



Universidad de Ciencias
y Artes de Chiapas

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio
Climático**

Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

**“Estudio de la Isla de Calor Urbana mediante el método de
percepción remota,**

Caso: Chiapa de Corzo, Chiapas.”

Presenta

Indira Isabel González Sánchez

Director

Dr. Williams Vázquez Morales

Asesores

Mtro. Mauricio José Ríos

Dr. Emmanuel Díaz Nigenda

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Febrero/2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS AUTÓNOMA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 09 de diciembre de 2024

Oficio No. SA/DIP/0878/2024

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Indira Isabel González Sánchez

CVU: 1161793

Candidata al Grado de Maestra en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático

UNICACH

Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado Estudio de la Isla de Calor Urbana mediante el método de percepción remota, caso: Chiapa de Corzo, Chiapas cuyo Director de tesis es el Dr. William Vázquez Morales (CVU: 164276) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el Grado de Maestra en Gestión de Riesgos y Cambio Climático.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"


Dra. Carolina Orantes García
Directora



C.c.p. Dra. Sandra Urania Moreno Andrade, Directora del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento.
Mtra. Ana Lucía López Pimentel, Coordinadora del Posgrado, Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento
Archivo/minutario.

RJAG/COG/Invest/ptr

2024 Año de Felipe Carrillo Puerto
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.



Secretaría Académica
Dirección de Investigación y Posgrado
Libramiento Norte Poniente No. 1150
Colonia Lajas Maciel C.P. 29039
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel:(961)6170440 EXT.4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca con No. 816970 otorgada para la realización de los estudios de

A la Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático y al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático por el apoyo de infraestructura y documentación para la realización de

A mi Director de Tesis el Dr. Williams Vazquez Morales y a mis asesores el Maestro Mauricio José Ríos y el Dr. Emmanuel Diaz Nigenda por el apoyo y consejos que me brindaron para realizar de manera exitosa este proyecto.

Al Colegio La Patria, al CONALEP y a la Licenciatura en Arqueología de la UNICACH con Sede Chiapa de Corzo, por la disposición que presentaron para la instalación de los sensores de monitoreo atmosférico. Al personal de estas instituciones, que siempre se fueron amables y en la disposición de apoyarme en mis visitas para la recolección de los datos.

Y sobre todo a mi familia, gracias por su paciencia y apoyo incondicional, gracias mami por motivarme a seguir adelante cada día para seguir cumpliendo mis sueños.

Índice

Introducción	1
1 Marco Teórico.....	3
1.1 La Urbanización	3
1.2 Efectos ambientales provocados por la urbanización.....	6
1.3 Islas de Calor Urbana	8
1.4 Determinación de las Islas de Calor Urbana	13
1.4.1 Estaciones meteorológicas	14
1.4.2 Redes de sensores.....	15
1.4.3 Transectos Térmicos Móviles	17
1.4.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	19
1.4.5 Percepción remota	20
2 Antecedentes	24
3 Planteamiento del problema.....	31
4 Justificación	32
5 Objetivos	33
5.1 Objetivo general	33
5.2 Objetivos específicos.....	33
6 Metodología	34

6.1 Área de estudio.....	34
6.2 Percepción Remota y Sensores Térmicos de Bajo Costo.....	39
6.2.1 Monitoreo de temperatura y humedad	40
6.2.2 Recopilación de imágenes satelitales Sentinel 3 mediante teledetección	40
6.2.3 Transformación de imágenes satelitales para obtención de temperatura	41
6.2.4 Clasificación de temperatura con Plugin en QGIS.....	42
6.2.5 Análisis de cambio de uso de suelo.....	43
7 Resultados	44
7.1 Monitoreo Térmico.....	44
7.2 Teledetección.....	47
7.3 Análisis del Cambio de uso de suelo.....	57
8 Discusión	61
9 Conclusiones	63
9.2 Limitaciones	64
10 Referencias.....	66
11 Anexos 75	
11.2 Mapas mensuales de ICU de Chiapa de Corzo	75
11.3 Gráficas Mensuales de temperatura y humedad.....	85
11.3.1 Estación Colegio La Patria.....	85

11.3.2 Estación CONALEP.....	91
11.3.3 Estación UNICACH.....	95

Índice de Figuras

Figura 1 Isla de Calor Urbana.....	9
Figura 2 Causantes de las Islas de Calor Urbanas	12
Figura 3 Estación Meteorológica.....	14
Figura 4 Sensor de Temperatura Ambiental	16
Figura 5 Transectos Térmicos Móviles	18
Figura 6 Elementos de la Teledetección	21
Figura 7 Localización de Chiapa de Corzo.....	35
Figura 8 Gráfica poblacional de Chiapa de Corzo del año 2000 al año 2020	36
Figura 9 Mapa de la Zona Urbana	37
Figura 10 Mapa de Clima	38
Figura 11 Mapa de Uso de Suelo y Vegetación.....	39
Figura 12 Ubicación Final de Estaciones de Monitoreo	45
Figura 13 Gráfica comparativa de medición de temperatura.....	46
Figura 14 Gráfica de temperaturas máximas y mínimas	47
Figura 15 Visualización de imagen satelital Sentinel 3 en SNAP.....	48
Figura 16 Resultado de Reproyección y Conversión de Temperaturas en SNAP.....	49

Figura 17 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo, 18 de julio	51
Figura 18 Registro de Humedad de algunas horas del 18 de julio	52
Figura 19 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez, 18 de julio	53
Figura 20 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez, 19 de abril.....	54
Figura 21 Registro de Humedad del 19 de abril en el Colegio La Patria	55
Figura 22 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo, 01 de mayo	56
Figura 23 Registro de Humedad de 01 de mayo en el Colegio La Patria.....	57
Figura 24 Cronología de Cambio de Uso de Suelo y Vegetación	60
Figura 25 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 24 de enero, 04:25 horas	75
Figura 26 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 24 de enero, 16:14 pm.....	76
Figura 27 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 25 de febrero, 03:55 am	76
Figura 28 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 25 de febrero, 16:24 pm	77
Figura 29 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 08 de marzo, 04:10 am.....	77
Figura 30 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 08 de marzo, 16:00 pm.....	78
Figura 31 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de abril, 04:21 am	78
Figura 32 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 01 de mayo, 04:10 am.....	79
Figura 33 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de junio, 04:01 am.....	79

Figura 34 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de junio, 16:30 pm	80
Figura 35 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 10 de agosto, 16:20 pm	81
Figura 36 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 06 de septiembre, 16:20 pm	81
Figura 37 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 26 de octubre, 16:24 pm.....	82
Figura 38 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 21 de noviembre, 04:18 am.....	82
Figura 39 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 21 de noviembre, 16:08 pm	83
Figura 40 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 27 de diciembre, 03:44 am.....	83
Figura 41 Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 27 de diciembre, 16:13 pm.....	84
Figura 42 Gráfica Colegio La Patria marzo.....	85
Figura 43 Gráfica Colegio La Patria abril	86
Figura 44 Gráfica Colegio La Patria mayo.....	86
Figura 45 Gráfica Colegio La Patria junio.....	87
Figura 46 Gráfica Colegio La Patria julio	88
Figura 47 Gráfica Colegio La Patria agosto	88
Figura 48 Gráfica Colegio La Patria septiembre	89
Figura 49 Gráfica Colegio La Patria octubre.....	89
Figura 50 Gráfica Colegio La Patria noviembre.....	90

Figura 51 Gráfica Colegio La Patria diciembre.....	90
Figura 52 Gráfica sensor CONALEP julio.....	91
Figura 53 Gráfica sensor CONALEP agosto.....	92
Figura 54 Gráfica sensor CONALEP octubre.....	93
Figura 55 Gráfica sensor CONALEP noviembre.....	93
Figura 56 Gráfica sensor CONALEP diciembre.....	94
Figura 57 Gráfica sensor UNICACH junio.....	95
Figura 58 Gráfica sensor UNICACH julio.....	95
Figura 59 Gráfica sensor UNICACH agosto.....	96
Figura 60 Gráfica sensor UNICACH septiembre.....	96
Figura 61 Gráfica sensor UNICACH octubre.....	97
Figura 62 Gráfica sensor UNICACH noviembre.....	97
Figura 63 Gráfica sensor UNICACH diciembre.....	98
Figura 64 Área Urbana de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo 2003- 2018.....	98

Índice de Tablas

Tabla 1 Asignación de rangos de temperatura	50
Tabla 2 Tasas de Cambio	59
Tabla 3 Matriz de Transición	59

Introducción

En la actualidad el aumento de las zonas urbanas es consecuencia del crecimiento poblacional que ha prevalecido a nivel mundial. Una vez que se construye una ciudad, la estructura física y los patrones de uso de suelo pueden ser imposibles de modificar durante generaciones, dando lugar a una expansión insostenible, la cual produce diversos problemas ambientales (Banco Mundial, 2022).

Uno de estos problemas ambientales son las Islas de Calor Urbanas (ICU), fenómeno donde durante las noches las zonas urbanizadas son más calurosas en comparación con las zonas rurales (EPA, 2008; Oke, 1987).

Se han realizado diversos estudios de este fenómeno a nivel nacional y el estado de Chiapas no es la excepción, en el cual, debido al aumento poblacional y el crecimiento urbano que ha presentado, sobre todo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y sus alrededores, han ido en aumento.

El municipio de Chiapa de Corzo, se ha visto afectado por su cercanía A Tuxtla Gutiérrez, presentando un aumento poblacional del 3%, convirtiéndose, debido a su fusión urbana, en una conurbación.

En consecuencia, la temperatura de las zonas pobladas ha aumentado por el recubrimiento que se ha empleado para las construcciones de las calles, casas y edificios, como lo son el asfalto y el cemento, por lo que ha surgido la necesidad de estudiar este fenómeno creciente.

Para realizar estudios de las Islas de Calor se emplean diferentes metodologías, las cuales permiten determinar la temperatura de la zona y así poder tomar las medidas necesarias para reducir este fenómeno, es por eso que el objetivo de este proyecto es analizar el fenómeno de la Isla de Calor Urbana mediante el uso de técnicas de percepción remota en complemento con

sensores térmicos de bajo costo para el municipio de Chiapa de Corzo. El proceso metodológico y las técnicas usadas se adaptaron en la zona de estudio mediante el establecimiento de una red de monitoreo térmico en la zona urbana empleando sensores de bajo costo, así como la recopilación, tratamiento y análisis de las imágenes satelitales mediante los sistemas de información geográfica, lo que permitió generar mapas de ICU y gráficas mensuales correspondientes al año 2023.

El documento consta de ocho capítulos en los cuales se describe el fenómeno, causas y consecuencias y los métodos creados para su estudio. También se mencionan antecedentes de proyectos realizados a nivel nacional e internacional, así como la descripción del área de estudio y los métodos utilizados.

Se emplearon imágenes satelitales Sentinel 3 del mes de enero al mes de diciembre del 2023, con lo cual se observa en la zona urbana un aumento de temperatura superficial superior a los 40 °C durante los meses de marzo, abril, mayo y junio. La instalación de los sensores de temperatura y humedad en los puntos seleccionados, dan como resultado que las temperaturas más altas registradas se presentaron en el punto ubicado en el CONALEP, siendo estas de entre 40 a 45 °C.

La importancia de este estudio permitirá determinar los puntos donde se presenta la mayor temperatura de la zona de estudio para que en un futuro se tomen las decisiones necesarias que permitan mejorar la calidad de vida de la población.

1 Marco Teórico

1.1 La Urbanización

Este proceso comenzó con la Revolución Industrial, convirtiéndose en un fenómeno global a partir de la década de los años 60's, donde la migración es una de las causas principales de su formación, debido a la prosperidad económica, la generación de empleos y la obtención de una vida confortable (Blasco, 2015).

El concepto urbanización tiene dos definiciones interesantes proporcionados por Bertuzzi y Arroyo (2005), la primera dice que es la transformación del medio natural o del suelo de uso rural en un nuevo producto, el cual con el tiempo es llamado ciudad; la segunda es una estrategia de ocupación organizada del territorio en forma de red compuesta por numerosos centros urbanos que se distribuyen en el espacio, interconectándose y funcionando conjuntamente, que ha sido generado por el aumento de los servicios, la migración y la disminución de costos de producción provocada por la industrialización.

De acuerdo al Equipo Editorial Etecé (2021), la urbanización puede ser clasificada por su tipo de distribución, las cuales son:

- Rururbanización: Ocurre cuando una ciudad influye en las actividades que se llevan a cabo en zonas rurales, provocando islas urbanas en el interior de estas por el alto costo que provoca su cercanía.
- Suburbanización: Propagación de una ciudad a zonas rurales, provocado por el exceso de concentración habitacional, conectadas por autopistas y carreteras.

Por otro lado, considerando las características morfológicas, funcionales, sociológicas, espaciales, grado de influencia y al crecimiento que tiene una ciudad dentro de un territorio (Borderías y Martín, 2011; CONAPO, 2012; Uriarte, 2022), las zonas urbanas se pueden considerar como:

- **Megalópolis:** Núcleos urbanos de gran tamaño que se mantienen uniformes a lo largo de cientos de kilómetros a la redonda, cuya población es de más de 10 millones de habitantes.
- **Metrópolis:** Agrupación de municipios que comparten una ciudad central y que se encuentran interrelacionados funcionalmente. Su población total es de 200 mil habitantes o más.
- **Conurbación:** Es el resultado de la unión de dos o más centros urbanos que debido a su crecimiento llegan a fusionarse, su población es de 50 mil habitantes a 100 mil habitantes.
- **Centro o casco urbano:** Área central de la ciudad que incluye sus calles y zonas verdes. Su población es de 15 mil a 50 mil habitantes.
- **Suburbios o periferia:** Zonas residenciales que se encuentran alejadas del corazón de la ciudad, pero que se integran a esta mediante vías de transporte, por lo general su densidad poblacional es menor y hay más áreas verdes.

Es por eso que una de las principales causas de que la urbanización siga creciendo son el aumento poblacional, que genera a su vez una demanda alta de la adquisición de casas habitación; el crecimiento de la industria, reemplazando los empleos rurales; la diversidad urbana; la modernización del nivel de vida y la globalización.

De acuerdo a Garza (2005) en México la urbanización dio indicios de crecimiento a partir de 1940, con el modelo agroexportador (modelo económico del aprovechamiento del territorio que tenía como objetivo incrementar la explotación de la agricultura y donde la fuente principal de ingresos era la exportación), el cual había sido el eje por donde el capitalismo del país se habría consolidado en las últimas décadas del siglo XIX. Este modelo sirvió como un impulsor del modelo de sustitución de importaciones (estrategia cuyo objetivo era motivar el desarrollo de la industria doméstica, es decir, la producción nacional) hasta mediados de los años 1950.

Las ciudades donde el crecimiento urbano fue evidente fueron la Ciudad de México, Monterrey (por su especialización en la manufactura); Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez (por las actividades relacionadas al comercio con Estados Unidos) y Hermosillo y Culiacán (ciudades centrales para la comercialización de la agricultura moderna).

La migración interna de las zonas rurales a las zonas urbanas fue el principal motor del desarrollo urbano de estas hasta la década de 1980, donde el modelo de transición cambió, marcando un parteaguas en la evolución de México. Este cambio se caracterizó por el aumento de nacimientos y crecimientos naturales y menos defunciones, el cual se convirtió en el principal motivo del aumento de la población urbana (Garza, 2005).

De acuerdo a Gutiérrez de McGregor (2003) el aumento de la población urbana en México se encuentra relacionado a:

- La planeación de megaproyectos con asociación pública- privada, buscando posicionar a la ciudad en el contexto global.

- La producción de vivienda en la periferia urbana, promoviendo la construcción de conjuntos habitacionales.
- La consolidación metropolitana, concentrando la mayoría de la población.
- La conformación de regiones urbanas, provocada por la interrelación económica entre ciudades con intensa actividad capitalista
- La migración urbana- urbana, donde la Ciudad de México ya no se considera la ciudad con mayor atracción de población, en su lugar esta población ha migrado a otras ciudades que se encuentran en crecimiento económico, como lo son Celaya, Querétaro y Cancún.

1.2 Efectos ambientales provocados por la urbanización

De acuerdo con Ambrosio González (2007), la ubicación de las zonas urbanas se realiza en lugares con valor ecológico alto debido a la accesibilidad de los recursos naturales básicos y a las óptimas condiciones bioclimáticas para el desarrollo de la vida, lo cual ha provocado una transformación en el medio natural, creando sus propias condiciones medioambientales muy diferentes a las originales, lo que crea una alteración a los elementos físico- ambientales del territorio, ya sea de forma directa (con la urbanización) o indirecta (con las redes de comunicación y de abastecimiento de recursos).

Según Richmond Vale Academy (2022) y Foladori (2001) la dependencia de los recursos básicos y la forma en que estos son aprovechados, administrados, transformados y desechados, además de la alta demanda de los satisfactores y el consumismo, representan un gran impacto a los habitantes de las zonas urbanas y al medioambiente, provocando problemas ambientales en las zonas urbanas, entre los que se encuentran:

- La degradación de la calidad del aire generado por las emisiones de fuentes fijas y fuentes móviles, además de las actividades realizadas por la población.
- Contaminación por desperdicios urbanos, provocado por la deficiente disposición de los residuos.
- Deterioro de la capacidad productiva en suelos agrícolas.
- Azolve en fondos lacustres.
- Deforestación.
- Habitabilidad en zonas de riesgo.
- Erosión de las laderas provocado por el crecimiento de las ciudades.
- Disminución de cuerpos de agua debido a la reducción de la capacidad de carga de los acuíferos.
- Disminución de áreas verdes de la ciudad, como parques, jardines y plazas.
- Inundaciones.
- Sobreexplotación de los mantos acuíferos.
- Sequías.
- Contaminación por ruido.
- Parcelación ilegal.
- Cambio de uso de suelo.
- Isla de Calor Urbana.

