., González, J., y Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *Málaga, España*.
- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., y Newland, L. (1995). Mapping micro-urban heat islands using LANDSAT TM and a GIS. *Computers & Geosciences*, 21(8), 965–969.
- Avdan, U., y Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.
- Barradas, V. (2016). La isla de calor urbana y la vegetación arbórea. *Oikos Publicación del Instituto de Ecología, UNAM, México*, 1–4.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaria General. (2018) Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Capel, H. (2002). *La morfología de las ciudades. Tomo I: Sociedad, cultura y paisaje urbano* (Vol. 37). Ediciones del Serbal, S.A.
- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C., y Campo de Ferreras, A. M. (2006). Clima urbano de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 15(1), 183–186.
- Cobo, W. (1997). Participación pública en la arborización urbana. *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma de Chapingo, México*, 109-138.
- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (s/f) Vivienda Sustentable. NAMAS: Vivienda. Recuperado de: <https://www.conavi.gob.mx/gobmx/viviendasustentable/>
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *El agua en la Cosmovisión de los Pueblos Indígenas de México*. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.gob.mx/conagua/documentos/agua-en-la-cosmovision-de-los-pueblos-indigenas-en-mexico>

- Córdova Sáez, K. (2011). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra Nueva Etapa*, XXVII (42), 95-122.
- Dávila López, A. (2014). Centros integralmente planeados (CIPS) en México: las piezas del proyecto turístico de FONATUR. Presentado en VI Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Bogotá, junio 2014, Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/15985>
- De Steffens, A. C., Piccolo, M. C., González, J. H., y Navarrette, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de geografía*, (33), 49–60.
- Delgado, G. C., Zuria, A., y Zentella, V. V. (2015). *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Ducci, M. E. (1989). *Introducción al urbanismo: conceptos básicos*. Editorial Trillas.
- Fernández F., Montávez, J., González-Rouco, J., y Valero, F. (2006). RELACIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DE LA ISLA TÉRMICA Y LA MORFOLOGÍA URBANA DE MADRID. En *El Clima, entre el mar y la montaña* (p. 40). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- Fernández García, F., Montávez, J. P., González Rouco, J. F., y Valero Rodríguez, F. (2004). Relación entre la estructura espacial de la isla térmica y la morfología urbana de Madrid.
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Cisneros, H., y Piccolo, M. C. (2015). Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Revista de Teledetección*, 44, 31–42.
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., y Piccolo, M. C. (2016). Modificaciones en la distribución

espacial de la temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano: el caso de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Climatología* 16 (2016), 51-61

Fuentes Pérez, C. A. (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova scientia*, 7(13), 495–515.

Gálvez, J. A (2014). Criterios para la planificación y diseño de los corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor. Congreso Nacional de Medio Ambiente 2014. España

García, A. (2017). Diseño del espacio urbano público e islas de calor urbana: Una aproximación desde el estudio de las características microclimáticas de las Ramblas de Barcelona. Tesis para obtener grado de Máster. Universidad Politécnica de Cataluña UPC.

García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Instituto de Geografía, UNAM, México*.

García, F. F., & Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Indice* (50), 21-24.

García, F. F., y Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Índice: Revista de estadística y sociedad*, (50), 21–24.

Gartland, L. (2012). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan.

Gobierno Federal, SEMARNAT. (2010) Prácticas De Reforestación. Manual Básico. Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México.

Gobierno Federal. 5., 2010. Código de Edificación de Vivienda. *México: CONAVI*.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2001). Anexo B. Glosario de términos. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

- H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, Quintana Roo, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2018) Programa De Desarrollo Urbano De Chetumal – Calderitas – Subteniente López – Huay – Pix Y Xul Há. Municipio De Othón P. Blanco
- Hathway, E. A., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14-22.
- Ibarra, V., Puente, S., y Schteingart, M. (1984). La ciudad y el medio ambiente. *Demografía y economía*, 18(1), 110–143.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), (2000). XII Censo General De Población Y Vivienda.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), (2010) XIII Censo De Población Y Vivienda
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2001, Base de datos geográficos. Diccionario de datos Geológicos (vectorial). Escala 1:50000. México. D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2001, Base de datos geográficos. Diccionario de datos Fisiográficos (vectorial). Escala 1:100000. México. D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2015, Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. Escala 1:250 000. Serie III. México. D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2001, Diccionario de datos climáticos. (Vectorial). Esc. 1: 250 000 y 1: 1 000 000. Sistema Nacional de Información Geográfica. México. D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2001, Diccionario

de datos de uso del suelo y vegetación. (Vectorial). Esc.: 1: 1 000 000. Sistema Nacional de Información Geográfica. México. D.F., Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007) Base referencial Mundial del Recurso del Suelo, 2007.

IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.

Kautz, S. (2018). *Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor)* [Data set]. U.S. Geological Survey.

Koepfen, W. (1948). *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*.

Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate* (Vol. 28). Academic press.

Lara, R. L. (2014). La deforestación urbana y su colaboración a la Isla de Calor en la avenida Carranza San Luis Potosí México. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (2014_06).

Lefebvre, H. (1974). *La producción del espacio*. Capitán Swing Libros S.L.

Liu, L., Zhang, Y. (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535–1552

Lombardo, J. D. (2007). *La construcción de la ciudad: el caso de la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Nobuko.

Moreno, M. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (17), 89-97

Moreno, M. (2016). El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: Una revisión bibliográfica. *Geocrítica*. XXI (1.179)

Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277.

- Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.
- Oke, Tim R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769–779.
- Oke, Tim R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, 1(3), 237–254.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2008). Cambio climático y salud. Recuperado de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas), P. de K. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Organización de las Naciones Unidas Nueva York.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Suiza: OMM.
- Picone, N. (2014). Clima Urbano de la ciudad de Tandil.
- Picone, N., y Campo, A. M. (2014). Comparación urbano rural de parámetros meteorológicos en la ciudad de Tandil, Argentina. *Rev. Climatol*, 14.
- Poder Legislativo (1995) Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural para el Municipio de Othón P. Blanco
- Poder Legislativo (2005) Reglamento de Parques, Fuentes, Jardines y Áreas Verdes del Municipio de Othón P. Blanco
- Poder Legislativo (2008) Reglamento del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para El Municipio De Othón P. Blanco
- Poder Legislativo (2011) Reglamento de la Ley Del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo en materia de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2011) Ley de Asentamientos Humanos del Estado de Quintana Roo
- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2011) Ley de fraccionamientos del Estado de Quintana Roo
- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2013) Ley de vivienda del Estado de Quintana Roo
- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2014) Ley Para El Fomento de la Eficiencia Energética y del Aprovechamiento de las Fuentes De Energía Renovables En El Estado De Quintana Roo
- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2016) Ley de Equilibrio y la protección del ambiente del Estado de Quintana Roo
- Poder Legislativo del Estado de Quintana Roo (2017) Ley de Conservación, mantenimiento, protección y Desarrollo del arbolado urbano del estado de Quintana Roo
- Ramos, M. M., Vide, J. M., García, M. D. C. M., y i Bonastre, J. S. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. *Documents d'analisi geografica*, (17), 51-77.
- Rivera, E. (2016). Islas de calor y superficie artificial en la zona metropolitana de Toluca. Tesis de grado de maestría en ciencias ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México
- Romero, H., Molina, M., Vásquez, A., y Smith, P. (2008). El clima urbano del Puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras. *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto-Geografia*, 20.
- Romero, H., Salgado, M., y Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25(70), 151–179.
- Romero, H., y Molina, M. (2008). Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de

suelos de islas de calor en Santiago de Chile. In *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas* (Vol. 1, No. 1, pp. 223-230).