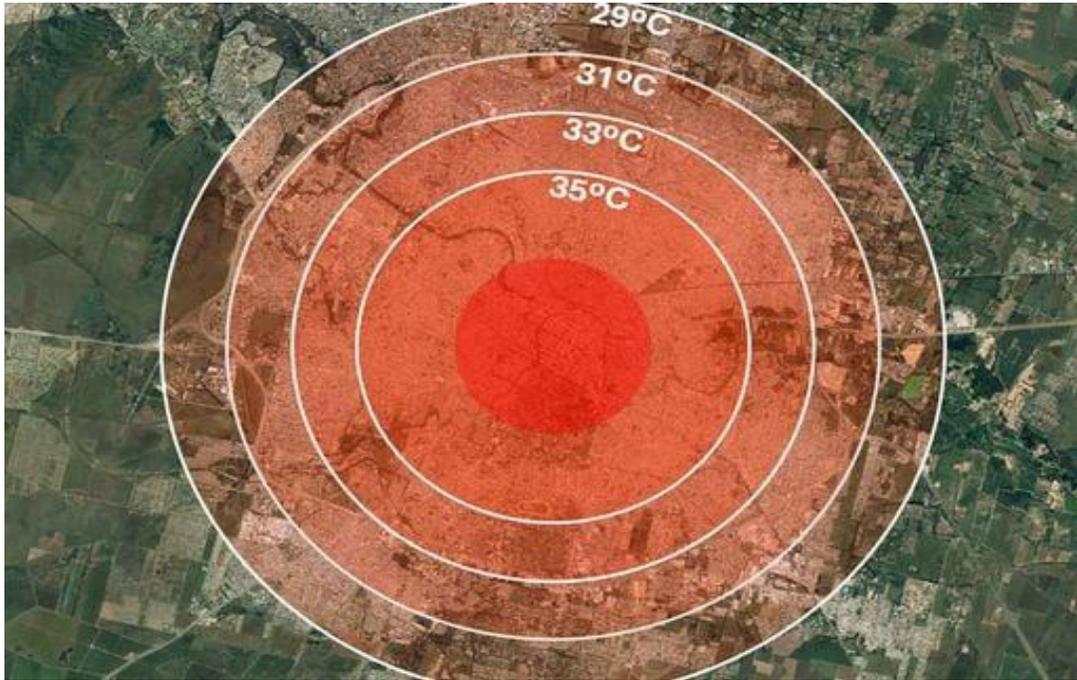
1.3 Islas de Calor Urbana

Uno de los problemas ambientales provocados por el cambio de uso de suelo generado por la urbanización, es la aparición de las Islas de Calor Urbana (ICU), el cual es un tema de gran importancia en los últimos tiempos, debido al incremento de temperatura en el interior de las ciudades y los efectos dañinos en la calidad de vida de los habitantes.

La ICU (Figura 1) refiere al hecho por el cual, durante la noche, las zonas urbanizadas son más calurosas en comparación con las zonas rurales, sobre todo en verano (EPA, 2008; Oke, 1987). Esto se debe a que las ciudades reciben un 10 a 30 % menos de la radiación solar provocado por la contaminación atmosférica, generando que la radiación de onda larga emitida por la superficie sea mucho más lenta por la presencia de contaminantes atmosféricos y la gran cantidad de edificios que se encuentran agrupados, haciendo que el calor se almacene en la superficie urbana, mientras que en el campo la inercia térmica es mucho menor (Giridharan y et al., 2004).

Figura 1

Isla de Calor Urbana



Fuente: Tomado de Saldivar (2024).

Se estima que el tamaño y el crecimiento de las ciudades acentúan la isla de calor, pero Sobstyl et al. (2018), señalan que existen situaciones concretas en donde la extensión de las zonas urbanas no es muy importante, en su lugar, estima que la distribución de la morfología urbana, a la par de su desarrollo, provocan que en el centro urbano las edificaciones sean mucho más concentradas y por lo tanto una debilidad en la acción del viento, ocasionando que la sensación térmica sea mayor que la temperatura real. Este problema ha generado en la población un fenómeno conocido como estrés térmico urbano, el cual es un grave problema de la salud pública que se produce cuando las

zonas urbanas presentan altas temperaturas en comparación con las zonas rurales, presentándose los puntos más calientes a cualquier hora del día (Shifei, 2020).

Como se mencionó anteriormente, la intensidad de temperatura presentada en la ICU depende de diversos factores, como lo son el tamaño y la morfología urbana, la topografía, las actividades antrópicas y las características climáticas – el viento, la temperatura, entre otras-. Es por eso que esta anomalía en la temperatura también se clasifica en islas de calor atmosféricas y en islas de calor superficiales (Tumini, 2010).

La isla de calor superficial (ICUS) se presenta cuando las superficies de los suelos, los techos y las fachadas registran una temperatura superior a la del aire. Generalmente se produce tanto en el día como en la noche, pero tiende a presentarse con mayor intensidad durante el día, y en los días de verano. Para identificarlas se pueden emplear métodos de medición directos o indirectos, modelos numéricos o métodos de estimación empíricos. En muchos casos se utilizan técnicas de medición indirectas para estimar la temperatura superficial mediante el uso de mapas térmicos e imágenes radiométricas.

La isla de calor atmosférica (ICUA) se presenta con la diferencia de temperatura del aire entre las áreas urbanas y las áreas rurales, generalmente en el atardecer, con mayor intensidad por la noche y durante la temporada invernal. Ésta se divide en dos:

- La primera que está relacionada con el incremento de la temperatura en la masa de aire, la cual afecta directamente a los habitantes y que se localiza desde el nivel del suelo hasta la altura promedio de los edificios y de los árboles.

- La segunda que se localiza dentro del límite descrito anteriormente hasta 1.5 km de altura desde el suelo aproximadamente.

De acuerdo con Ibedrola (2021), hay varias causas que contribuyen a la formación de las ICU (Figura 2), entre las que se destacan:

- Las superficies oscuras y con alta conductividad térmica, como lo es el asfalto, que provoca la absorción de una cantidad mayor de radiación solar.
- La escasez de vegetación y áreas verdes, que provoca falta de zonas sombreadas y por ende el aumento de la temperatura del suelo.
- La construcción de grandes edificios, los cuales absorben el calor y reducen el paso del viento, evitando que las ciudades se refresquen con las corrientes.
- La contaminación atmosférica, provocada por las fábricas, automóviles, aire acondicionado, que atrapan la radiación solar evitando que el calor se disipe, haciendo que la temperatura del aire aumente.
- Las actividades humanas, como lo son las industrias, las calefacciones, el uso de los automóviles, entre otras.

- Impacto sobre la economía, debido al aumento del consumo de energía, a los daños en los sistemas de transportes, a la disminución de la productividad debido a las afectaciones a la salud y ausencias de los trabajadores.

1.4 Determinación de las Islas de Calor Urbana

Existen diversas técnicas y metodologías para la determinación de las ICU, las cuales proporcionan herramientas y métodos que permiten obtener información, estudiar y analizar la temperatura de la zona de estudio, entre los que encontramos los siguientes:

- Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Teledetección.
- Redes de sensores térmicos.
- Estaciones meteorológicas
- Transectos térmicos móviles
- Métodos empíricos.
- Programas o modelos numéricos.

En el caso de este proyecto se usó la percepción remota para el análisis de las variaciones de temperatura de las imágenes satelitales, así como los SIG para la manipulación de la información cartográfica y la elaboración de los mapas; en conjunto con las estaciones meteorológicas y las redes de sensores térmicos instalados en la zona de estudio.

1.4.1 Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica (Figura 3) es un conjunto de herramientas o dispositivos de medición que permiten obtener datos de distintas variables atmosféricas y pueden estar instaladas en cualquier terreno (Meteocultura, 2019).

Figura 3

Estación Meteorológica



Fuente: Tomado de Instrumentación Científica y Tecnológica S. A. de C. V. (s.f.).

La principal utilidad de una estación meteorológica es recoger y registrar datos meteorológicos, creando información de valor que permiten:

- Saber las condiciones meteorológicas del lugar de estudio.
- Comparar la información con otras estaciones meteorológicas cercanas.

- Aportar información para realizar pronósticos de los modelos meteorológicos.
- Crear información climática.
- Crear alertas específicas.
- Proporcionar información para la agricultura.
- Medición continua de los datos atmosféricos.

Estas estaciones miden la precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, radiación, presión, dirección y velocidad del viento.

1.4.2 Redes de sensores

Las redes de sensores son sistemas inalámbricos de detección, medida y monitoreo, los cuales son cada vez más utilizados en estudios meteorológicos, ya que miden la precipitación, la temperatura, la humedad, dirección del viento y la radiación. Para realizar este análisis es necesaria la instalación de un gran número de sensores y nodos que cubran el área de estudio (Figura 4). Cada nodo tiene capacidad de procesamiento en hardware y software, lo que permite realizar tareas de obtención, procesamiento y transmisión de datos a una base central (Anzola, 2014).

Figura 4

Sensor de Temperatura Ambiental



Fuente: Tomado de UPRA (2022).

En el caso del estudio de las ICU, estos sensores permiten analizar la problemática, aplicando una clasificación zonal supervisada de componentes urbanos para así determinar los posibles factores que puedan influenciar en la formación de este fenómeno, todo esto con el uso de sensores remotos instalados a nivel de la superficie terrestre, captando la medida de la radiación solar a partir del brillo de la temperatura en K, para posteriormente convertirlo a °C, con el objetivo de correlacionar las ICU con las diferentes variables que rodean el entorno urbano.

Para poder evaluar el rango de precisión de los sensores, es necesario conocer el tipo de resolución de estos, en donde se encuentran la radiométrica, espectral, espacial, temporal y angular (Pérez y Muñoz, 2006).

Existen diversos tipos de sensores de temperatura, los cuales varían dependiendo del grado de precisión (Rahman, 2018):

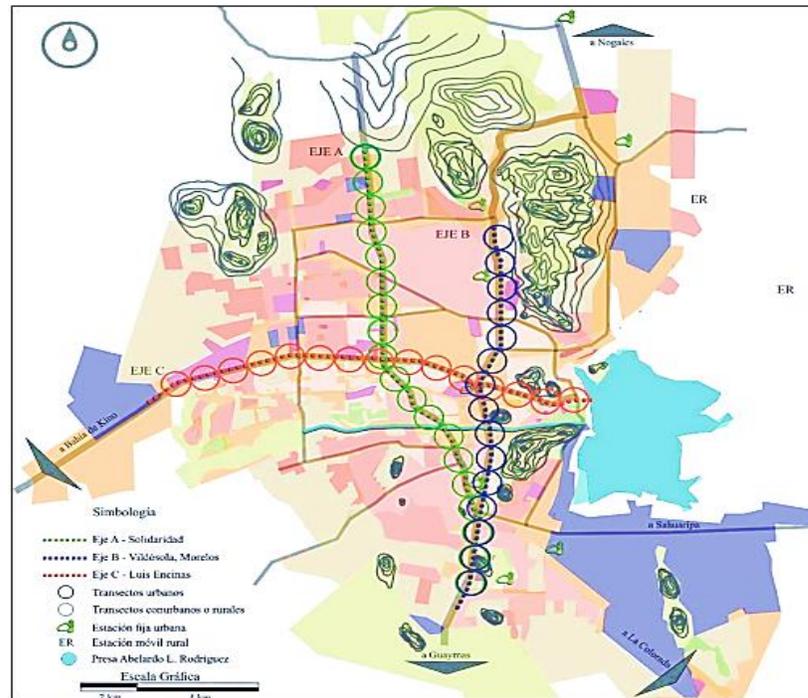
- Termopares o termocuplas, es un sensor eléctrico de uso industrial, el cual es robusto, pequeño, barato y se autoalimenta, permitiendo una rápida capacidad de respuesta.
- Sensor RTD (resistive temperatura device) de alta precisión, pero más costoso que el anterior, más grande y de velocidad más lenta.
- Sensor termistor, de fácil asequibilidad; permite adaptarse fácilmente y es sencillo de usar. Modifica su resistencia a medida que cambia la temperatura.
- Termómetro, mide la variación de la temperatura mediante la dilatación que experimenta un líquido.
- Sensor infrarrojo, que incluye un grupo de sensores sin contacto, capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja.

1.4.3 Transectos Térmicos Móviles

Un transecto térmico móvil es un recorrido en vehículo con una sonda térmica con el objetivo de captar una imagen térmica que permita realizar un mapa de isotermas de una ciudad (Figura 5). Este método fue utilizado por primera vez en Viena en 1929 por el climatólogo Luke Howard, y 93 años después, es el método más utilizado para analizar el efecto de las ICU (Taulé, 2013).

Figura 5

Transectos Térmicos Móviles



Fuente: Tomado de Mercado Maldonado (2022).

Las mediciones se han realizado estudiando las cuatro estaciones del año meteorológico mediante la instalación de un sensor externo como un termohigrómetro Zelsio P330, con la capacidad de registrar temperatura y humedad. También se ha usado para reconocer patrones termales en zonas ribereñas, en caminos, calles y carreteras, durante el invierno y el verano, partiendo de un análisis de la estructuración del espacio, las características del suelo y los materiales de construcción.

El uso de los diversos métodos de estudio de las ICU ha sido de gran ayuda, ya que gracias a estos se han podido llevar a cabo investigaciones a nivel estatal, nacional e internacional,

demostrando su viabilidad para obtener y generar información de gran importancia para la población y los tomadores de decisiones.

1.4.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) se han convertido en una herramienta de uso habitual en la sociedad. Son muy útiles, ya que permiten responder diversas cuestiones referentes a las características espaciales. Su eficacia se demuestra en numerosas aplicaciones de gestión de recursos, análisis de alternativas, herramientas de soporte en la toma de decisiones y planes de actuación ante situaciones diversas (Pérez et al., 2011).

Cebrián y Chuvieco (1993) definen a los SIG como “la base de datos computarizada que contiene información espacial”. Por su parte Aronof (1989) los definió como “un sistema basado en el ordenador que proporciona los cuatro siguientes conjuntos de capacidades para el manejo de datos georreferenciados: entrada de datos, gestión de los datos, manipulación, análisis y salida de los datos”.

Los SIG están conformados por el soporte físico o hardware, el soporte lógico o software, los datos, los recursos humanos y la organización; lo cual permite realizar las funciones de ingreso, almacenamiento, manipulación y proceso de datos, consulta a la base de datos y presentación de la información (Nagata, 1996).

De acuerdo a Lantada y Núñez (2002) la información necesaria para el funcionamiento de un SIG se divide en:

- La información gráfica: que hace referencia a la cartografía del trabajo, la cual puede ser obtenida mediante diferentes medios, como lo son:

- Restitución fotogramétrica
 - Topografía
 - GPS
 - Percepción remota
- La información alfanumérica: compuesta por números, letras y otros símbolos.

Así mismo, es de suma importancia la introducción de la información geográfica mediante el uso de dos modelos de datos, de los cuales los más empleados son: los vectoriales que son estructuras de datos que sirven para almacenar datos geográficos compuestos por coordenadas, puntos, líneas, arco y polígono; y los ráster que constan de una matriz de celdas o píxeles organizadas en filas y columnas, pueden ser fotografías aéreas digitales, imágenes satelitales, imágenes digitales y mapas escaneados (Escobar, s.f.).

1.4.5 Percepción remota

Uno de los métodos que se usan para estudiar las ICU es la percepción remota mediante el uso de imágenes satelitales, que junto al uso de los SIG posibilita obtener datos de la temperatura superficial de la zona de estudio.

La teledetección o percepción remota es una disciplina basada en ciencia y tecnología, que permite desarrollar, capturar, procesar y analizar imágenes, junto con otros datos físicos de la tierra, los cuales se obtienen de sensores que se encuentran en el espacio, sensores aerotransportados y sensores que capturan datos de mediciones *in situ* (SEMAR, 2009).

Esta se basa en la adquisición de datos a distancia sobre la biósfera, centrándose en las propiedades de la radiación electromagnética y su interacción con los materiales que se encuentran en la superficie terrestre, y cuyo objetivo es identificar los materiales que se encuentran en esta y

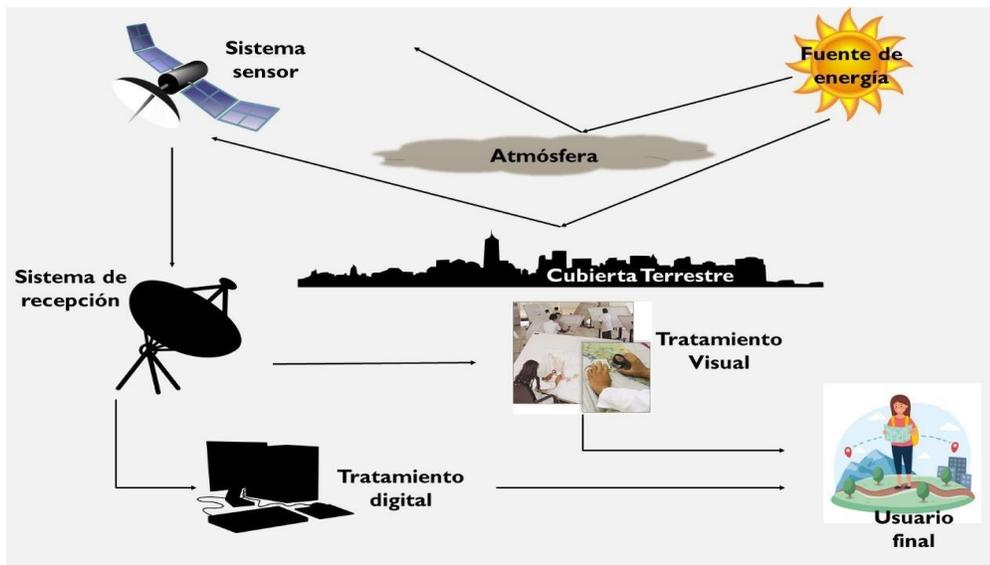
los fenómenos que ocurren a través de la firma espectral, la cual es la respuesta espectral que tienen los elementos que se encuentran en la naturaleza (Sacristán, 2006).

Debido a que cada superficie absorbe y refleja las longitudes de onda de diferente manera, permite diferenciar los distintos tipos de superficies y su comportamiento por separado.

Los elementos de la teledetección son la fuente de energía, la atmósfera, la cubierta terrestre, el sistema sensor, el sistema de recepción, el tratamiento visual, el tratamiento digital y finalmente, el usuario final, los cuales son representados en la Figura 6.

Figura 6

Elementos de la Teledetección



Los fundamentos de la teledetección se abordan desde el campo de la Física, específicamente la óptica y la electrónica, debido a que la observación remota es posible gracias a la interacción del flujo energético con las cubiertas terrestres; a este flujo se le conoce como radiación electromagnética (Pérez y Muñoz, 2006).

La teledetección tuvo su origen, como toda tecnología, para uso bélico, la cual permitía observar a sus enemigos a grandes distancias. El uso de esta herramienta tuvo gran relevancia a finales de la segunda guerra mundial, cuando Clyde Holliday, ingeniero del laboratorio de Física Aplicada de la Universidad Johns Hopkins, en Estados Unidos, instaló a los cohetes empleados durante esta época una cámara, la cual pudo tomar la primera fotografía de la tierra desde el espacio (Forssman et al., 2016).

El primer satélite lanzado fuera de órbita que permitió obtener imágenes del espacio fue el Explorer VI, de la NASA, en 1959 (Santamarina 2022), y el primero en generar información de forma periódica fue el satélite meteorológico TIROS-I en 1960. Las imágenes que tomaban estos satélites se obtenían mediante sensores vidicon, que eran cámaras de televisión modificadas y que permitían la transmisión a la tierra como un canal de televisión (SRI, 2020).

A partir de los años 70, hasta la actualidad, con el lanzamiento de los satélites Landsat, comenzó la generación de las imágenes satelitales para uso civil y con el cual se pueden obtener datos de manera periódica y para uso científico (Rodríguez Pérez et al., 2015).

Gracias a que la teledetección permite realizar estudios a distancia, escaneando los objetos sin estar en contacto con ellos, ha presentado una gran cantidad de aplicaciones y usos, desde su uso militar hasta la oceanografía, es por eso que dependiendo de la función que realice y de cual sea la fuente de energía que es registrada por el sensor, se clasifica en dos grupos: teledetección activa y teledetección pasiva (Kogut, 2021).

La teledetección activa es aquella en donde el instrumento funciona con su propia fuente de luz y en donde la diferencia radica en las longitudes de onda captadas, las cuales son las ondas

cortas en donde se encuentran la onda visible, NIR (Espectro de Infrarrojo Cercano) y MIR (Infrarrojo Medio); y las ondas largas en donde encontramos las microondas.

Debido a que no necesita luz solar se puede obtener información a cualquier hora del día, así como implementarla en diferentes campos, como lo son la agricultura, la topografía, orografía, la detección y seguimiento de fenómenos naturales, así también la obtención de datos de temperatura, humedad, precipitación y la presencia o ausencia de nubes.

En el caso de la teledetección pasiva, los sensores que posee no transmiten energía propia, como lo que ocurre en la teledetección activa, sino que la obtención de la información depende de la energía solar natural reflejada de la superficie. Ésta emplea sensores multiespectrales o hiperespectrales que miden la cantidad de luz recibida con diversas combinaciones de bandas, las cuales están en espectros dentro y fuera de la visión humana, donde encontramos los espectros: visible, IR (Infrarrojo), NIR, TIR (Infrarrojo Térmico) y microondas.

Regularmente la obtención de esta información es de uso libre, por lo que puede aplicarse en diversos campos, como lo son la geología, el estudio del medio ambiente, meteorología y las ciencias marinas.

Para obtener los valores de la temperatura superficial mediante el uso de imágenes satelitales, se realiza mediante la lectura de la radiación electromagnética en la región del infrarrojo térmico (de 8 a 14 μm).

2 Antecedentes

La primera vez que se hizo mención de la ICU fue a principios del siglo XIX, en 1818, cuando el meteorólogo Luke Howard estudió la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y las zonas rurales en la ciudad de Londres (Villanueva- Solís, 2011).

Sin embargo, el término de isla de calor urbana – urban heat island- surgió por primera vez en 1958, en un estudio realizado por Gordon Manley en Inglaterra donde se relacionaba la reducción de las precipitaciones de nieve con el aumento de las temperaturas en las zonas urbanas (Fernández, 2009).

En México, en el año 1895 el climatólogo del Servicio Meteorológico Nacional Manuel Moreno y Anda, señaló los contrastes térmicos que había entre el centro de la Ciudad de México y el Observatorio de Tacubaya, mediante el uso de dos estaciones – urbana y rural- donde determinó los contrastes existentes entre la ciudad y el campo, caracterizando de esta manera la isla de calor urbano (Jáuregui, 1993).

A partir de ese momento se empezaron a realizar análisis de la ICU en varias ciudades de la República Mexicana, entre los trabajos más recientes realizados en el país se encuentran:

García- Cueto et al. (2007), elaboraron un análisis de detección de la ICU en Mexicali, Baja California y su relación con el uso del suelo, en donde se analizaron las islas de calor urbano atmosférico y superficial, relacionándolos con los usos de suelo, usando el método de detección *in situ* de temperatura del aire e imágenes satelitales térmicas NOAA AVHRR y Landsat. Los resultados muestran un desarrollo en la ICU nocturna, con una intensidad máxima promedio de 4.5 °C en el otoño, pero que se invierte durante el día, generando una isla urbana fría. Así mismo

se realizó la comparación de ICU de la ciudad con los alrededores, demostrando un contraste térmico importante.

González Becerril et al. (2007), realizaron un análisis de la ICU en Toluca, la metodología empleada consiste en la determinación de los valores de la temperatura que se registraron en dos días típicos de invierno y verano, durante el día y durante la noche. Esto demostró la distribución de la ICU en la zona de estudio, a partir de los datos de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA). También tomaron en consideración el comportamiento y variación de la humedad relativa, la precipitación y el viento, con el objetivo de mostrar el comportamiento anómalo en la zona de estudio. El resultado del primer día de estudio mostró una diferencia térmica de 3 °C entre el centro de la ciudad y la periferia durante el día, y durante la noche la diferencia fue de 1.5 °C. Para el segundo día se mostraron resultados durante el día de 2 °C y durante la noche de 2.5 °C, del centro de la ciudad a la periferia.

Mora Damián (2017) estudió la presencia e intensidad de la isla de calor e isla fría superficial diurna en la ciudad de Morelia, Michoacán, mediante 12 imágenes satelitales térmicas mensuales Landsat 8, realizando la clasificación de uso de suelo y la comparación de la temperatura superficial de estas coberturas. La ciudad presentó una isla de calor superficial con una intensidad máxima de 7.2°C en el mes de septiembre y una isla fría superficial con una intensidad de 2.5°C en el mes de mayo.

Un estudio realizado por Godínez Tovar y López Gutiérrez (2018) en el estado de Querétaro y San Juan del Río, donde se realizó un análisis de la dinámica de la ICU y su efecto en la distribución espacio-temporal de la lluvia. Empleando imágenes satelitales y los días de precipitación que se presentaban en la zona para su análisis, determinó que los cambios en la

superficie de las ICU no presentan un comportamiento constante para todos los meses en los que realizó el estudio. Así mismo se demostró que las ICU de Querétaro son más grandes en comparación con las de San Juan del Río, con un umbral promedio de 26.77 km² y 10 km² respectivamente. En cuanto a la tendencia de temperatura, muestra un aumento promedio de 0.58 °C, principalmente en la temporada invernal en ambas ciudades, asociadas a la baja precipitación.

López et al. (2021), realizaron un estudio de la Cobertura vegetal y la distribución de las islas de calor/ oasis urbanos en Hermosillo, Sonora, con el objetivo de conocer la influencia del porcentaje de la cobertura vegetal en la temperatura superficial del suelo y su distribución espacial a través del uso de los sistemas de información geográfica y teledetección remota. Como resultado obtuvieron un promedio del 12% de la cobertura vegetal en manzanas urbanas, considerando un rango de 0 a 59%. Con las imágenes obtenidas con el satélite Sentinel 2^a y Landsat 8 se detectaron temperaturas promedio por manzana de entre los 37 y 45 °C, considerando la variabilidad por la cantidad de cobertura vegetal que se encontraba en las manzanas.

Mercado Maldonado (2022) realizó un trabajo de mitigación y adaptación al efecto de ICU de clima cálido seco en la ciudad de Hermosillo, Sonora, con el método experimental de transectos térmicos en los principales ejes de la estructura urbana, así como una metodología comparativa para contrastar los resultados obtenidos, haciendo uso de datos meteorológicos y satelitales. Se localizó la ICU al centro de la zona urbana, donde se registró la temperatura de 43 °C, en comparación con la zona periurbana donde se registró una temperatura de 38 °C. Así mismo se identificaron las causas principales para la formación de este fenómeno, como lo son la morfología y la geometría de la ciudad, el tipo de suelo, los materiales no permeables de bajo albedo, escasa

vegetación y el calor antropogénico generado por el uso de los autos, la industria, el aeropuerto y el uso del aire acondicionado.

Ante esto, se presentaron propuestas de mitigación, entre las que encontramos la infraestructura urbana, promoviendo el diseño compacto y vertical para el sombreado de los espacios públicos; la infraestructura verde, con la plantación de árboles xéricos ya que no requiere mucha irrigación, considerando lo desértico de la zona; y la infraestructura vial, con la inclusión de pigmentos en el asfalto para aumentar el albedo, reducción de carriles y reducción de vehículos.

En lo que respecta a trabajos realizados en el estado de Chiapas, el primer estudio de ICU realizado fue en el periodo del 02 al 08 de marzo del 2014 por Pérez Villatoro (2014), donde empleó el modelo meteorológico MM5 con un dominio de 28x40 celdas con una resolución de un kilómetro, abarcando la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y las ciudades cercanas. Sus resultados se compararon con una campaña de monitoreo meteorológico realizado en la zona de estudio en la misma fecha. Así mismo se realizó el método de asimilación de datos para representar de manera óptima los resultados generados por el modelo. En cuanto a la determinación de las ICU se aprecia que para el 2 de marzo el punto más caliente de la ciudad presenta una temperatura de 33 °C, mientras que en los límites de la ciudad alcanza una temperatura de 29 °C. Para el 5 de marzo se observa una temperatura de 31.5 °C en el punto más caliente de la ciudad, mientras que en la periferia se muestra una temperatura de 28.5 °C.

Cortés Pérez (2017) realizó un estudio de islas de calor para los años 2000 y 2016 en los Terrenos Forestales de Villa de Allende aplicando el método de teledetección, donde analizó la relación existente entre el estado de la cubierta vegetal y las temperaturas superficiales elevadas, mediante el cálculo del Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación y empleando imágenes

Landsat 7 y 8. La selección de las fechas correspondió al mes de marzo de ambos años, ya que es uno de los más secos y que presentan menor nubosidad del periodo anual en el área de estudio, lo que permitió conocer el comportamiento de las temperaturas máximas y la identificación de las islas de calor. Las islas de calor alcanzaron una temperatura superficial de entre 35 y 45 °C, observándose en sitios puntuales del área natural protegida, los cuales corresponden a las áreas que tienen influencia directa con las vías de comunicación y que coinciden con áreas totalmente desprovistas de vegetación para uso agrícola y pecuario a baja escala, así como en las periferias de Tuxtla Gutiérrez y Berriozábal.

Zavaleta et al. (2020), exponen que el cambio de uso de suelo es un factor fundamental y de gran impacto en la sociedad, ya que se encuentra estrechamente relacionado con la expansión urbana, trayendo como consecuencia la Isla de Calor Urbano. En este estudio se implementó el modelo meteorológico MM5, con el cual se simularon las condiciones atmosféricas en el periodo del 30 de abril al 6 de mayo del año 2017, seleccionando el día 3 de mayo como referencia para la zona de estudio. En la comparación de resultados obtenidos del escenario actual con los del escenario del crecimiento urbano se observa que las ICU presentes incrementan su amplitud y su magnitud, llegando a provocar un aumento de temperatura de hasta 2.6 °C en la ciudad.

Cruz Damián (2021) realizó una cuantificación a la exposición térmica por movilidad en dos vías de Tuxtla Gutiérrez empleando un registrador de bajo costo que determinaron las variables de presión, humedad y temperatura, generando una base de datos para realizar los cálculos necesarios y obtener la Sensación de Voto Actual de la ciudad. Haciendo uso del transporte público, transporte particular y la caminata, determinó el índice más alto y la afectación que esto podría representar a la población. Se hicieron 27 días de muestreo, y se mostraron las variaciones

de temperatura de acuerdo a las condiciones meteorológicas, la cobertura vegetal y el vehículo en el que se transportaba, dando como resultado que las temperaturas mínimas registradas correspondieron a la movilidad que se realizó en la modalidad de caminata, mientras que las máximas correspondieron a la movilidad que se realizó en un coche particular.

Castro- Mendoza et al. (2022), analizaron el comportamiento histórico de la temperatura atmosférica y la temperatura superficial, con el fin de conocer el patrón espacial de las temperaturas extremas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, considerando la temperatura del aire y la temperatura de superficie. Respecto a la temperatura del aire se encontró que a partir de 1980 la frecuencia de las temperaturas superiores a 40 °C aumentó un 18% y las temperaturas nocturnas superiores a los 28 °C un 14%. En cuanto al análisis histórico de la temperatura ambiental, se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 para el 5 de abril de 2001 y Landsat 8 para el 1 de abril de 2011 y 2017, las cuales fueron procesadas en ArcMap 10.5. Para el análisis termal se empleó el método de clasificación de emisividad el cual ayuda a estimar la emisividad reportada para el uso y cobertura de suelo empleando nueve clases: agua, árbol, camino de asfalto, césped, suelo desnudo, suelo agrícola desnudo, techo de concreto, techo de metal y techo de teja. Lo anterior dio como resultado que la superficie cubierta de árboles es la que ha disminuido en su mayoría, convirtiéndose en suelo agrícola desnudo, techo de concreto y teja, lo cual está asociado al aumento de temperatura promedio de la ciudad, mostrando que en el año 2001 la ciudad contaba con un rango de temperatura de 29° a 31°C, considerado como poco agradable; en el año 2011 se encontraba en un rango de 31° a 33°C, clasificado como extremadamente desagradable y en el 2017 se encontraba en el rango de 33° a 35°C clasificando a la ciudad en la categoría de condiciones de estrés.

Para los municipios cercanos a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en este caso la ciudad de Chiapa de Corzo, no existe estudio alguno sobre las ICU, aunque esta zona ha tenido una tasa de aumento poblacional anual del 3.019% en los últimos 12 años, convirtiéndose poco a poco en una conurbación de la ciudad capital que con el paso del tiempo ha ido unificándose convirtiéndose así en parte de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. Es por eso que se considera necesario realizar este tipo de estudios para determinar la ICU y la influencia que tiene la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez sobre las ciudades que se encuentran a su alrededor, empleando en este caso el uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica, complementando la información con datos obtenidos de sensores de bajo costo.

3 Planteamiento del problema

La ICU es un fenómeno provocado por diversos factores, como lo son la disminución de la cobertura vegetal generado por la extensión de las zonas urbanas, el tipo de morfología urbana, la debilidad de la acción del viento, la presencia de superficies oscuras y la contaminación atmosférica, que a su vez se ve potencializado por el cambio climático y las olas de calor.

En este caso, la ciudad de Chiapa de Corzo al convertirse en una conurbación física intermunicipal de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, ha tenido un aumento poblacional en los últimos 10 años lo cual ha ocasionado una urbanización desordenada, generando diversos cambios de uso de suelo en la zona y por ende el aumento en la temperatura local, provocando en la población afectaciones a la salud, estrés térmico, golpes de calor, aumento en el consumo de energía eléctrica por el uso de aires acondicionados y ventiladores, produciendo a su vez un aumento en el gasto económico.

4 Justificación

La problemática de la Isla de calor se da en diversas ciudades y se ha venido acentuando más año tras año debido al cambio climático (Tapias, 2023). De acuerdo a datos tomados de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Ángel Albino Corzo, se observó que en Chiapa de Corzo se presentaron temperaturas máximas de 37.8 °C en el mes de marzo y 38.3 °C en el mes de abril del año 2011, a comparación de datos registrados en el año 2021, donde se registraron temperaturas máximas de 38 °C y 39 °C en los meses de marzo y abril, respectivamente.

Este pequeño incremento en las temperaturas máximas podría influir en la ICU sobre la ciudad de Chiapa de Corzo; por lo que surge la necesidad de realizar un estudio de comportamiento de la Isla de Calor mediante el uso de imágenes satelitales bajo las metodologías de la teledetección y los sistemas de información geográfica y la instalación de sensores en la zona urbana, con lo cual podremos ubicar los puntos donde se presenta la mayor temperatura y así establecer medidas de mitigación.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Identificar el fenómeno de la Isla de Calor Urbana mediante el uso de la percepción remota y sensores térmicos para el municipio de Chiapa de Corzo.

5.2 Objetivos específicos

- Establecer una red de monitoreo térmico empleando sensores de bajo costo para identificar los puntos cálidos y fríos de la zona de estudio.
- Recopilar y analizar las imágenes satelitales Sentinel 3 obtenidas mediante la teledetección.
- Realizar el tratamiento de las imágenes satelitales Sentinel 3 mediante los sistemas de información geográfica.
- Interpretar los datos satelitales y monitoreo térmico para determinar la magnitud de ICU, apoyados con los SIG.