SARRICOLEA ESPINOSA, P., y ROMERO ARAVENA, H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *ACE: Arquitectura, ciudad y entorno*, 14, 79-96.

Schiller, S., Martin Evans, J., y Katzschner, L. (2001). Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño Estudios en Buenos Aires y Río Gallegos. *Avances Energ Renov Medio Ambient*, 5, 46-50.

Secretaría de Economía (2013) NOM-AA-164-SCFI-2013 Edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos

Secretaría de Energía (2001) NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Secretaría de Energía (2011) NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba

Secretaría de Energía (2011) NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional

Secretaria de Energía (2012) NOM-024-ENER-2012 Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010) NOM-059-SEMARNART-2010 Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo

Secretaría de Trabajo y Prevención Social (2001) NOM-015-STPS-2001 Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene

Serra, J. (2007). Estudio de las islas de calor en la ciudad de Ibiza. Universidad de

Alicante. España

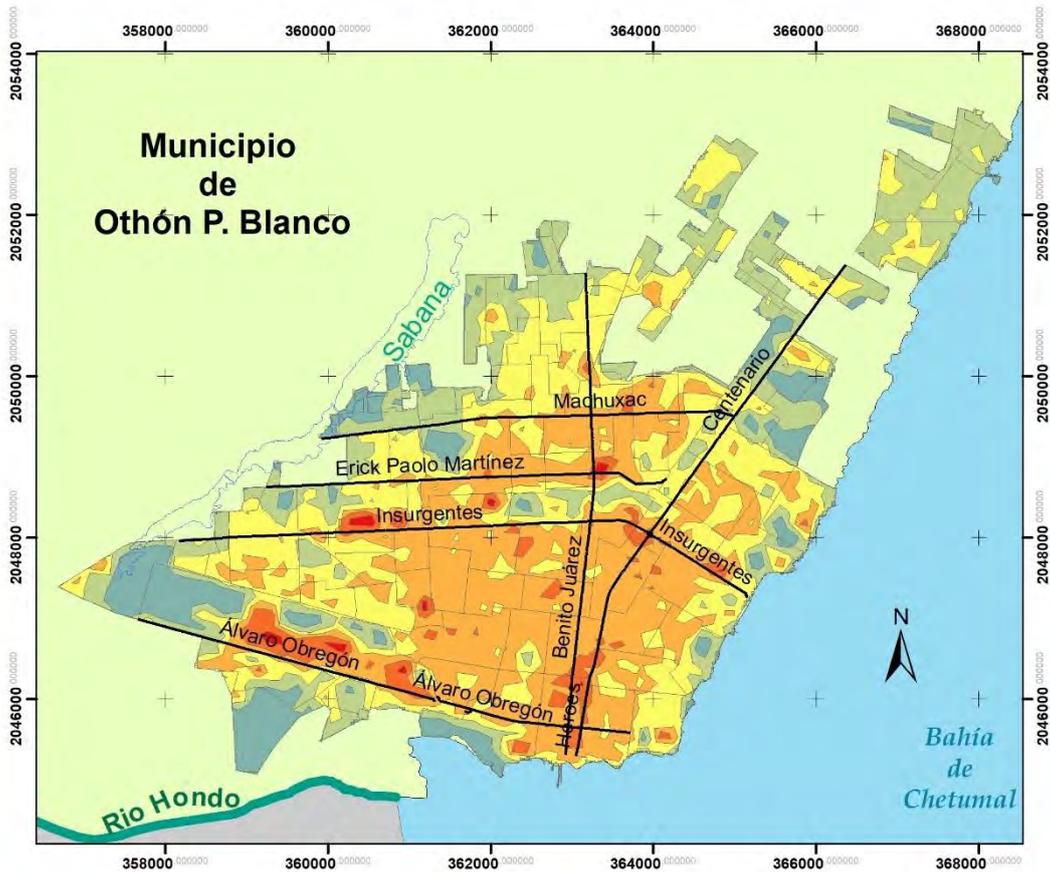
- Smith, P., y Romero, H. (2016). Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 45–62.
- Stathopoulou, M., Cartalis, C., y Keramitsoglou, I. (2004). Mapping micro-urban heat islands using NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover: an application to coastal cities of Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2301–2316.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99–103.
- United States Geological Survey. (2018). Colecciones Landsat | Misiones Landsat. Recuperado el 3 de octubre de 2018, de <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections>
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). (2014). Heat Island Compendium [Reports and Assessments]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- US EPA, United States Environmental Protection Agency. (2008). Heat Island Compendium [Reports and Assessments]. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- Villanueva, J. (2013). Isla de calor urbana: Modelación dinámica y evolución de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información tecnológica* Vol. 24(1), 15-24 (2013)
- Voogt, J. A. (2008). Islas de calor en zonas urbanas: ciudades más calientes. *EE. UU.: American Institute of Biological Sciences*.
- Vysoudil, M. (2015). Urban space and climate: Introduction to the Special Issue. *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 2–7.
- XIII Legislatura Constitucional del Estado de Quintana Roo (2013). Ley de Acción de

Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo

ANEXOS

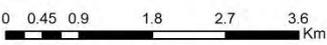
Anexo 1. Distribución térmica en enero

Distribución térmica enero 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

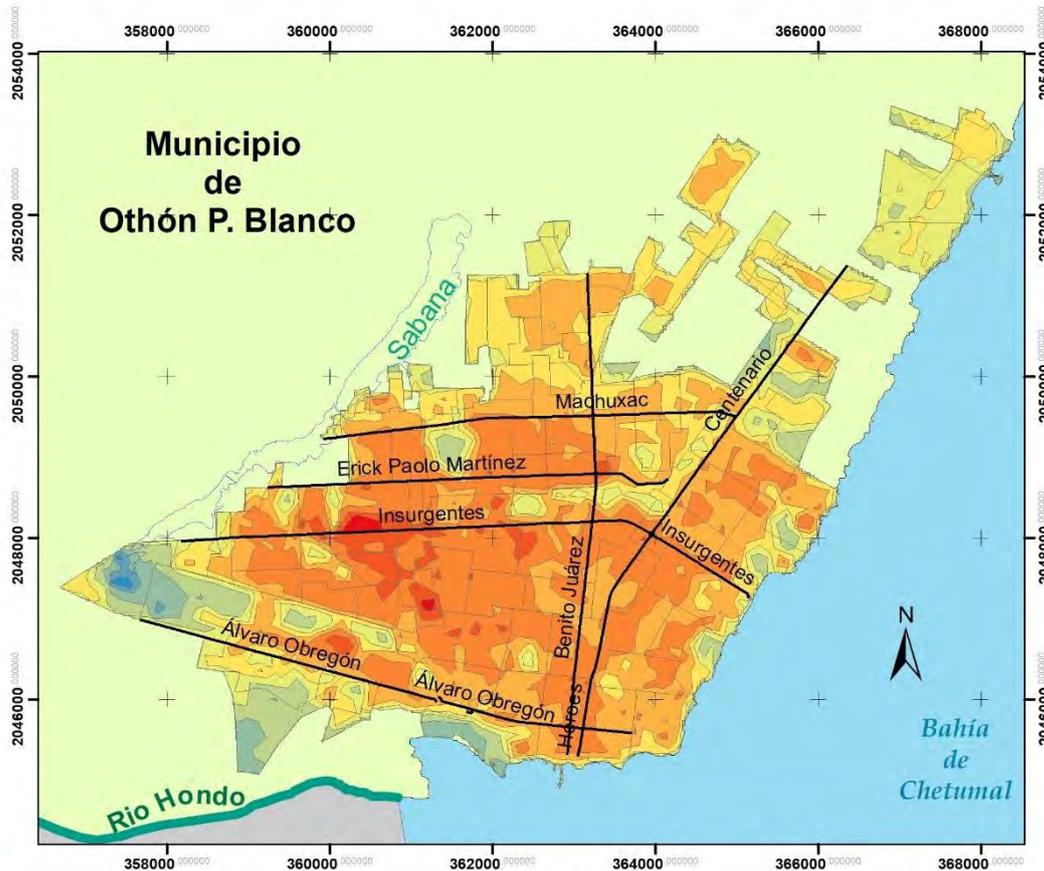
Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