6 Metodología

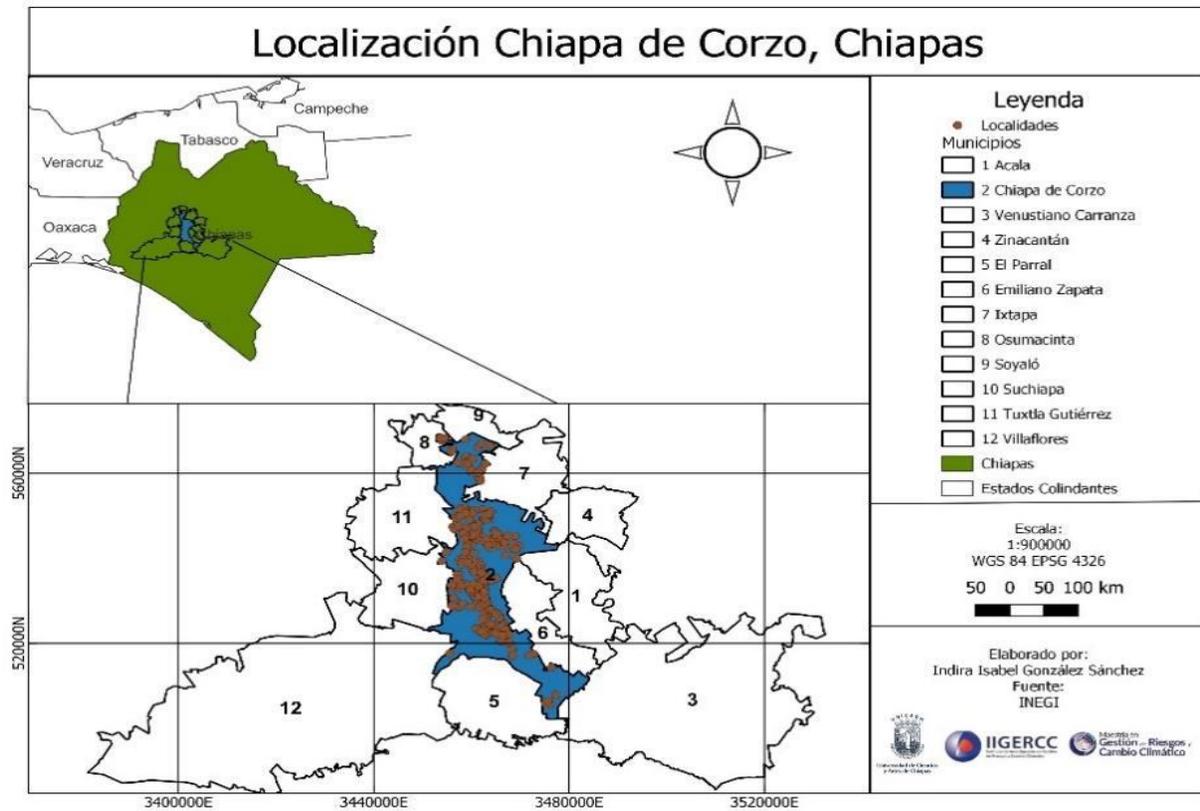
6.1 Área de estudio

El estudio de la isla de calor será realizado en la zona urbana de Chiapa de Corzo, correspondiente al municipio homónimo, la cual cuenta con un precedente histórico importante, dada la diversidad de infraestructura que en ella se encuentra y que ha ido creciendo a lo largo de los años.

De acuerdo al Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas (CEIEG, 2024), en el año 2020 el municipio de Chiapa de Corzo contaba con 327 localidades, distribuidas en rancherías y colonias; y 10 barrios tradicionales que se encuentran en la cabecera municipal. Está entre los límites de la Depresión Central y del Altiplano Central del estado de Chiapas, en donde dicha cabecera municipal se localiza a una altitud de 406 msnm. El territorio está constituido por lomeríos, que alternan con terrenos planos situados en los márgenes de los ríos. Limita al norte con Soyaló y Osumacinta; al oeste con Tuxtla Gutiérrez, Suchiapa y Villaflores; al este con Zinacantán, Ixtapa, Acala y Emiliano Zapata; y al sur con Venustiano Carranza y El Parral (Figura 7).

Figura 7

Localización de Chiapa de Corzo

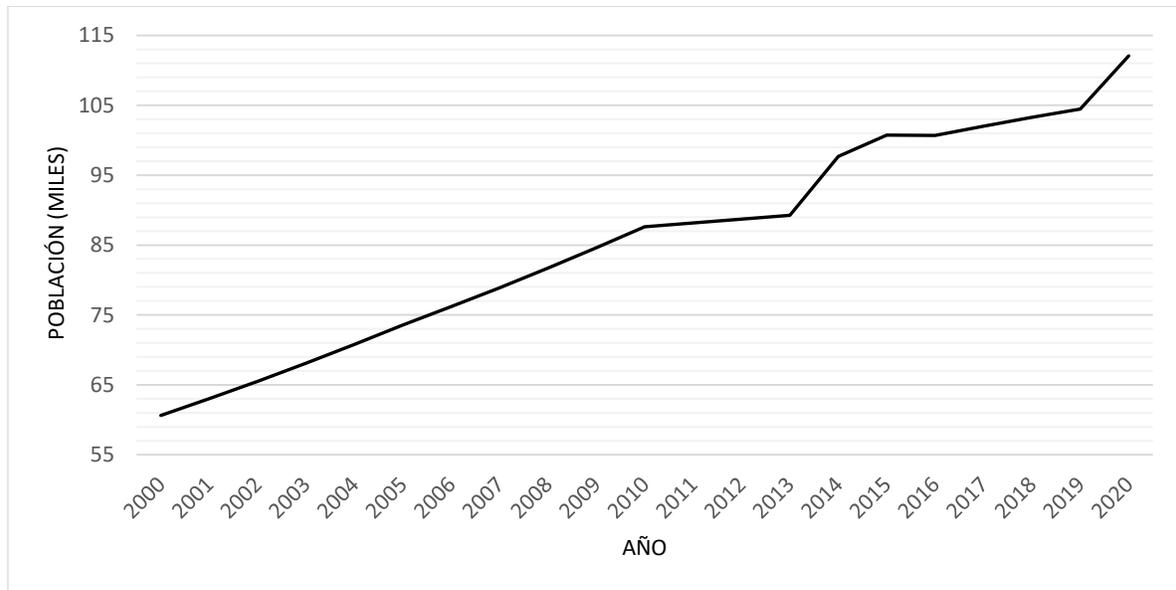


Nota. La figura representa la localización geográfica del municipio, los polígonos de los municipios colindantes y los puntos en color café las localidades que forman parte de este.

De acuerdo al censo realizado en el año 2020 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se reportó que el municipio tiene una población de 112, 075 habitantes, de los cuales 55 166 son hombres y 56 909 son mujeres. En la Figura 8 se muestra el crecimiento que ha tenido la población desde el año 2010 al año 2020, mostrando un crecimiento de 27.9% (Gobierno de México, s.f.).

Figura 8

Gráfica poblacional de Chiapa de Corzo del año 2000 al año 2020

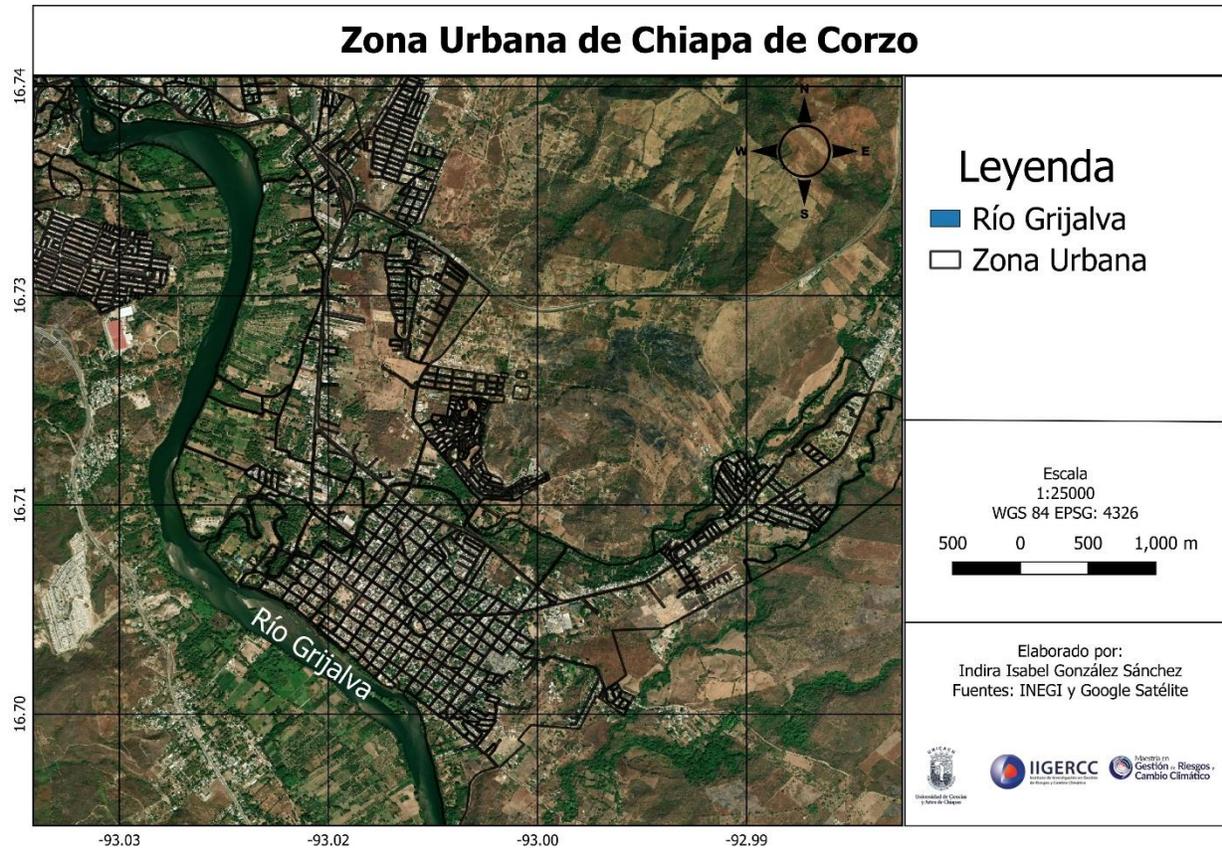


Nota. Construida a partir de datos de INEGI (2020)

La zona urbana de Chiapa de Corzo (Figura 9), cuenta con una extensión territorial de 1.94 km², donde se encuentran principalmente las residencias de los pobladores, la cual cuenta con una población de 55,931 habitantes, lo que corresponde a un 49.9% de la población municipal total.

Figura 9

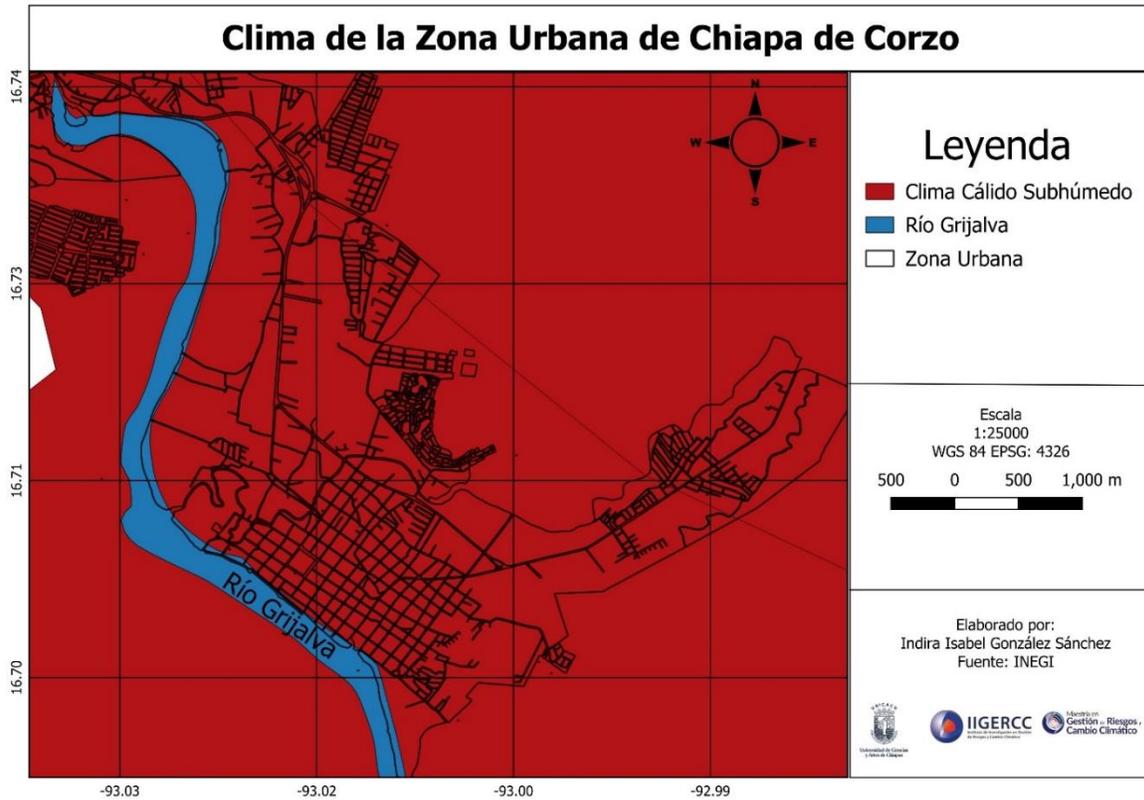
Mapa de la Zona Urbana



Predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y la temperatura media anual es de 26 °C con una precipitación pluvial de 990 milímetros anuales (Figura 10).

Figura 10

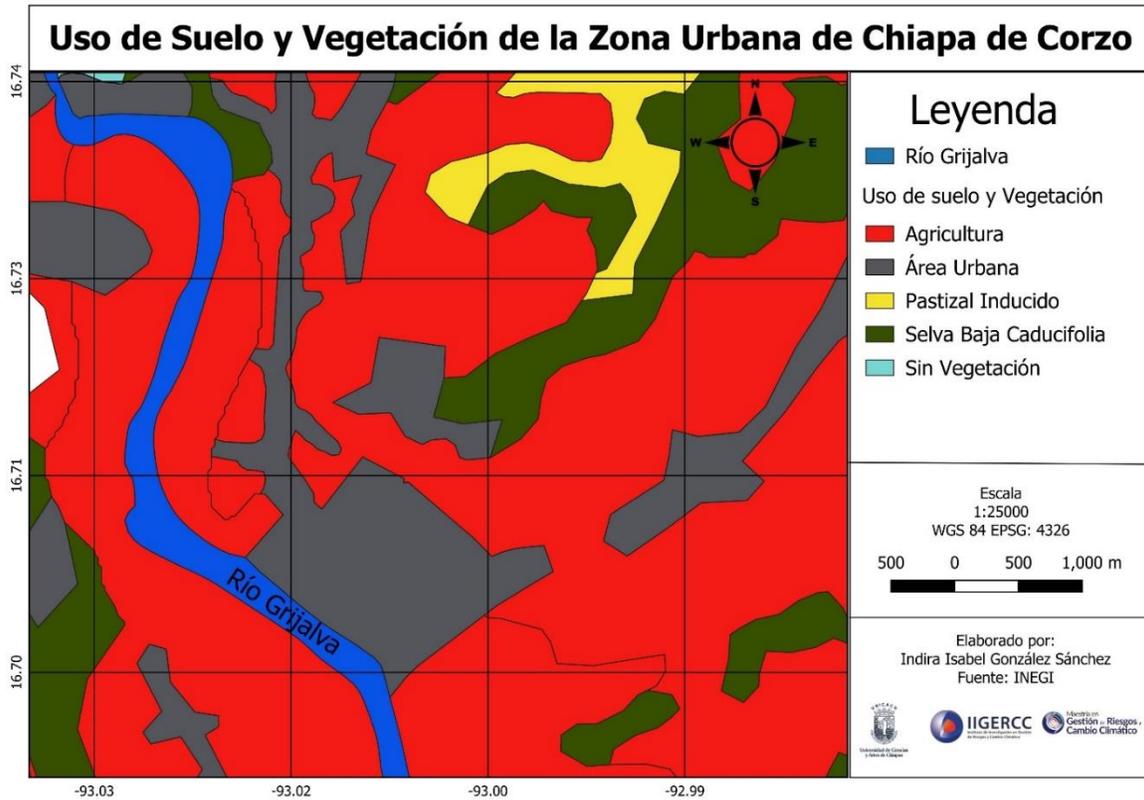
Mapa de Clima



Se encuentra rodeada por espacios destinados a la agricultura, siendo ésta el área predominante, así como áreas de pastizal inducido, selva baja caducifolia y al norte una zona sin vegetación y colindando al sur con el río Grijalva (Figura 11).

Figura 11

Mapa de Uso de Suelo y Vegetación



6.2 Percepción Remota y Sensores Térmicos de Bajo Costo

Como se hace mención en el marco teórico, para el estudio de las ICU existe una diversidad de métodos para abordar el fenómeno, en muchos casos el método a emplear depende del investigador y de la zona a estudiar. Para fines de este proyecto, se empleó el método de teledetección y un monitoreo térmico ambiental empleando sensores de bajo costo.

6.2.1 Monitoreo de temperatura y humedad

Como complemento para obtener valores de temperatura y humedad se utilizaron sensores de temperatura, los cuales han sido una tecnología perfeccionada en dispositivos compactos y baratos, que desde el año 2013 han servido de apoyo las tecnologías actuales de monitoreo climático. Así mismo, gracias a su tamaño y su peso que lo hace práctico para su transporte, los costos de operación y de mantenimiento, además de presentar información en tiempo real generando datos de volumen suficiente y disponibles en todo momento, los posiciona como los más usados en el mercado actual en diversas áreas (García Navarrete y Rico Soto, 2020).

Con la finalidad de tener un mapeo térmico de toda la zona urbana de Chiapa de Corzo y para poder realizar una comparación con los datos obtenidos de las imágenes satelitales, se instalaron dos sensores y una estación meteorológica en tres puntos de la ciudad, considerando la diversidad de características de la zona de estudio, como lo son la cantidad de vegetación, la infraestructura, la humedad y el otorgamiento de permisos de las instituciones de la región.

Los datos obtenidos en el monitoreo dieron soporte a la información obtenida mediante el análisis de las imágenes satelitales realizado por el método de la teledetección.

6.2.2 Recopilación de imágenes satelitales Sentinel 3 mediante teledetección

Copernicus es un programa elaborado por la Unión Europea usado para la observación de la Tierra, proporcionando datos ambientales y terrestres para el beneficio de la población (Programme of the European Union, 2019)

Los Satélites propios con los que cuenta Copernicus son los denominados Sentinel, en este caso se utilizó la misión Sentinel 3, la cual cuenta con dos satélites, Sentinel 3A (lanzado en 2016

desde Rusia) y Sentinel 3B (lanzado en 2017 desde Guayana Francesa) encontrándose en la misma órbita separados por 180° permitiendo obtener una vista panorámica completa y una reducción en el tiempo de la generación de datos, teniendo imágenes satelitales diarias diurnas y nocturnas, además de poseer una resolución de 1 km para las bandas infrarrojas térmicas (Programme of the European Union, 2016).