Simbología

°C

	20
	21
	22
	23
	24
	25
	26

Distribución térmica mayo 2018




Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación

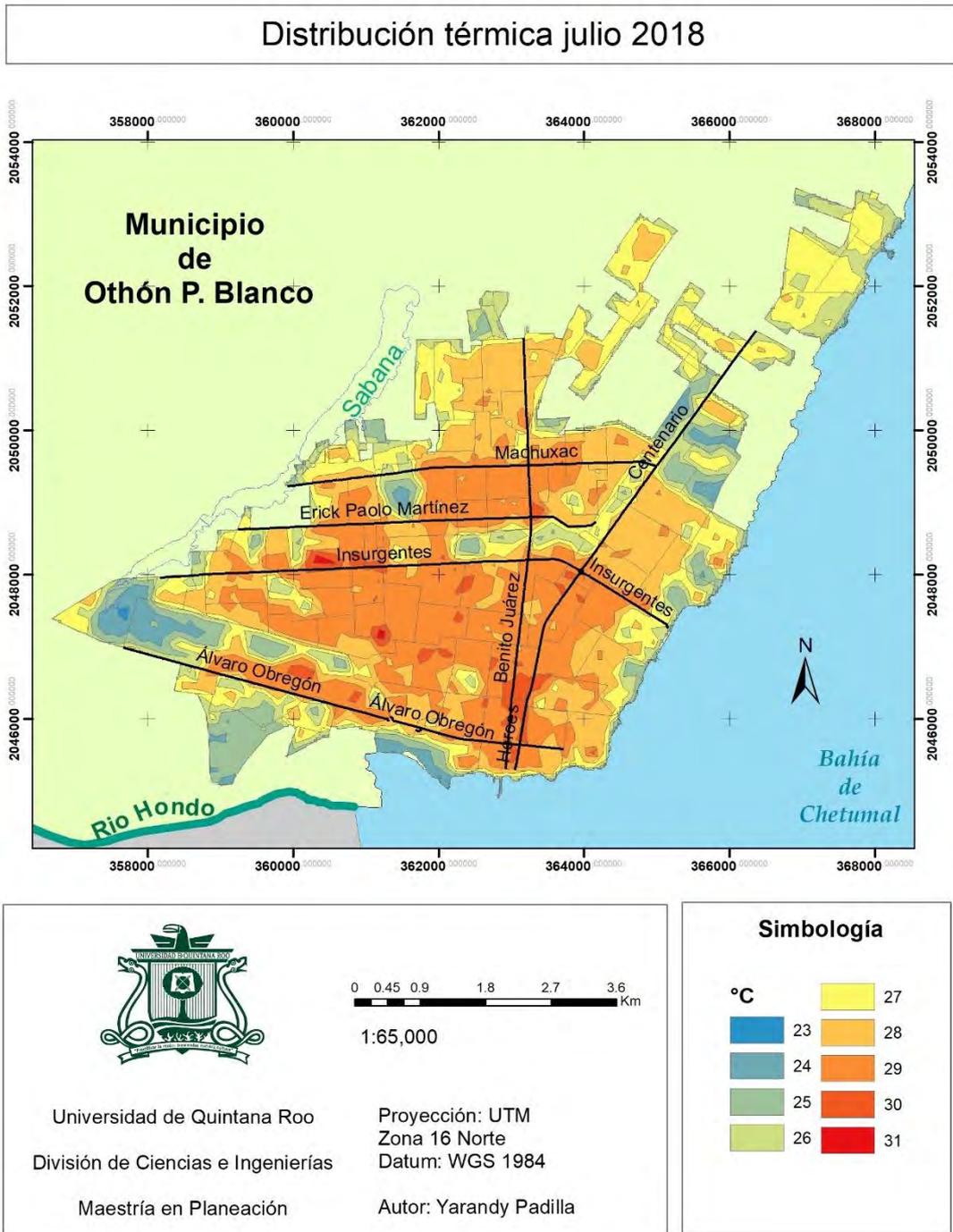
Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984
 Autor: Yarandy Padilla