Los datos proporcionados por cada misión Sentinel son de acceso abierto para los usuarios ingresando al sitio web <https://scihub.copernicus.eu>, en donde se seleccionó la zona de estudio, el día y la misión a utilizar. De acuerdo al uso, se realizó la elección de las bandas espectrales, para este caso, el instrumento Radiómetro de Temperatura de la Superficie del Mar y de la Tierra (SLSTR por sus siglas en inglés) el cual se encuentra integrado en el satélite y que proporciona un conjunto de datos de temperatura de la superficie terrestre y de la superficie del mar, y de la banda 5, correspondiente a la banda del radiómetro LST (Temperatura de la Superficie de la Tierra), que representa la temperatura radiativa de la superficie terrestre derivada de la radiación infrarroja, refiriéndose así a la representación de la temperatura de la superficie superior cuando se encuentra en condiciones de suelo desnudo, y a la temperatura de emisión efectiva de las copas de vegetación (European Space Agency, s.f.).

6.2.3 Transformación de imágenes satelitales para obtención de temperatura

La transformación de las imágenes Sentinel 3 se realizó mediante el uso de la aplicación SNAP (Sentinel Application Platform) de acceso libre y desarrollada por la Agencia Espacial Europea, la cual es una herramienta que permite procesar y analizar todas las herramientas Sentinel permitiendo la observación de la tierra. Los procesos que se realizaron en este programa son la

acotación del área de estudio, la reproyección de la imagen y la conversión de temperatura de Kelvin (K) a Celsius (°C), para finalizar el tratamiento en nos.

6.2.4 Clasificación de temperatura con Plugin en QGIS

QGIS es un software de uso libre y de código abierto, el cual permite procesar información ráster y vectorial muy diversa. Está desarrollada con el kit de herramientas Qt y C++, haciéndolo más ligero y con una interfaz gráfica de usuario agradable y fácil de usar.

Además, proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos, lo que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas (QGIS, s.f.).

Para realizar la clasificación de temperatura de los datos se usó el plugin GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), software bajo licencia GNU, y que es capaz de soportar información ráster y vectorial. Además, permite tener acceso a las bases de datos y funcionalidades de SIG de Grass, que incluye herramientas de geoprocreso de datos vectoriales, conversión de formatos (de ráster a vectorial y vectorial a ráster), herramientas de análisis y extracción, procesado de imágenes de satélite, corrección topológica, etc.

GRASS maneja cinco bloques con diversos algoritmos que se encuentran en la caja de herramientas, nombrados por su letra inicial (Ramos, 2016):

- Imágenes (i.*)
- Miscelánea (m.*)
- Ráster (r.*)
- Vectorial (v.*)

- Visualización (NVIZ)

Para propósito de este proyecto, se utilizó la herramienta r.reclass, en la cual se ingresó la condición *trhu*, lo que permitió reclasificar el mapa ráster por valores de categoría.

6.2.5 Análisis de cambio de uso de suelo

Para realizar el estudio de cambio de uso de suelo se recolectaron las capas con los datos correspondientes al municipio de la página de Internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), además se obtuvo información de la página del Comité Estatal de Información de Estadística y Geográfica de Chiapas (CEIEG).

Posteriormente, se realizó la agrupación de las categorías de usos de suelo que se presentan en la zona en siete clases para realizar el cálculo de área en hectáreas (ha), el cálculo de las tasas de cambio de cada año de acuerdo con la formula utilizada por la FAO (1995):

$$r = \left(\left(\frac{s2}{s1} \right)^{n/1} - 1 \right)$$

Donde:

r es la tasa de cambio, s2 y s1 son las superficies en el tiempo inicial y final respectivamente y n es la diferencia en años entre las dos.

Además, se realizó una matriz de transiciones correspondiente a los años 2003 y 2018 para identificar el área en ha que ha sido modificada.

7 Resultados

7.1 Monitoreo Térmico

La primera actividad de este proyecto fue el monitoreo de temperatura y humedad de la zona urbana de Chiapa de Corzo, mediante el uso de sensores ambientales y la estación meteorológica.

Por la disposición de los permisos y seguridad de los instrumentos, solamente 3 sitios de monitoreo fueron posibles, la estación 1 corresponde al Colegio La Patria (círculo), donde se instaló la estación meteorológica en el mes de marzo; la estación 2 en las instalaciones de la Licenciatura en Arqueología de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) instalado en el mes de junio (cuadrado) y la estación 3 en el Colegio Nacional de Educación Profesional (CONALEP) instalado en el mes de julio (triángulo), que desde la fecha de su instalación comenzaron a registrar datos correspondientes a la temperatura, humedad y presión (ver Figura 12).

Figura 12

Ubicación Final de Estaciones de Monitoreo



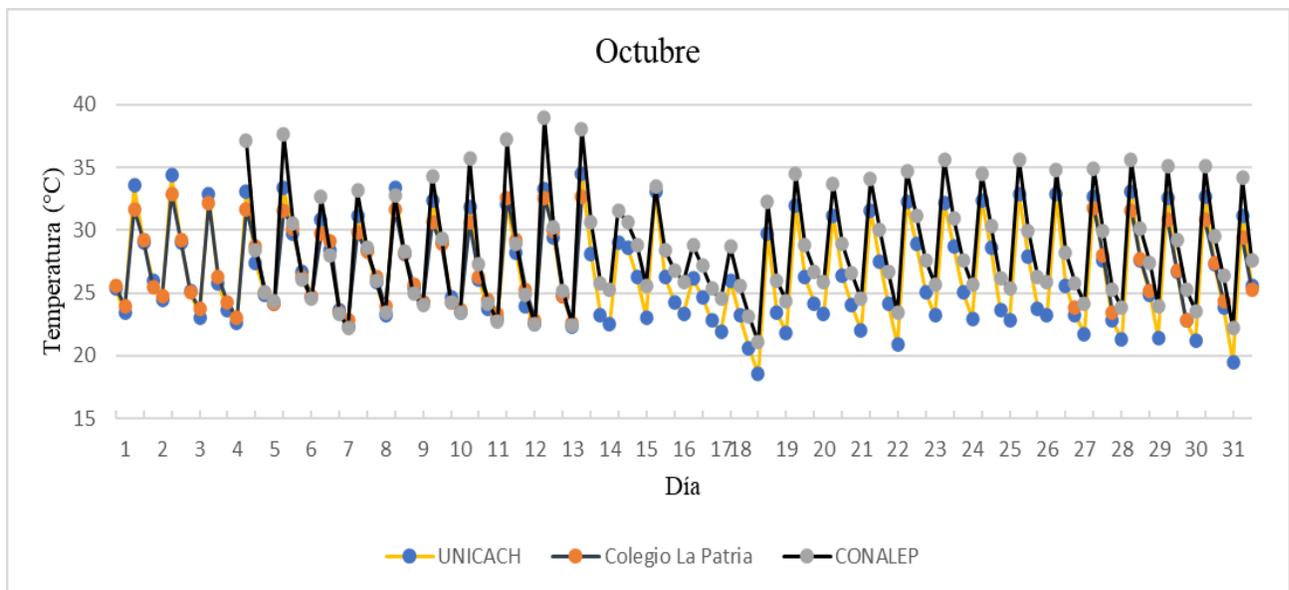
Los datos obtenidos del monitoreo se procesaron usando la herramienta Excel para generar las gráficas de temperatura y humedad mensuales de los tres puntos de medición. Las gráficas mensuales, desde el mes de enero hasta diciembre de 2023, se encuentran en la sección de anexos.

Una vez que todos los dispositivos fueron instalados y se encontraban funcionando en los puntos de muestreo, se realizó una gráfica de temperatura promedio del mes de octubre como referencia comparativa a partir de la información obtenida (Figura 13). Los datos presentados corresponden al mismo día registrado en cada estación, en donde se observa que las temperaturas más elevadas se presentaron en la estación CONALEP, registrando una temperatura máxima de

41.14 °C y una mínima de 20.9 °C; la estación Colegio La Patria registró una temperatura máxima de 34.8 °C y una mínima de 20.6 °C, mientras que la estación UNICACH registró una temperatura máxima de 37.41 °C y una mínima de 18.37 °C, siendo esta la estación con temperaturas más bajas. Es importante considerar que en las gráficas donde se presenta una humedad de 100 % es por la presencia de las lluvias que se presentaron en ese momento y que el dispositivo registró.

Figura 13

Gráfica comparativa de medición de temperatura

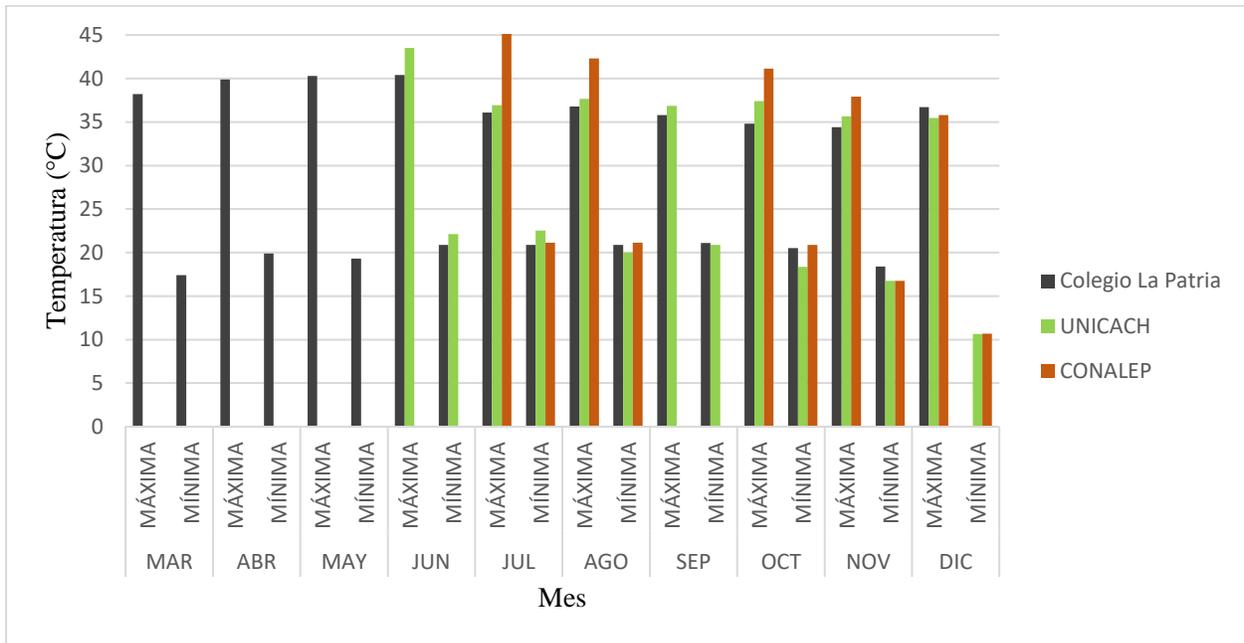


Las temperaturas máximas y mínimas mensuales, como se observa en la Figura 14, indican temperaturas superiores a los 40 °C en la estación Colegio La Patria y en la UNICACH en el mes de junio, lo que coincide con la tercera ola de calor que se presentó del 1 al 22 de junio de 2023 en el estado de Chiapas (Secretaría de Salud, 2023). Así mismo, en el sensor de CONALEP del total de 113 días muestreados 21 registraron las temperaturas más altas de la zona de estudio, las cuales superan los 40 °C, siendo un 18.58% de los días de registro de ese dispositivo. Las temperaturas

más bajas se registran en el sensor de la UNICACH y el CONALEP, en donde se registraron temperaturas mínimas de 10.65 °C y 10.68 °C respectivamente.

Figura 14

Gráfica de temperaturas máximas y mínimas



7.2 Teledetección

Con el objetivo de observar la variación de temperatura durante el día, se descargaron un total de 20 imágenes satelitales, que contemplan los meses de enero hasta diciembre del año 2023 (ver anexos de la Figura 25 - 41). Para esto se consideraron la ubicación y la cantidad de nubes que se encontraron en ellas.

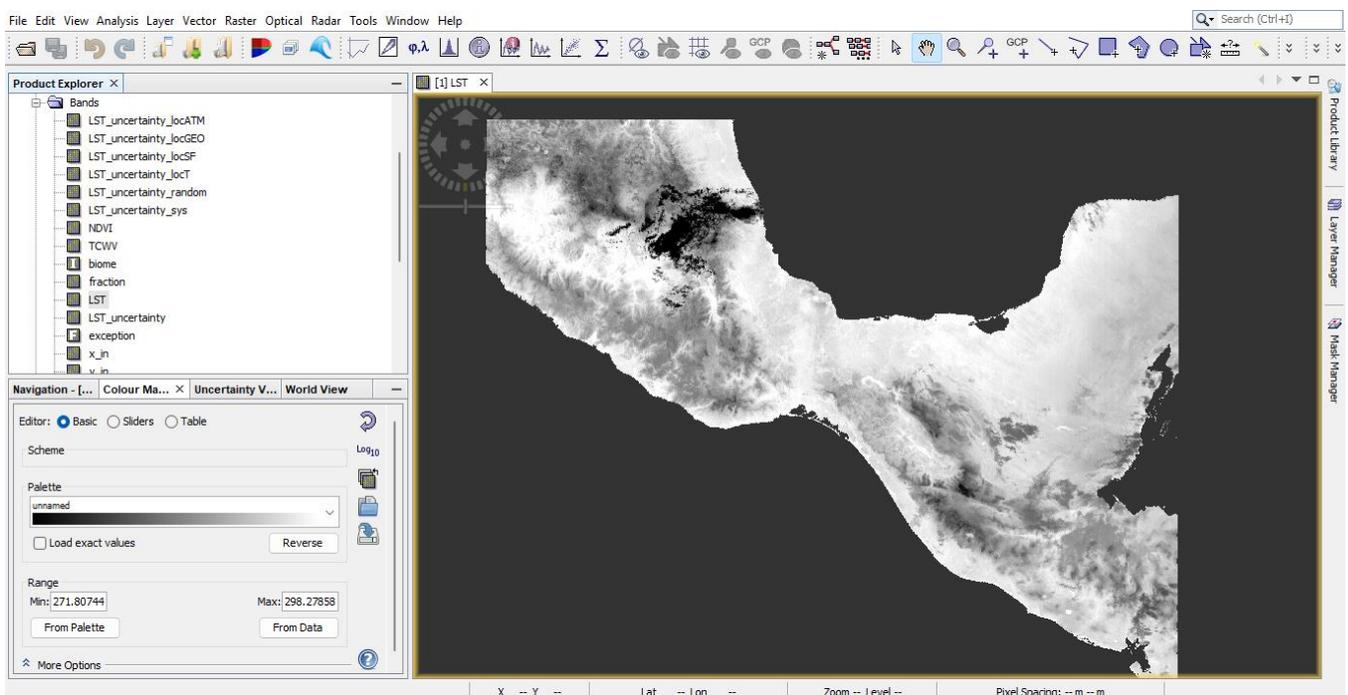
Debido a la actualización de la plataforma Copernicus, la banda LST, utilizada para obtener la temperatura de la superficie, cambió momentáneamente para la descarga de las imágenes de los meses de noviembre y diciembre a la banda T7, que de igual forma permite recuperar los datos

LST en los productos SLSTR Nivel-2 de Sentinel 3 además de información de fuego activo, funciona con las bandas térmicas infrarrojas ambientales y tiene 1000 metros de resolución.

Mediante el procesador SNAP, se selecciona la banda LST y se obtuvo una imagen monocromática (Figura 15), donde se visualizó el sureste del país y a la izquierda la temperatura total en K.

Figura 15

Visualización de imagen satelital Sentinel 3 en SNAP



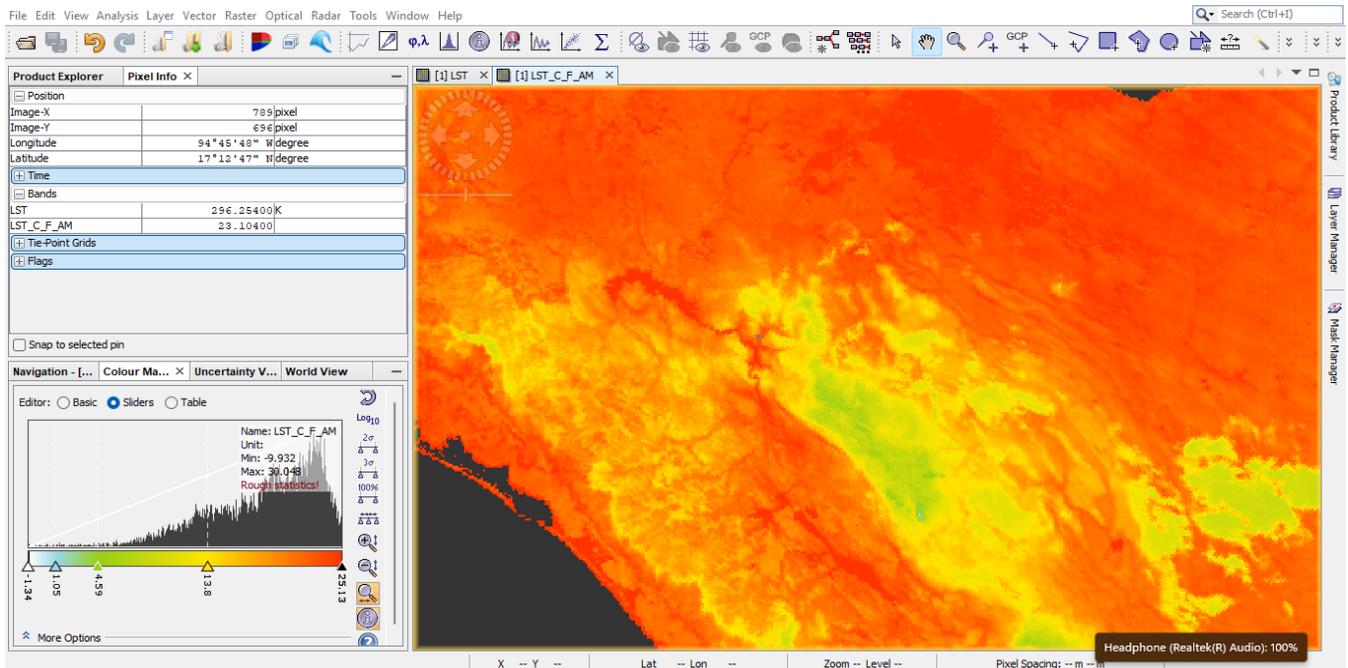
Posteriormente se realizó la acotación del área de estudio con ayuda de la herramienta Subset y la reproyección de la imagen con la herramienta Geometric. Después se realizó la conversión de la temperatura de K (unidad de temperatura establecida por defecto en las imágenes satelitales Sentinel 3) a °C seleccionando la opción Band Math e ingresando la fórmula:

$$^{\circ}\text{C} = LST - 273.15$$

El resultado de lo anterior se presenta en la Figura 16, en donde se puede observar a la izquierda la tabla de temperaturas y a la derecha el área acotada y re proyectada.