0 0.45 0.9 1.8 2.7 3.6 Km
 1:65,000

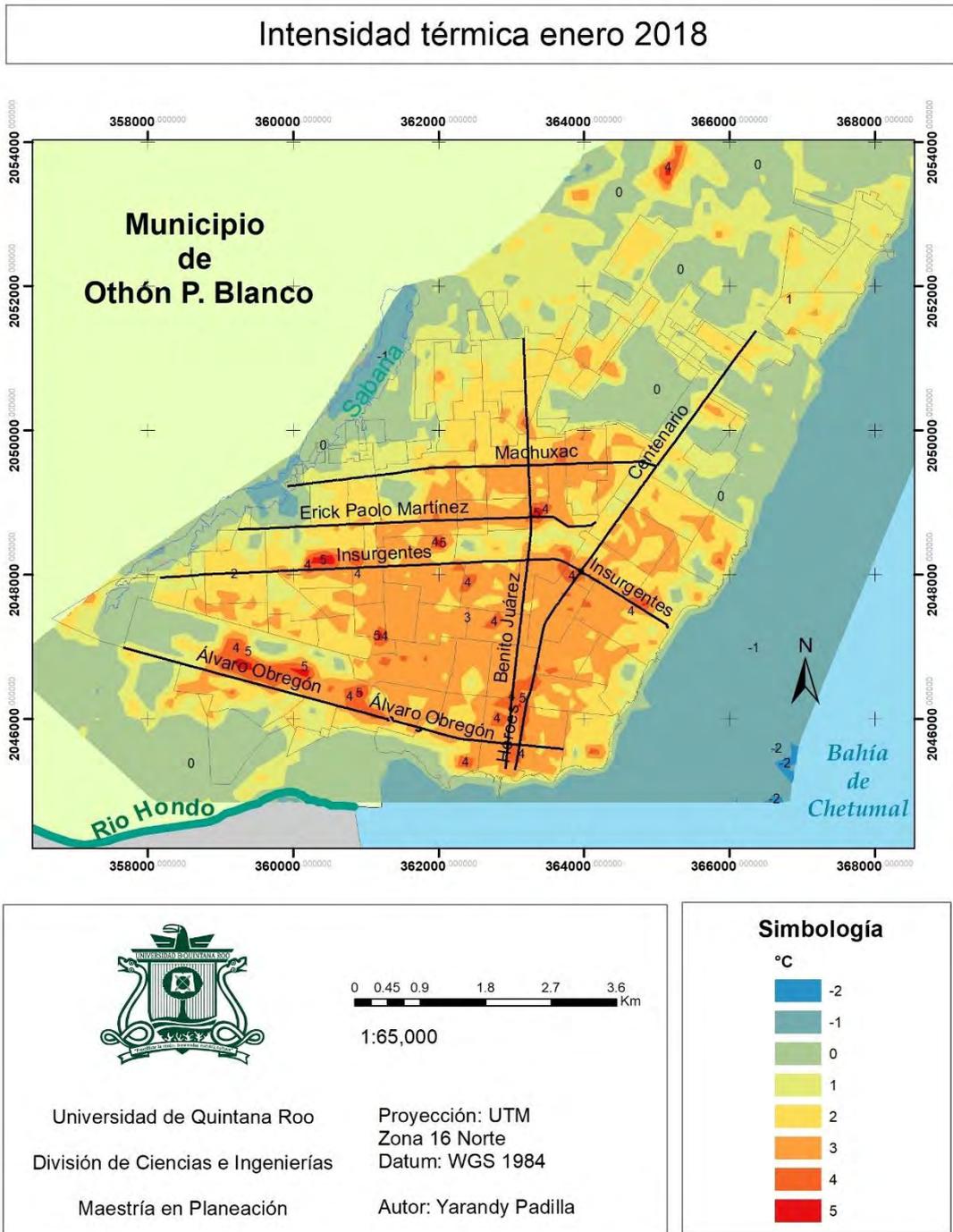
Simbología

°C	Color	Temperatura
20	Blue	20
21	Light Blue	21
22	Green	22
23	Light Green	23
24	Yellow-Green	24
25	Yellow	25
26	Orange	26
27	Light Orange	27
28	Red-Orange	28
29	Red	29

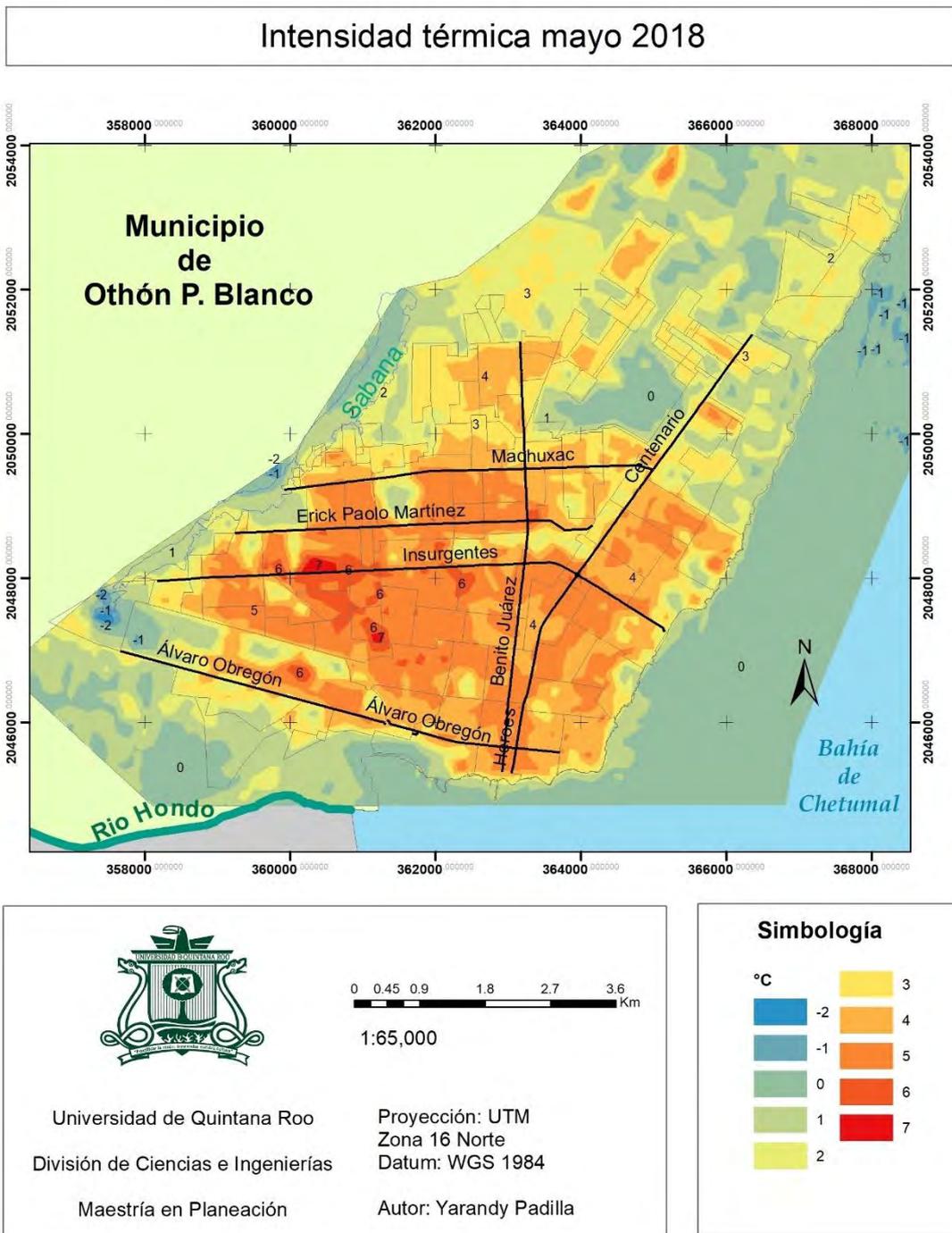
Anexo 3. Distribución térmica julio



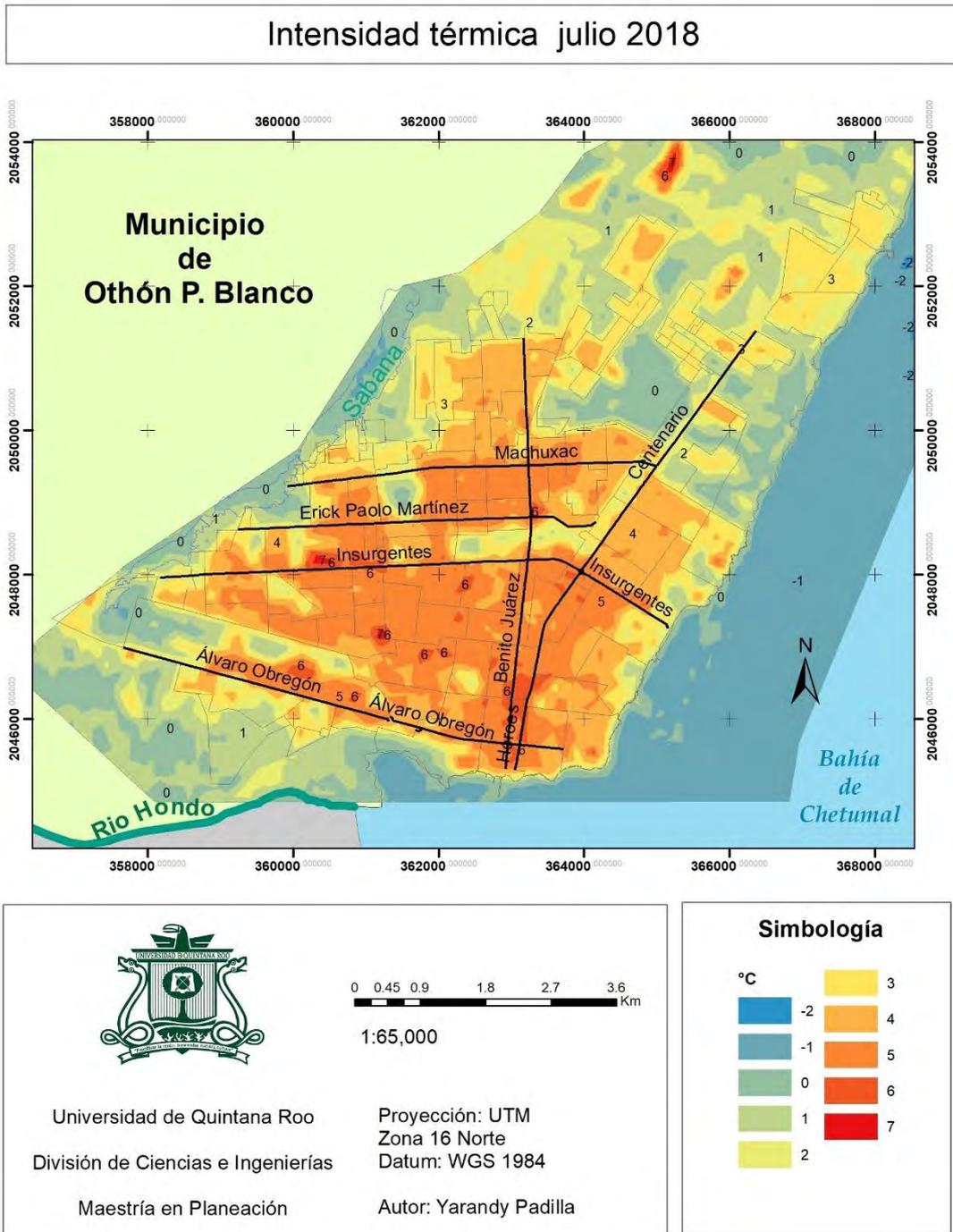
Anexo 4. Distribución de la Intensidad desagregado por grados.



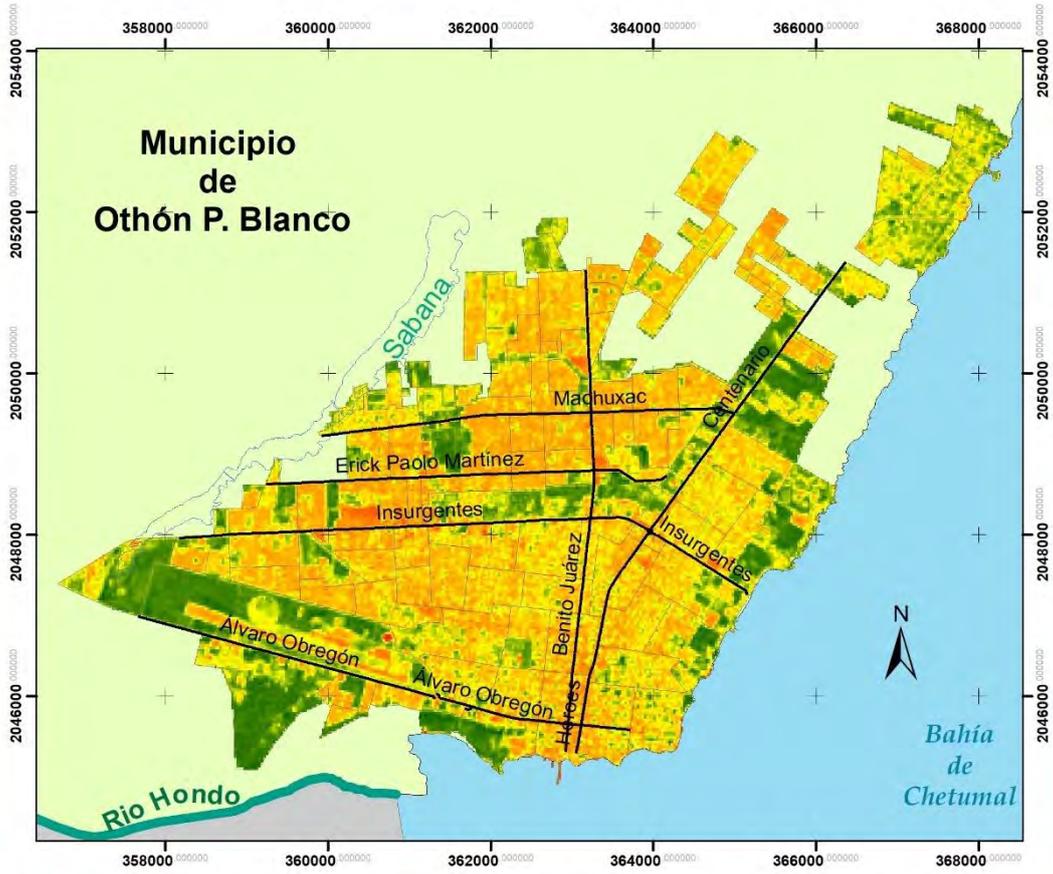
Anexo 5 Distribución de la intensidad desagregada por grados en mayo.



Anexo 6 Distribución de la intensidad desagregada por grados en julio

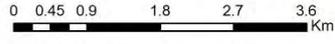


Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada enero 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