Figura 16

Resultado de Reproyección y Conversión de Temperaturas en SNAP



Este último resultado se exportó como archivo GeoTIFF para realizar la clasificación de temperaturas de las imágenes en QGIS.

En QGIS se realizó otra acotación al área de estudio, haciendo un acercamiento en este caso en la zona urbana de Chiapa de Corzo, ya que esta cubre un área más pequeña que la imagen exportada. A continuación se hizo una reclasificación de la temperatura en las 20 imágenes satelitales, usando la herramienta `r.reclass`, en donde se ingresaron las condiciones seleccionadas (ver Tabla 1) para obtener los rangos de temperatura necesarios y se reflejara la clasificación de colores.

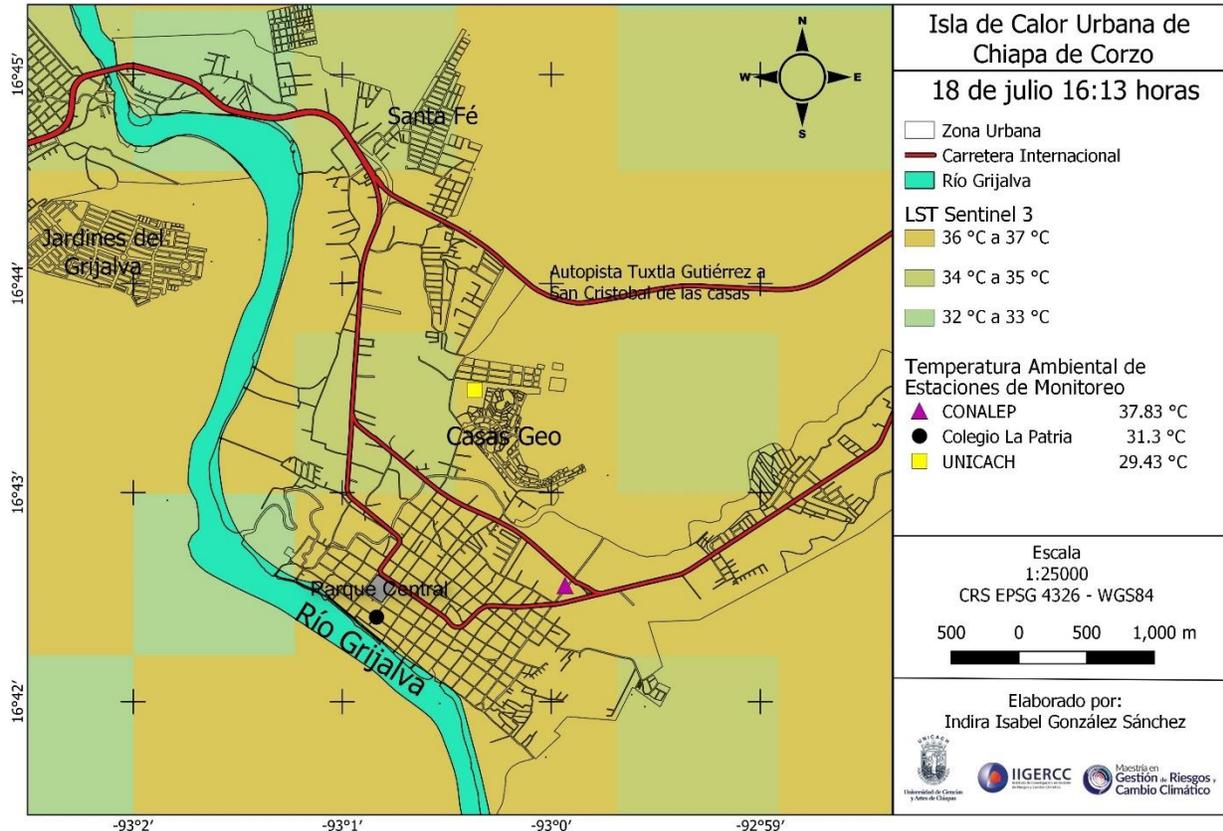
Tabla 1*Asignación de rangos de temperatura*

Valor	Rango de Temperatura (°C)	Condición
1	10 a 11	10 thru 11 = 1
2	12 a 13	12 thru 13 = 2
3	14 a 15	14 thru 15 = 3
4	16 a 17	16 thru 17 = 4
5	18 a 19	18 thru 19 = 5
6	20 a 21	20 thru 21 = 6
7	22 a 23	22 thru 23 = 7
8	24 a 25	24 thru 25 = 8
9	26 a 27	26 thru 27 = 9
10	28 a 29	28 thru 29 = 10
11	30 a 31	30 thru 31 = 11
12	32 a 33	32 thru 33 = 12
13	34 a 35	34 thru 35 = 13
14	36 a 37	35 thru 37 = 14
15	38 a 39	38 thru 39 = 15
16	40 a 41	40 thru 41 = 16
17	42 a 43	42 thru 43 = 17
18	44 a 45	44 thru 45 = 18
19	46 a 47	46 thru 47 = 19
20	48 a 50	48 thru 50 = 20

Para fines representativos se muestra la Figura 17, en donde se presenta la imagen satelital Sentinel 3 de la zona urbana de Chiapa de Corzo correspondiente al día 18 de julio a las 16:13 horas y los puntos de ubicación de los dispositivos instalados, lo cual permitió obtener información cualitativa aproximada de los datos de temperatura obtenidos por ambos métodos. En este caso, las temperaturas registradas por la imagen satelital Sentinel 3 van desde los 32 °C en la zona suroeste de la ciudad hasta los 37 °C en la mayor parte del territorio representado en el mapa.

Figura 17

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo, 18 de julio

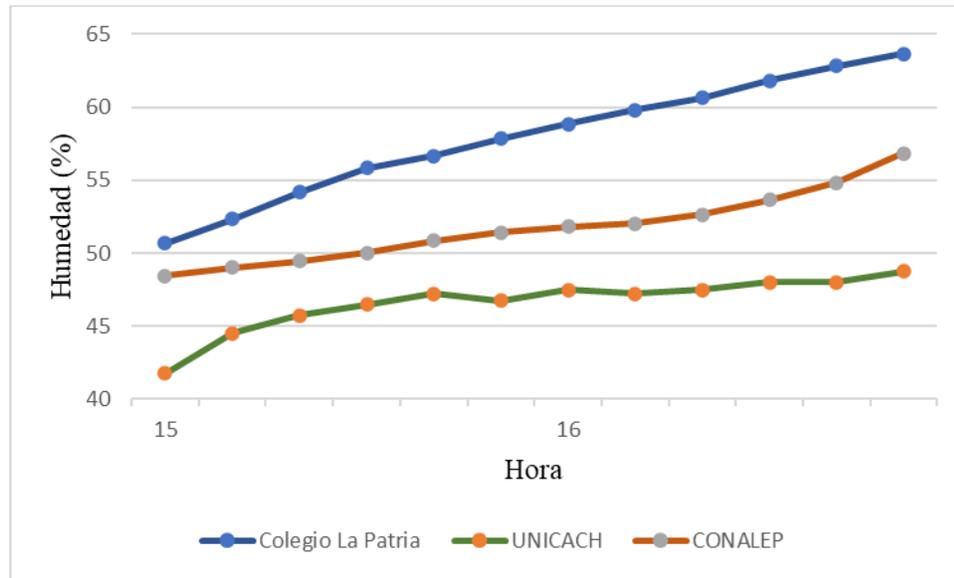


En el caso de los datos registrados por los dispositivos, se observa que el sensor UNICACH registró en esta hora una temperatura de 29.43 °C, el sensor CONALEP registró una temperatura de 37.83 °C y el Colegio La Patria una temperatura de 31.3 °C. Comparando estos datos con los obtenidos de la imagen se puede observar que únicamente el punto del CONALEP se aproxima a la temperatura de ésta, ya que en los otros dos puntos hay una diferencia de temperatura de 4.7 °C para el Colegio La Patria y 6.5 °C para la UNICACH dado que ambos se encuentran en la zona marcada con el color correspondiente a las temperaturas 36 °C a 37 °C, esto debido a los factores

externos que interfieren con los datos, como son la cobertura vegetal y las construcciones que se encuentran en la zona circundante que se ve reflejada en la temperatura superficial presentada por las imágenes, y la humedad que, como se ve en la Figura 18 es más elevada en el Colegio La Patria y mucho menor en la UNICACH, punto más alejado del cuerpo de agua.

Figura 18

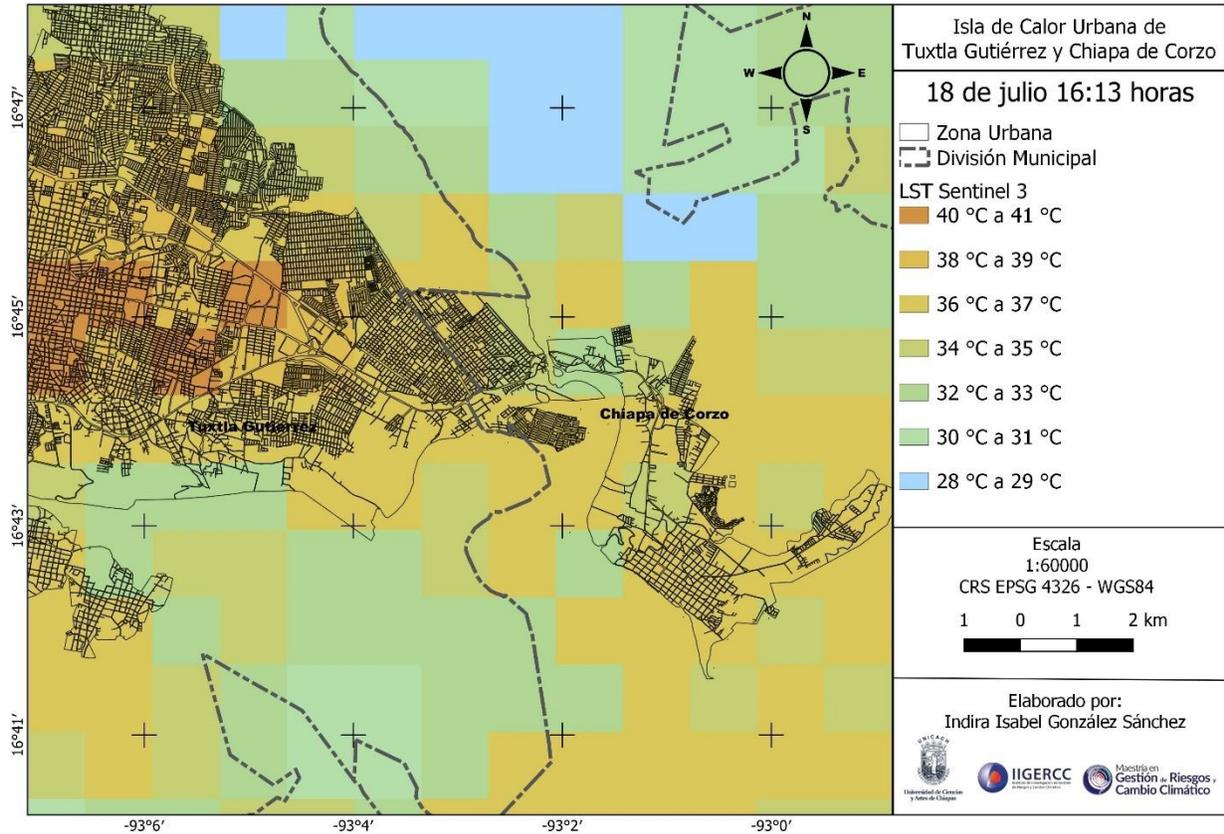
Registro de Humedad de algunas horas del 18 de julio



De igual manera, se hizo una ampliación de la misma imagen del 18 de julio, abarcando parte del municipio de Tuxtla Gutiérrez (Figura 19), y apreciar la ICU de ambas ciudades. Se observa que las temperaturas más cálidas se concentran en el centro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez presentando temperaturas de 40 °C a 41 °C representado con el color café y las temperaturas más frías se ubican al norte en las zonas montañosas con temperaturas de 28 °C a 29 °C representadas con el color celeste; mientras que Chiapa de corzo presentó temperaturas de 36 °C a 37 °C en el centro (amarillo claro) y 38 °C a 39 °C en el lado este (amarillo oscuro).

Figura 19

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez, 18 de julio



De acuerdo a las imágenes satelitales, el mes que presentó las temperaturas más altas fue el mes de abril, tal como se observa en la Figura 20, donde se aprecia en la zona noreste temperaturas que oscilan de 48 °C a 50 °C, representadas con el color terracota; en el norte se presentaron temperaturas de entre 46 °C a 47 °C representadas con un color café rojizo, en el este de 44 °C a 45 °C de color rosa veneciano y en el centro temperaturas de 42 °C a 43 °C en café. En el área donde se encuentra la estación Colegio La Patria la temperatura registrada por el dispositivo fue de 30.4 °C y la imagen presenta una temperatura de 40 °C a 41 °C, de color café claro, presentando

una diferencia de 9.6 °C, esto debido a la influencia de la humedad del río Grijalva, ya que se encuentra muy cerca de la ubicación del dispositivo, la cual fue de 52% (ver Figura 21).

Figura 20

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo y Tuxtla Gutiérrez, 19 de abril.

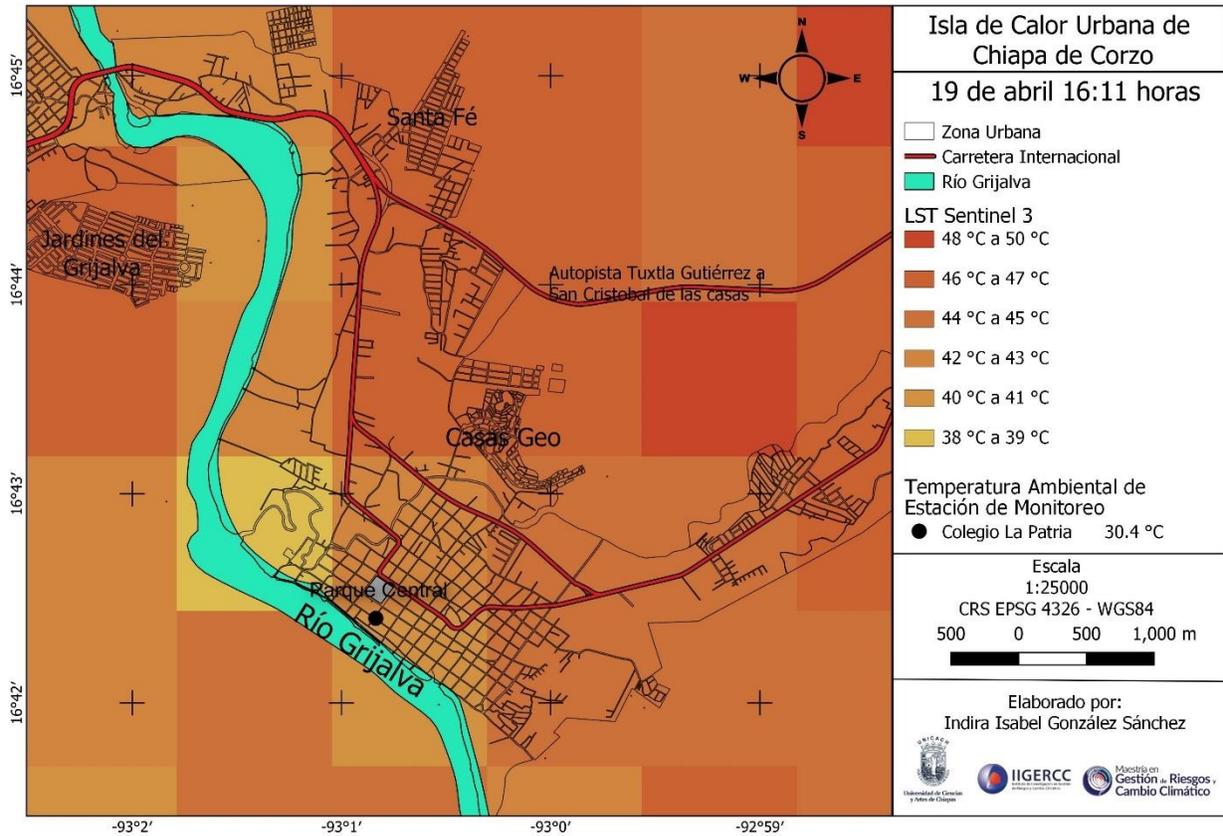
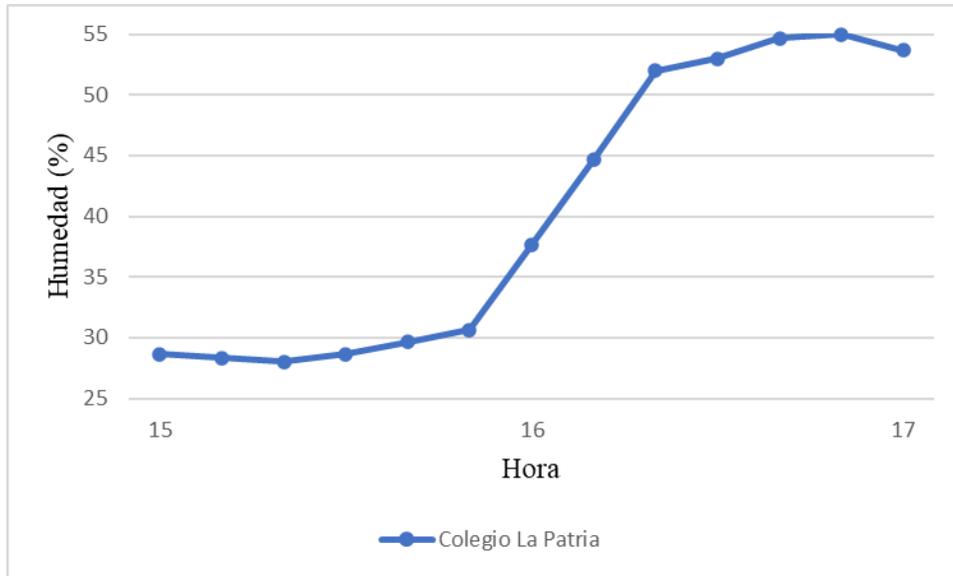


Figura 21

Registro de Humedad del 19 de abril en el Colegio La Patria



Otro mes que presentó temperaturas altas fue mayo (Figura 22), en donde se observan temperaturas de 48 °C a 50 °C en el este en color ocre, de 46 °C a 47 °C en el noreste en color café rojizo, en el norte de 42 °C a 43 °C en café. En el área donde se ubica la estación Colegio La Patria se aprecia una temperatura de entre 38 °C a 39 °C en color amarillo claro, registrando el dispositivo una temperatura de 38.1 °C, siendo una diferencia, en este caso de 0.1 °C y una humedad del 30% (ver Figura 23).