Simbología

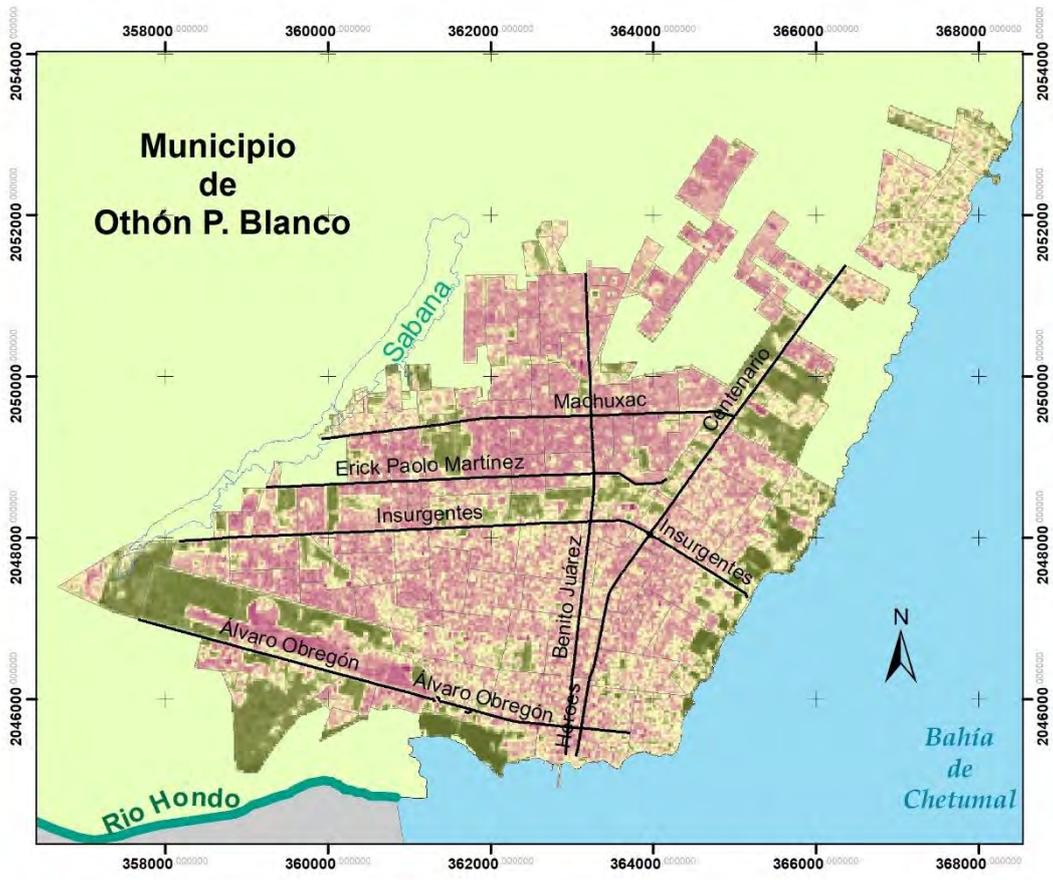
NDVI



Alto : 0.52105

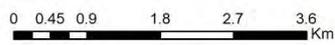
Bajo : -0.123793

Índice de Construcción de Diferencia Normalizada enero 2018




Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación

Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984
 Autor: Yarandy Padilla



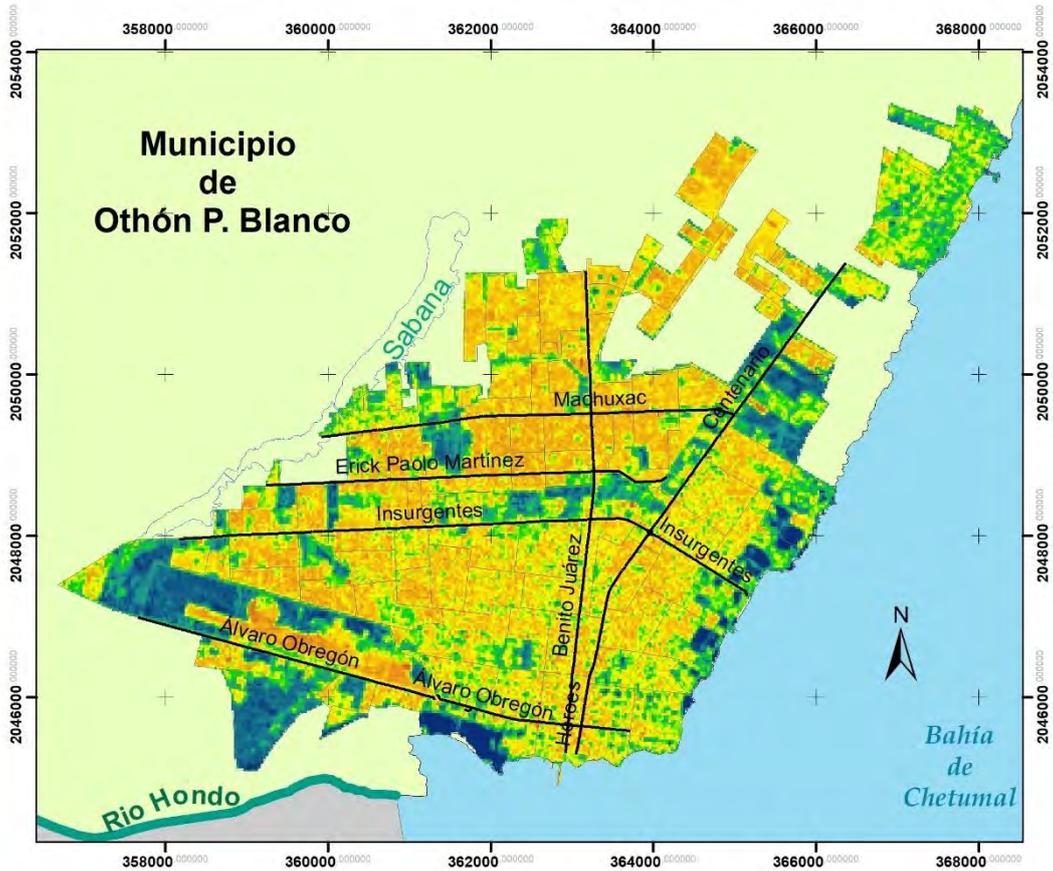
1:65,000

Simbología

NDBI

-  Alto : 0.157396
-  Bajo : -0.416282

Índice de Agua de Diferencia Normalizada enero 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

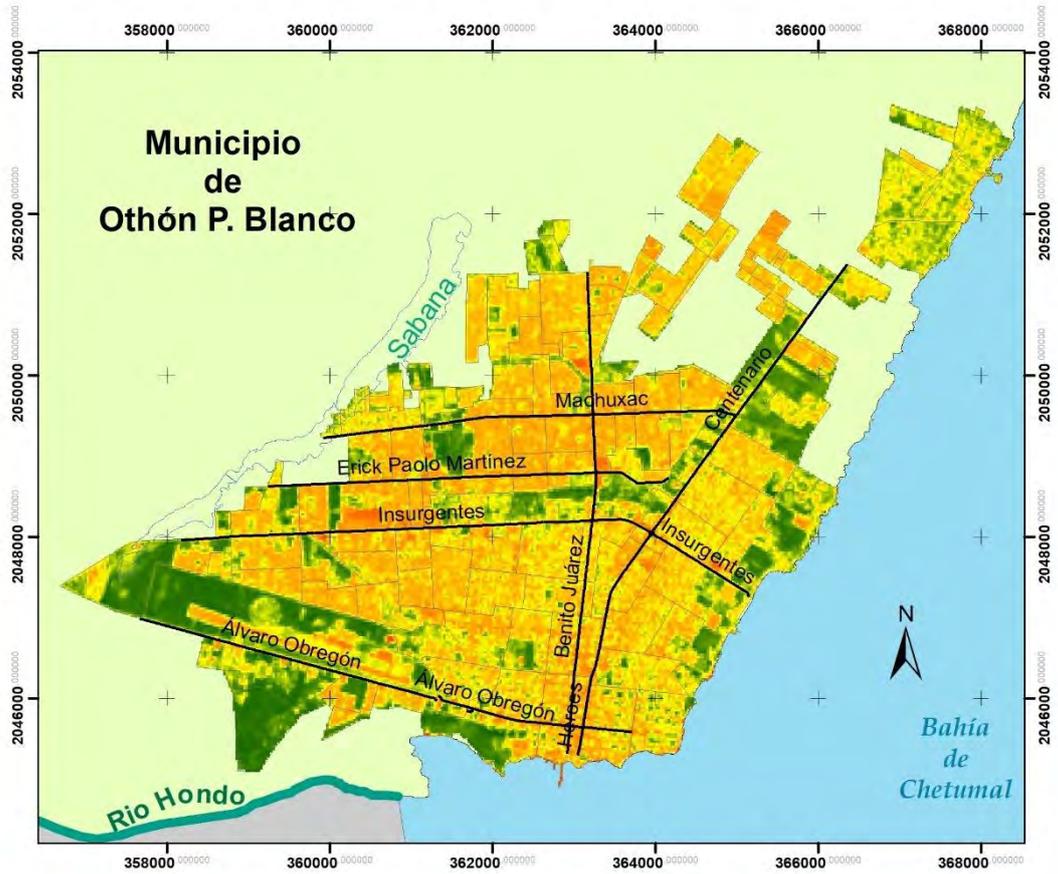
Simbología

NDWI



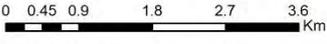
Alto : 0.416282
Bajo : -0.157396

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada mayo 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

Simbología

NDVI



Alto : 0.608125

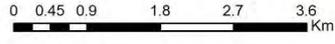
Bajo : -0.11158

Índice de Construcción de Diferencia Normalizada mayo 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

Simbología

NDBI

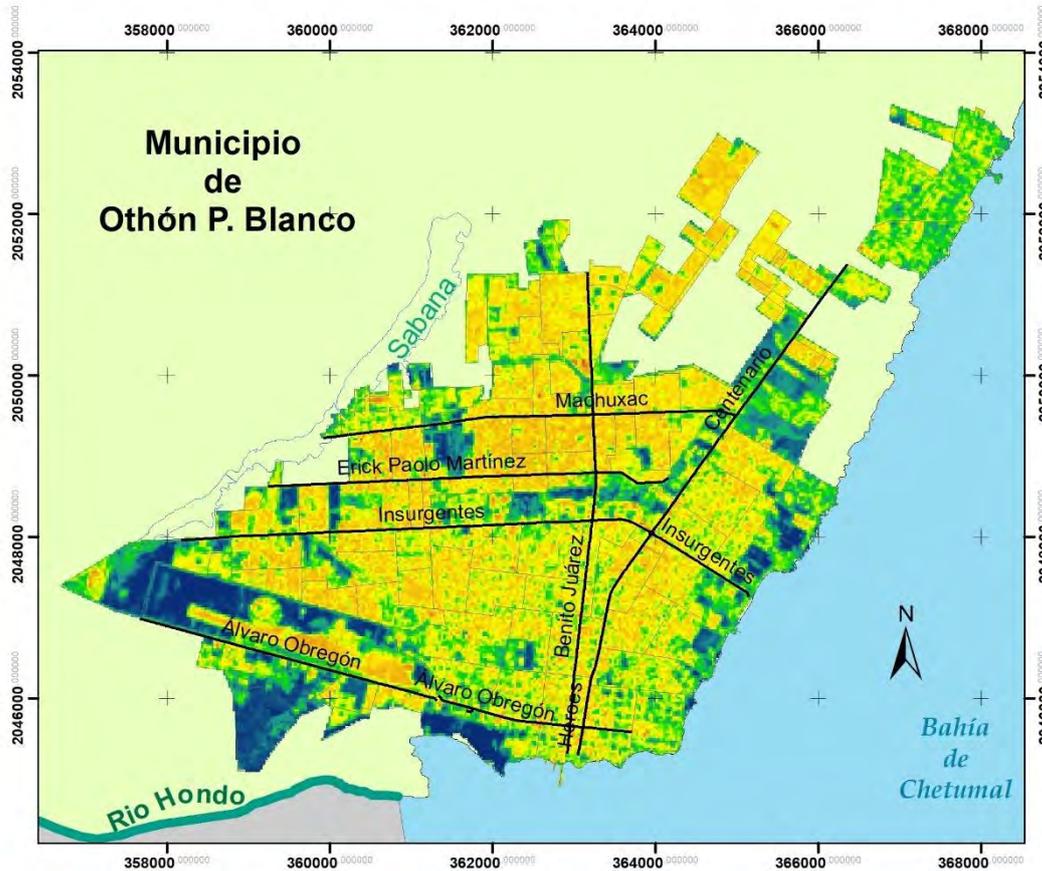


Alto : 0.343462

Bajo : -0.456774

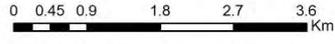
Anexo 12. Distribución de NDWI de mayo

Índice de Agua de Diferencia Normalizada mayo 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