Figura 22

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo, 01 de mayo

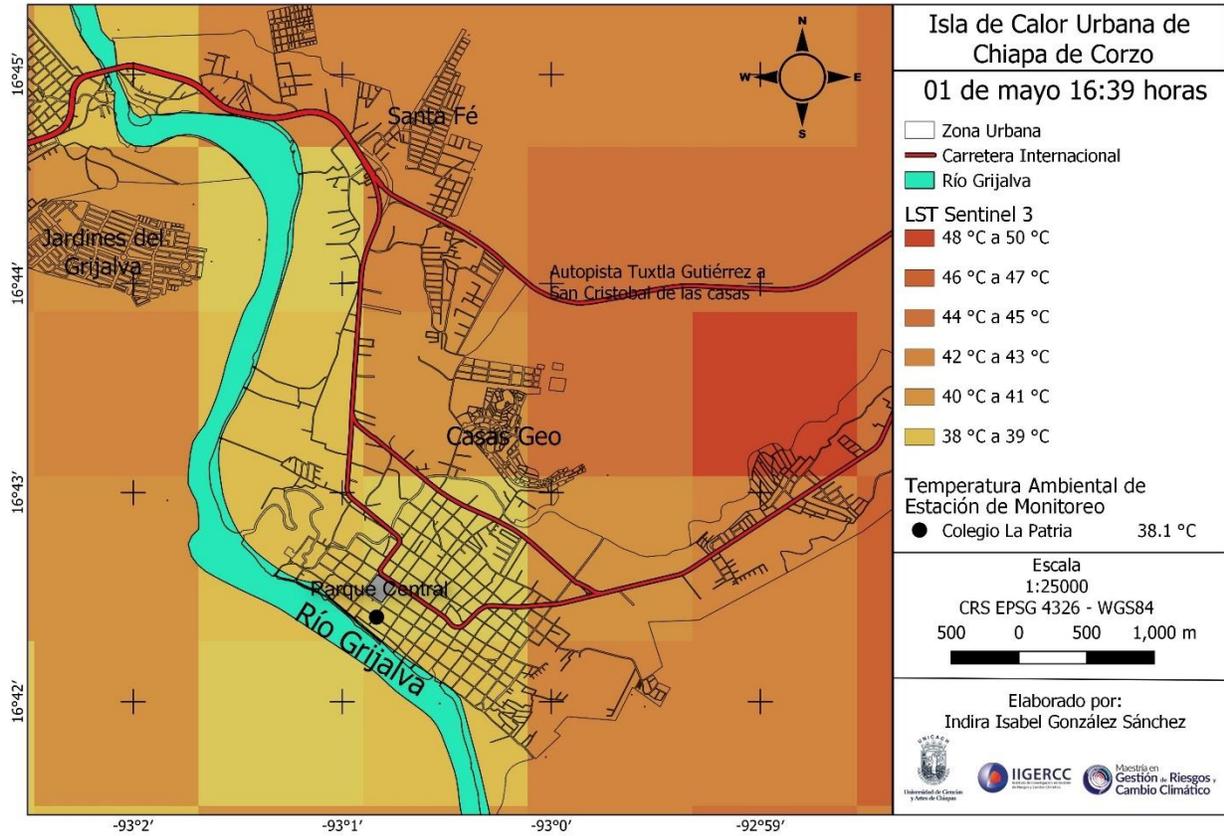
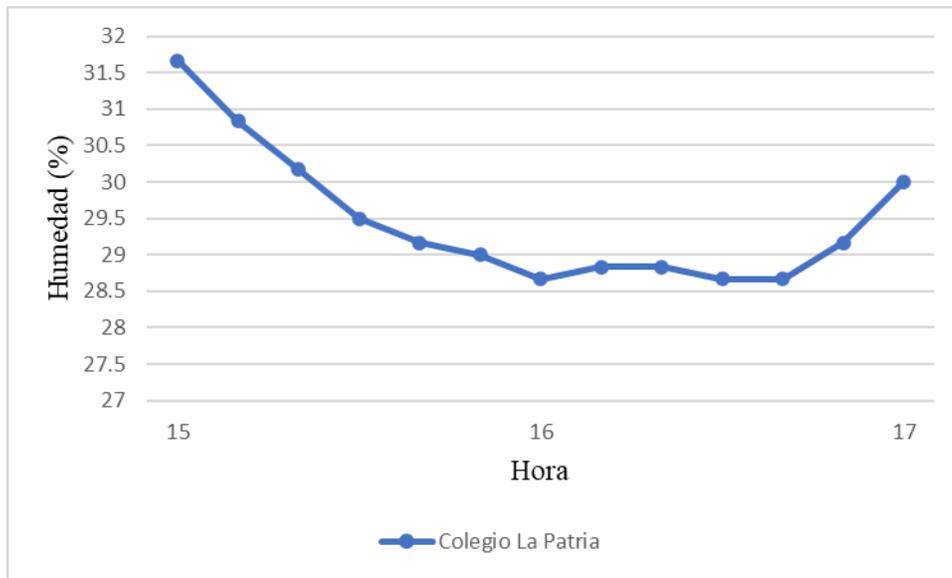


Figura 23

Registro de Humedad de 01 de mayo en el Colegio La Patria



7.3 Análisis del Cambio de uso de suelo

En lo que respecta al análisis de cambio y uso de suelo de la zona urbana de Chiapa de Corzo y sus alrededores, se elaboró un mapa cronológico correspondiente a los años 2003, 2005, 2009, 2013, 2017, 2018 con datos obtenidos de INEGI y CEIEG, realizando la homologación, re proyectando y agrupando en seis categorías los usos de suelo que se presentan en la zona de estudio con el fin de tener una perspectiva visual de los cambios que se han ido generando a lo largo de los años (Figura 24). Así también, se realizó el calculo de la tasa de cambio por año (Tabla 2) y una matriz de transiciones correspondiente a los años 2003 a 2018 (Tabla 3) con el fin de identificar el área que ha sido modificada.

En el mapa correspondiente al año 2003 de Chiapa de Corzo se observa que la zona urbana abarca menos superficie, también se encuentran áreas de selva baja caducifolia y el área

predominante es la que corresponde a la de uso agrícola. Lo que corresponde al año 2005, se observa que el área correspondiente a la selva baja caducifolia se ha reducido un 21.35 % de acuerdo a la tasa de cambio con respecto a la información del año anterior, dando lugar a la superficie agrícola con un 9.4 % y la zona urbana sigue manteniendo la misma área que en 2003. Para el año 2009, la selva baja caducifolia ha recobrado 2.9 % de superficie, en donde se habían hecho actividades agrícolas, pero a su vez la zona urbana a crecido 15.72 %, correspondientes al establecimiento de nuevas colonias. Para el mapa elaborado con los datos del año 2013, se observa que no se han generado cambios en las áreas y asentamientos presentados en comparación con la información del año 2009. Para el año 2017, se puede observar que se modificó una gran parte del área, ya que aparecieron nuevas áreas urbanas en zonas que anteriormente estaban destinadas a la agricultura, la cabecera municipal ha crecido y se ha unido a asentamientos que se encuentran a las afueras de la ciudad. Así mismo, se ha generado una zona de pastizal inducido donde anteriormente era un área de selva baja caducifolia. Finalmente, para el año 2018 la zona de pastizal inducido creció un 112.81 % del área, ocupando zonas donde anteriormente era selva baja caducifolia; la zona urbana, principalmente la cabecera municipal, han tenido un aumentado territorio de 122.71 %. También se puede observar que han aparecido pequeñas zonas de selva baja caducifolia al sureste de la ciudad.

Así mismo, de acuerdo a la matriz de transición (Tabla 3), 147 Ha que anteriormente correspondían a selva baja caducifolia ahora forman parte de la zona urbana, 1279.3 Ha a zonas agrícolas y 322.4 Ha a pastizal inducido. Así mismo, la zona agrícola aumentó 3162.3 Ha y 426.18 Ha que anteriormente pertenecían a zonas agrícolas ahora forman parte de la zona urbana, 222.3 Ha a pastizal inducido y 23.25 Ha es una zona sin vegetación.

La visualización cronológica del cambio y uso de suelo y vegetación de Chiapa de Corzo permite ofrecer una perspectiva del por qué la presencia de temperaturas superficiales altas en la zonas circundantes de la ciudad, sobre todo en el norte y noreste, ya que como se puede observar en la Figura 24 el suelo de esa zona esta siendo usado para actividades agrícolas, además de presentar escasa vegetación, por lo que esta información se ve reflejada en las imágenes satelitales Sentinel 3 mostradas anteriormente.

Tabla 2

Tasas de Cambio

USV	TASAS DE CAMBIO (%)				
	2003 - 2005	2005 - 2009	2009 - 2013	2013 - 2017	2017 - 2018
Selva Baja Caducifolia	-21.3508656	2.920629	-0.06915026	0	-12.003676
Zona Urbana	-0.00078321	15.7293486	0	0	122.717839
Bosque de Encino	NA	-	0	0	-0.00133016
Agricultura	9.43155917	2.21627921	0.02978407	0	-9.33954677
Sin Vegetación	NA	NA	0	0	-0.00430034
Pastizal Inducido	NA	NA	0	0	112.819261

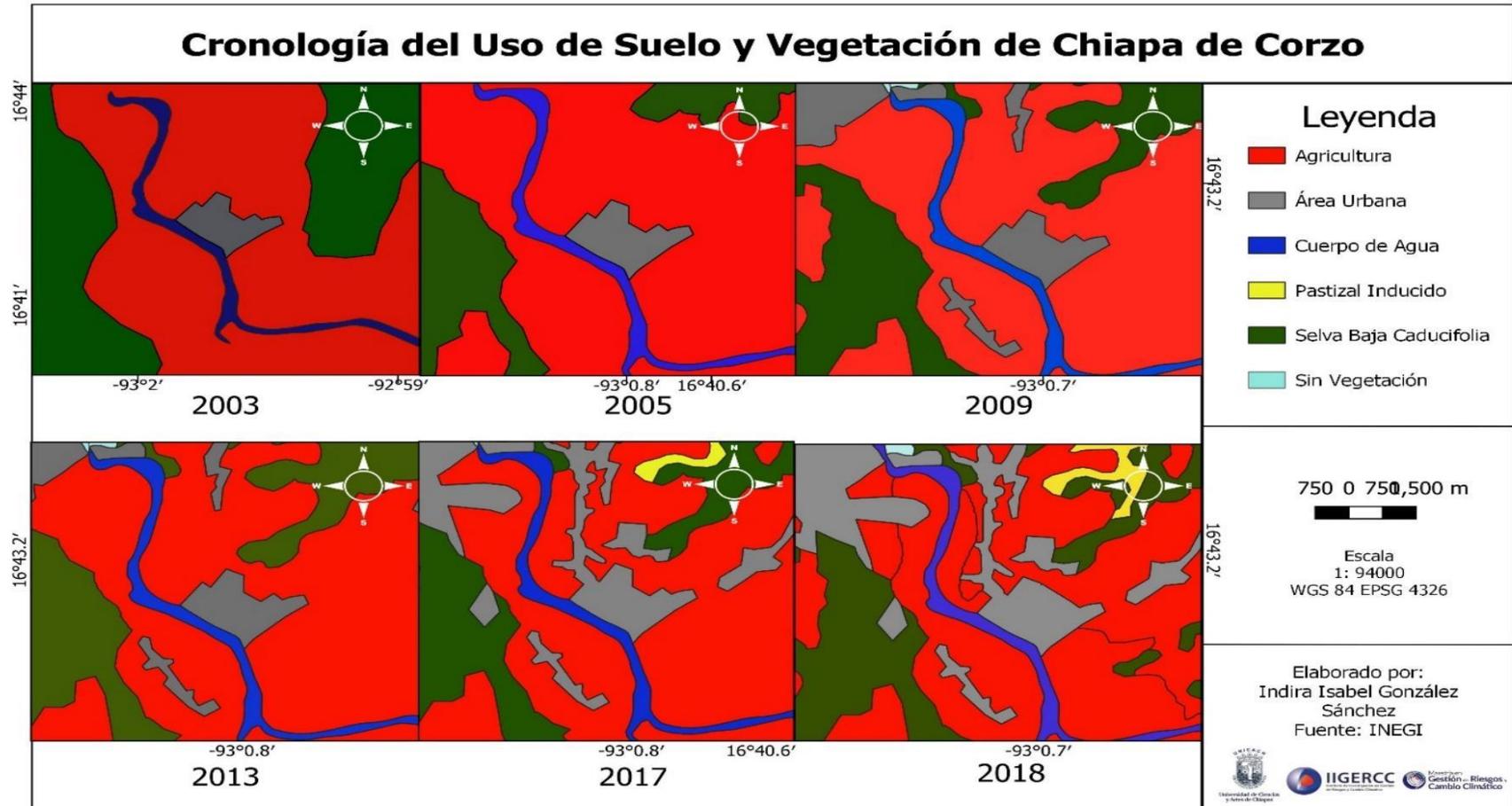
Tabla 3

Matriz de Transición

AÑO	2018 (HA)						
	Uso de Suelo	SBC	AU	BE	AGR	SV	PI
2003 (HA)	SBC	1217.44	147.60	75.18	1279.34	NA	322.50
	AU	NA	191.21	NA	0.19	NA	NA
	BE	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	AGR	635.35	426.18	NA	3162.30	23.25	222.37
	SV	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	PI	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 24

Cronología de Cambio de Uso de Suelo y Vegetación



8 Discusión

De acuerdo a los resultados presentados y en relación a los antecedentes mencionados, se observa que el cambio y uso de suelo es un factor importante para que se propicie el aumento de temperatura en las ciudades provocando el fenómeno de ICU. En el caso de Tuxtla Gutiérrez, las temperaturas más altas se presentan en la zona centro, la cual esta compuesta principalmente por edificios, asfalto y concreto con escasa vegetación, mientras que en Chiapa de Corzo estas zonas de alta temperatura se presentan en su mayoría en la región ubicada en el noreste, la cual corresponde a zonas destinadas a la agricultura con presencia de muy pocas áreas verdes.

Esta información se ve reflejada en la Figura 19, correspondiente a la imagen satelital Sentinel 3 donde se observan las dos ciudades y en la Figura 24, donde se puede ver el crecimiento de la ciudad de Chiapa de Corzo, así como el crecimiento de las zonas agrícolas circundantes a la cabecera municipal.

Así también, la implementación de las imágenes satelitales Sentinel 3 para determinar la presencia de ICU en la zona de estudio y el uso de las estaciones de monitoreo instaladas en tres puntos de la ciudad, indicó que existe variación de temperatura de hasta 8 °C, ya que estas imágenes permiten determinar la temperatura superficial, mientras que las estaciones de monitoreo miden la temperatura ambiental, lo que permite conocer la variabilidad de temperatura debido a la humedad presente en la zona.

Como se observa en la Figura 20 correspondiente al 19 de abril a las 16:11 horas, la temperatura superficial más alta se observa en la zona noreste de la cabecera municipal, la cual oscila de 48 °C a 50 °C y que corresponde a zonas agrícolas, caso contrario de la zona circundante al río Grijalva, donde se observan temperaturas mínimas de 38 °C a 39 °C, a diferencia de la

estación de monitoreo Colegio La Patria, la cual registró una temperatura de 30.4 °C, demostrando así que la presencia de la humedad tiene una gran influencia en la temperatura ambiental de la zona.

En tanto, como se muestra en la Figura 14, las estaciones que presentaron temperaturas más altas son CONALEP y UNICACH, ubicados al norte y noreste de la cabecera municipal, mientras que la estación Colegio La Patria, que se encuentra cerca del río Grijalva, registró temperaturas menores que los puntos antes mencionados.

Los datos aquí descritos son similares a aquellos obtenidos por Jandaghian y Colombo (2024), quienes argumentan que los cuerpos de agua pueden reducir de manera eficaz la temperatura urbana debido a los procesos de evaporación y convección. Este es particularmente eficaz en zonas que presentan condiciones cálidas y áridas, donde la atmósfera permite albergar niveles altos de humedad, permitiendo reducir la temperatura superficial hasta 3 °C, condiciones que la zona de estudio cumple.

9 Conclusiones

El uso de las imágenes satelitales y en conjunto con el monitoreo térmico, permitió estudiar la ICU de la ciudad de Chiapa de Corzo realizando una comparación de los datos de temperatura obtenidos por ambos métodos.

Con el monitoreo térmico se observó que la diferencia de temperatura varía de 0.1 °C a 5 °C entre las estaciones, dependiendo de la zona y de las condiciones en donde se encuentran instalados los dispositivos, por lo que el método puede ser considerado adecuado para realizar la investigación y así obtener mejores resultados, sin embargo, es necesario contar con más sensores y abarcar una zona geográfica más amplia.

Al realizar el estudio por teledetección se observó que durante las noches la temperatura superficial en la zona urbana fue de 23 °C y en los alrededores de 12 °C a 13 °C (Figura 25 Anexos), caso contrario de lo ocurrido durante las tardes donde la temperatura superficial fue de 30 °C a 31 °C en el centro y en las zonas agrícolas fue de 34 °C a 35 °C (Figura 26 Anexos). Por lo que este método posibilitó abarcar un área de estudio más extensa, analizando no solo la temperatura superficial de la cabecera municipal, sino de sus alrededores.