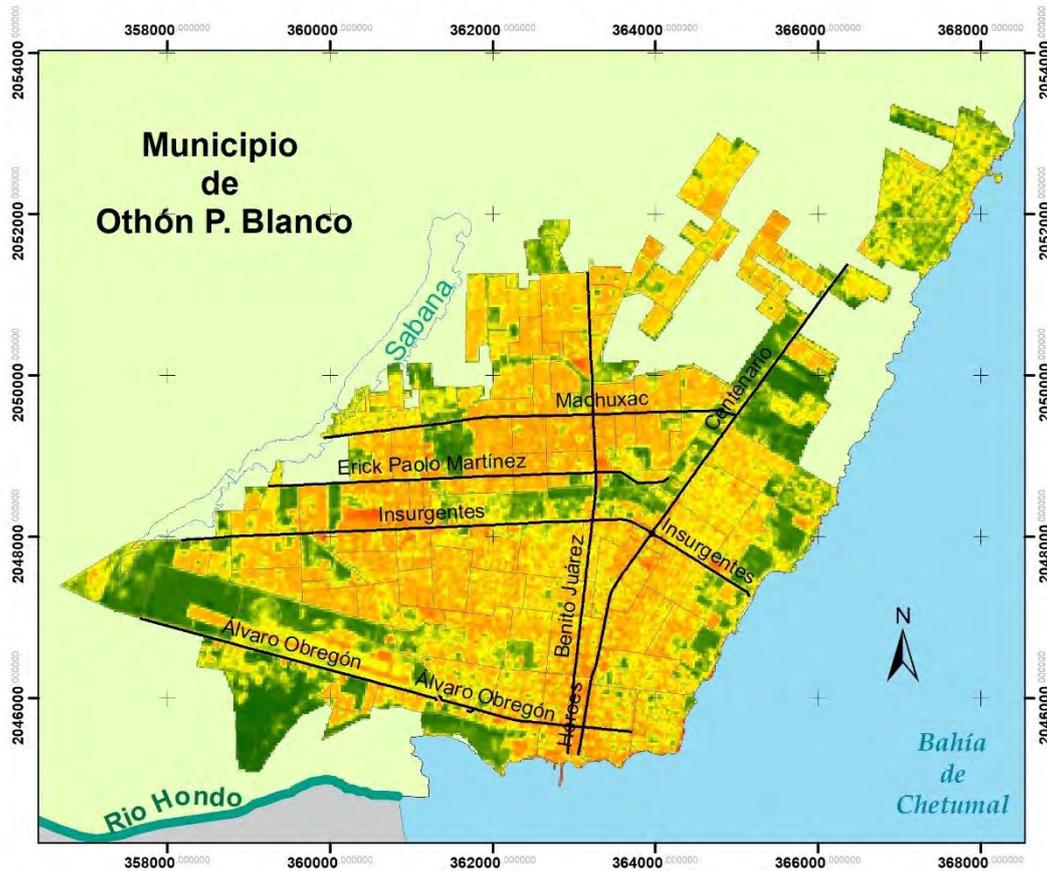
Simbología

NDWI

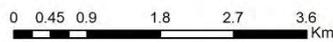


Alto : 0.456774
Bajo : -0.343462

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada julio 2018



Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación



1:65,000

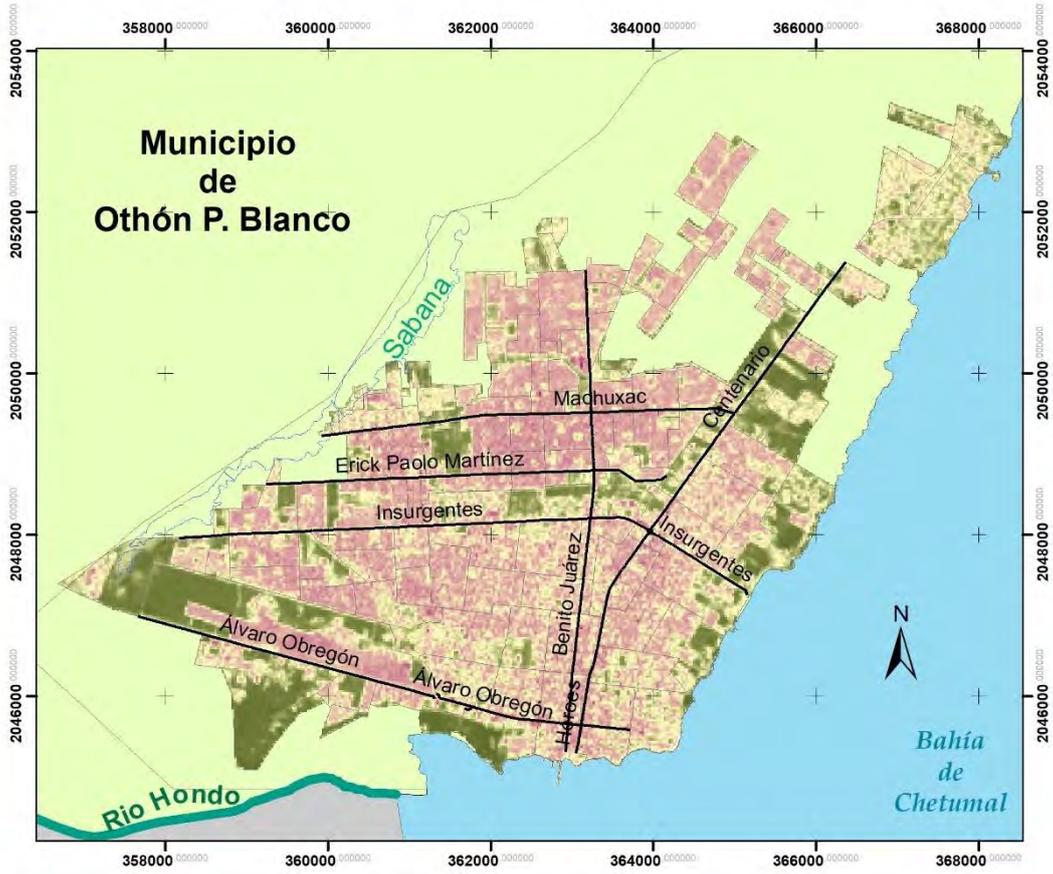
Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984

Autor: Yarandy Padilla

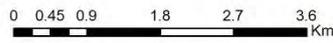
Simbología



Índice de Construcción de Diferencia Normalizada julio 2018



Universidad de Quintana Roo
 División de Ciencias e Ingenierías
 Maestría en Planeación

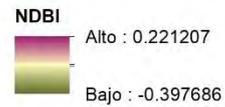


1:65,000

Proyección: UTM
 Zona 16 Norte
 Datum: WGS 1984

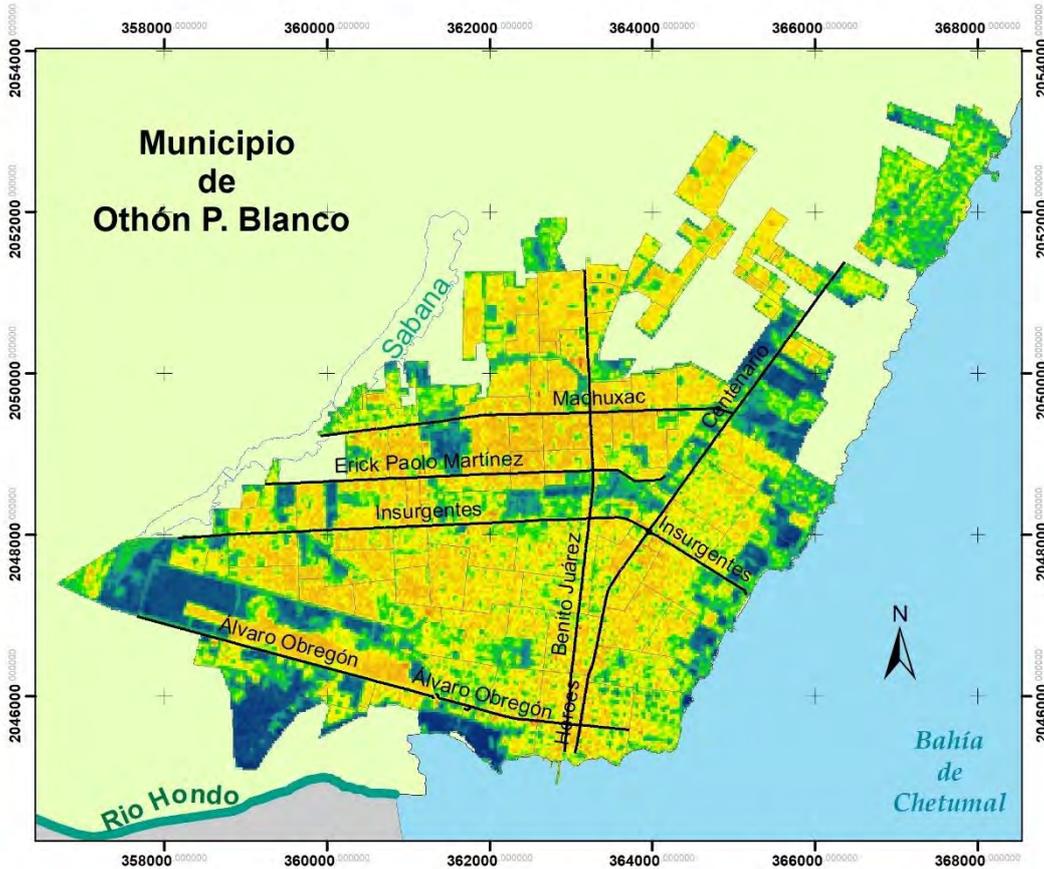
Autor: Yarandy Padilla

Simbología



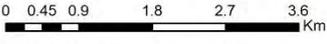
Anexo 15. Distribución de NDWI de julio

Índice de Agua de Diferencia Normalizada julio 2018





Universidad de Quintana Roo
División de Ciencias e Ingenierías
Maestría en Planeación



1:65,000

Proyección: UTM
Zona 16 Norte
Datum: WGS 1984
Autor: Yarandy Padilla

Simbología

NDWI



Alto : 0.397686

Bajo : -0.221207