Como se pudo observar en las imágenes satelitales, la temperatura cercana al río Grijalva es más fría que la que se encuentra con suelos descubiertos al noreste, por lo que, como se mencionó anteriormente, como lo mencionaron Jandaghian y Colombo (2024), se comprueba que los cuerpos de agua generan mayor enfriamiento a los alrededores que un área verde debido a la evaporación y humedad generada, por lo que la integración planificada de cuerpos de agua podría mejorar la resiliencia urbana y minimizar los efectos provocados por las ICU, convirtiéndose así en un efecto mitigador. Debido a esto, se recomienda realizar actividades de saneamiento de parte

del ayuntamiento y concientización de la población para el mantenimiento y limpieza, no solo del río Grijalva, sino de los arroyos que cruzan la ciudad con el fin de preservarlos.

Es de suma importancia considerar el factor social ante esta problemática ambiental, ya que la población se ve afectada debido a los problemas de salud que pueden presentar, como los golpes de calor, daños en la piel, insolación o desmayos. Es por eso que es indispensable implementar medidas preventivas de salud, que las autoridades y la población, deban acatar.

Así mismo, es indispensable la realización de campañas de información de ICU, en las cuales se debe conocer el fenómeno, sus causas y efectos para que se plantee la implementación de instrumentos de mitigación en el municipio, como lo son los techos fríos, el reverdecimiento de parques, jardines y viviendas, el sombreado de calles y plazas, entre otros.

9.2 Limitaciones

Los limitantes que se presentaron durante la realización de este proyecto fueron la obtención de imágenes satelitales óptimas durante las mañanas de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, ya que debido a los fenómenos meteorológicos estas presentaban mucha nubosidad. Sumado a ello, los problemas técnicos que los dispositivos instalados manifestaron al inicio del monitoreo, lo cual fue solucionado rápidamente. Aunque estas problemáticas se presentaron, permiten dar pautas a mejoras en la utilización de estos métodos de estudio.

Debido a que la ciudad de Chiapa de Corzo es una conurbación intermunicipal de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez a causa del crecimiento de los asentamientos urbanos (Figura 64 Anexos), se consideraba realizar este proyecto en conjunto con el Ayuntamiento Municipal, pero debido a factores internos no se pudo llevar a cabo, por lo que se recomendaría realizar en un futuro otro

acercamiento a las autoridades y que este proyecto sea de su interés para efectuar mejoras a la ciudad.

10 Referencias

- Ambrosio González, M. (2007). *Los problemas ambientales de las áreas urbanas derivan principalmente de la concentración*. Ciudades y Medio Ambiente. https://www.ign.es/espmapi/fichas_espacios_bach/pdf/Ciudad%20Ficha_06.pdf
- Antena 3. (2020). El fenómeno de la isla de calor que genera una alta temperatura en las grandes ciudades. Antena 3 https://www.antena3.com/noticias/el-tiempo/actualidad/el-fenomeno-de-la-isla-de-calor-que-genera-una-alta-temperatura-en-las-grandes-ciudades_202008075f2d0c953aca640001fba68c.html
- Anzola Anzola, J. P. (2014). Detección e identificación de islas de calor urbano: un acercamiento desde el estado del arte. *Revista vínculos*. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/9726/11019>
- Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A management perspective*. WDL pub.
- Banco Mundial. (2022, octubre 06). *Desarrollo Urbano*. Banco Mundial <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Bertuzzi, M. L., & Arroyo, J. (2005). *Ciudad y la urbanización, problemas y potencialidades*. UNL.
- Borderías Uribeondo, M. d., & Martín Roda, E. (2011). *Medio ambiente urbano*. UNED.
- Blasco, J.A. (2015). Revoluciones urbanas en la década de 1960: 1. La reivindicación del humanismo. *Urban Networks*. <https://urban-networks.blogspot.com/2015/08/revoluciones-urbanas-en-la-decada-de.html>

- Castro-Mendoza, I., Valdez-Lazalde, J., Donovan, G. M., & Vázquez Morales, W. (2022). ¿El uso de suelo afecta la distribución de temperatura en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México? *Investigaciones Geográficas*, (107). <https://doi.org/10.14350/riig.60394>.
- Cebrián, J. A., & Chuvieco, E. (1993). ¿Sistemas de Información Geográfica o Territorial? Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica, *Boletín de la A.E.S.I.G.* N°4: 28-30, <https://digital.csic.es/handle/10261/54519>.
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Chiapas. (2021). *Localidades_2020* [Capa Vectorial]. Chiapas. México.
- CONAPO (2012). *Sistema Urbano Nacional 2012*. CONAPO. https://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Catalogo_Sistema_Urbano_Nacional_2012
- Cortés Pérez, Y. (2017). *Teledetección aplicada a la determinación de islas de calor para los años 2000 y 2016: caso Zona Protectora Forestal Vedada, los Terrenos Forestales de Villa de Allende*. UNICACH
- Cruz Damián, J. (2021). *Cuantificación a exposición térmica por movilidad, mediante un registrador de bajo costo en la vía principal de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. UNICACH
- Escobar, F., Hunter, G., Bishop, I., & Zenger, A. (s.f.). *Introducción a los SIG*. The University of Melbourne. <https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm>
- Etecé, E. E. (2021, agosto 05). *Concepto de urbanización*. Urbanización. <https://concepto.de/urbanizacion/>

European Space Agency. (s.f.). S3 SLSTR Instrument. SentiWiki.
<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s3-slstr-instrument>

FAO (1995). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of changes processes.

Fernández Muerza, A. (2009, abril 15). Ciudades, Islas de calor. *Ecodes, tiempo de actuar*.
<https://archivo.ecodes.org/web/noticias/ciudades-islas-de-calor>

Foladori, G. (2001). Los problemas ambientales urbanos y sus causas. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, ISSN-e 2236-5567 (100), 69-78.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813401>

Forssman, A., Rodríguez, H., Freire, N., Alcalde, S. (2016, octubre 24). La primera foto de la Tierra desde el espacio fue tomada hace 70 años. National Geographic.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/primera-foto-tierra-desde-espacio-fue-tomada-hace-anos_10804

García-Cueto, O., Jáuregui-Ostos, E., Toudert, D., & Tejeda-Matínez, A. (2007). Detección de la isla de calor urbana en Mexicali, BC, México y su relación con el uso del suelo. *Atmósfera*, 20 (2), 111-131 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362007000200001&lng=es&tlng=en.

García Navarrete, G., & Rico Soto, K. G. (2020, diciembre 04). Sensores de bajo costo para el monitoreo de calidad del aire. *Epistemos, Ciencia, Tecnología y Salud*.
<https://epistemos.unison.mx/index.php/epistemos/article/view/108/143>

Garza Villarreal, G. (2005). *La urbanización de México en el siglo XX*. El Colegio de México.

- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings*.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.016>
- Gobierno de México. (s.f.) *Chiapa de Corzo: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública*. Data México.
<https://datamexico.org/es/profile/geo/chiapa-de-corzo>.
- Godínez Tovar, A. G., & López Gutiérrez, M. (2018). *Dinámica de la Isla de Calor Urbana y su efecto en la distribución espacio-temporal de la lluvia en las ciudades de Querétaro y San Juan del Río*. TESIS. RI UAEMex.
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94985/GODINEZ-ANA-LOPEZ-MARLEN-LGAM-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González Becerril, L. A., Madrigal Uribe, D., & Morales Méndez, C. C. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14 (3),307-316. ISSN: 1405-0269. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308>.
- Gutiérrez de McGregor, M. T. (2003). Desarrollo y distribución de la población urbana en México. *Investigaciones geográficas*, (50), 77-91.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000100010&lng=es&tlng=es.
- Iberdrola. (2021). *Las islas de calor urbanas y sus efectos adversos para sus habitantes*
<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/isla-de-calor#:~:text=QU%20ES%20UNA%20ISLA%20DE%20CALOR&text=La%20causa%20principal%20son%20la,el%20tr%C3%A1fico%20y%20la%20industria>.

- Instrumentación Científica y Tecnológica S.A. de C.V. (s.f.). Estación Meteorológica Davis. Estaciones. <http://www.instrumentacioncientifica.com.mx/index.php/estaciones-meteorologicas>
- Jandaghian, Z. y Colombo, A. (2024). El Papel de los cuerpos de agua en la regulación climática: perspectivas de estudios recientes sobre la mitigación de la isla de calor urbana. *Buildings*, 14 (9), 2945. <https://doi.org/10.3390/buildings14092945>
- Juáregui Ostos, E. (1993). La isla de calor urbano de la ciudad de México a finales del siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*, 1(26). <https://doi.org/10.14350/rig.59016>.
- Kogut, P. (2021, noviembre 09). Teledetección: Tipos Y Aplicaciones De Los Sensores Remotos. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>
- Lantada Zarzosa, N., & Núñez Andrés, M. A. (2002). *Sistemas de información geográfica, prácticas con ArcView*. UPC.
- López González, F. M., Navarro Navarro, L. A., Díaz Caravantes, R. E., Navarro-Estupiñán, J., & Cejudo-Espinosa, L. (2021). Cobertura vegetal y la distribución de islas de calor/oasis urbanos en Hermosillo, Sonora. *Frontera*, 33, e2088. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2088>.
- Mercado Maldonado, L. (2022). Mitigación y adaptación al efecto de isla de calor urbana de clima cálido seco. El caso de Hermosillo, Sonora. *Revista científica vivienda y comunidades sustentables*, <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.187>.
- Mora Damián, E. (2017). *Análisis espacio- temporal de la isla de calor urbana en la ciudad de Morelia, Michoacán*. Biblioteca Virtual UMSNH.:

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/4397/1/INICI_T-M-2017-1168.pdf

Nagata Shumabuku, M. (1996). Los sistemas de información geográfica (SIG): una herramienta en la gestión del espacio, propuesta a un mapa de aptitud de suelos en la cuenca hidrográfica del Colca. *Espacio y Desarrollo*. (8), 161- 186.
<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/8005>

Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. 2da edición. Routledge.
<http://www.academia.edu/16752781/> T._R._Oke_-_Boundary_Layer_Climates_1988_.PDF.

Pérez Gutiérrez, C., & Muñoz Nieto, Á. L. (2006). *Teledetección, nociones y aplicaciones*. Universidad de Salamanca.

Pérez Navarro, A., Botella Plana, A., Muñoz Bolas, A., Olivella González, R., Olmedilla Hernández, J. C., & Rodríguez Lloret, J. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. UOC.

Pérez Villatoro, C. E. (2014). *Modelación preliminar de la isla de calor urbano en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y sus efectos al índice de confort térmico*.

Programme of the European Union. (2016, enero 20). *ESA - Sentinel-3: Visión panorámica para Copérnico*. European Space Agency:
https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Sentinel-3_Vision_panoramica_para_Copernico

Programme of the European Union. (2019, mayo 07). *EU SPACE*:
https://www.copernicus.eu/es/website-search?search_api_fulltext=a%C3%B1o

QGIS. (s.f.). *Descubre QGIS*. QGIS: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>

Rahman, A. (2018). *Assignment on Temperature Sensors*. DOI: 10.13140/RG.2.2.16747.23844.

Ramos, D. A. (2016). *Qué es y qué podemos hacer con GRASS GIS*. MappingGIS: <https://mappinggis.com/2016/05/puedo-grass-gis-7/>

Richmond Vale Academy. (2022). 13 efectos de la urbanización que le harán reflexionar. Richmond Vale Academy. <https://richmondvale.org/es/13-efectos-de-la-urbanizacion-que-le-haran-reflexionar/#:~:text=9.,provocar%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20y%20accidentes.>

Rodríguez Pérez, D., Sánchez Carnero, N., Domínguez Gómez, J. A., & Pastrana, C. S. M. (2015). *Cuestiones de teledetección*. UNED.

Sacristán Romero, F. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC Revista electrónica de acuicultura*, 13-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2041195>

Saldívar, M. (2024). Un anillo de tierras rurales ayudará a las ciudades a reducir el efecto isla de calor urbano, según nuevo estudio. Meteored,mx, <https://www.meteored.mx/noticias/ciencia/un-anillo-de-vegetacion-tierra-rural-ayudara-a-las-ciudades-a-reducir-el-efecto-isla-de-calor-urbano-segun-un-estudio-internacional.html>

Santamarina, M. Á. (2022, agosto 07). El Explorer 6 saca la primera fotografía de la Tierra desde el espacio. Zenda: Autores, libros y compañía. <https://www.zendalibros.com/el-explorer-6-saca-la-primera-fotografia-de-la-tierra-desde-el-espacio/>

- Secretaría de Marina (2009, mayo 03). Percepción remota. SEMAR <https://2006-2012.semar.gob.mx/informacion-sector/ciencia/ermexs/temas-de-interes/384-percepcion-remota.html>
- Secretaría de Salud. (2023, julio 22). *Semana epidemiológica 29 (del 16 al 22 de julio 2023)*. Temperaturas Naturales Extremas (Temporada de Calor 2023). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/845222/TNE_2023_SE29.pdf
- Shifei, M., & Honrubia, M. (2020, diciembre 14). *Islas de calor: impacto en el cambio climático y posibles soluciones*. Ennomotive: <https://www.ennomotive.com/es/islas-de-calor/>
- SRI. (2020, agosto 08). 75 Years of Innovation: TIROS 1 (Television InfraRed Observation Satellite) – SRI International. <https://www.sri.com/press/story/75-years-of-innovation-tiros-1-television-infrared-observation-satellite/>
- Sobstyl, J., Emig, T., Abdolhosseini Qomi, M., Ulm, F., & Pellenq, R.-M. (2018, marzo 09). *Role of city texture in urban heat islands at nighttime*. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.120.108701>
- Tapias, V. E. (2023, julio 04). *Islas urbanas de calor: El efecto de aumento de temperatura en algunos lugares*. sinCarbono. <https://sincarbono.io/islas-urbanas-de-calor/>
- Taulé, G. (2013, junio 14). Los transectos térmicos y el clima urbano. *Levante, el mercantil valenciano*. <https://www.levante-emv.com/opinion/2013/06/14/transectos-termicos-clima-urbano-12889391.html>
- Tumini, I. (2010). *Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos*. Estudio aplicado al caso de Madrid. SB10MAD sustainable Building conference.

- UPRA (2022, diciembre 09). Sensor de Humedad de suelo de bajo costo gana concurso de soluciones tecnológicas. Agronet. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Sensor-de-humedad-de-suelo-de-bajo-costo-gana-concurso-de-soluciones-tecnol%C3%B3gicas.aspx>
- Uriarte, J. M. (2022, agosto 23). Zona Urbana. Características.co. <https://www.caracteristicas.co/zona-urbana/>
- U. S. Environmental Protection Agency (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of strategies*. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- Villanueva- Solís, J. (2011, noviembre 02). Islas de calor, cambio climático y simulación urbana. UrbanLab. <https://blog.urbanlab.city/2011/11/islas-de-calor-cambio-climatico-y.html>
- Winfield Reyes, F. N. (2004). La Revolución Industrial: orígenes del urbanismo moderno. *La ciencia y el hombre*. 17 (1). 57-60. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/5572>
- Zavaleta-Palacios, M., Díaz- Nigenda, E., Vázquez Morales, W., Morales-Iglesias, H., & Lima, G. (2020). Urbanización y su relación con la isla de calor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(2): e2485. DOI: 10.19136/era.a7n2.2485.

11 Anexos

11.2 Mapas mensuales de ICU de Chiapa de Corzo

Figura 25

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 24 de enero, 04:25 horas

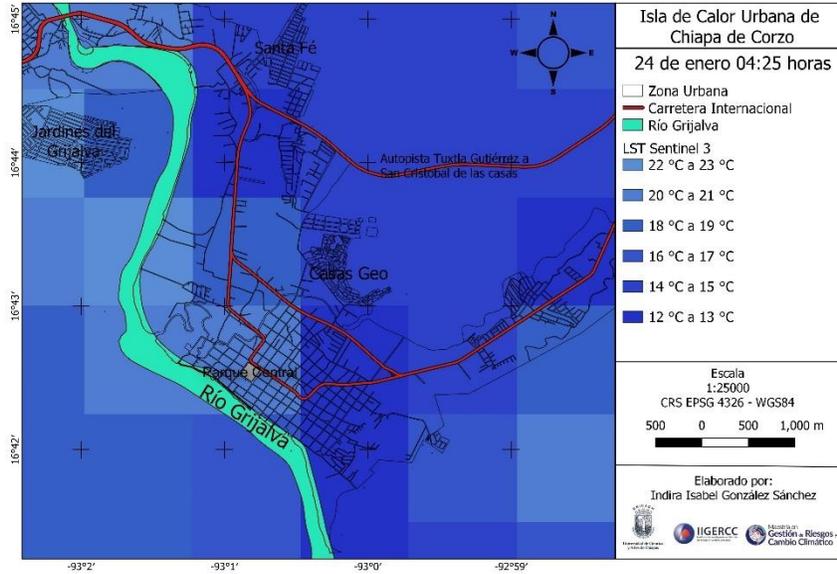


Figura 26

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 24 de enero, 16:14 pm

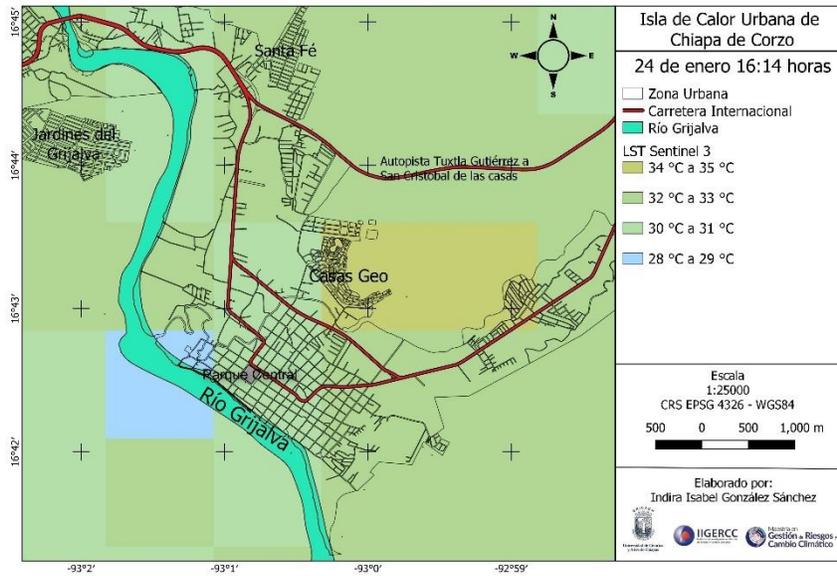


Figura 27

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 25 de febrero, 03:55 am

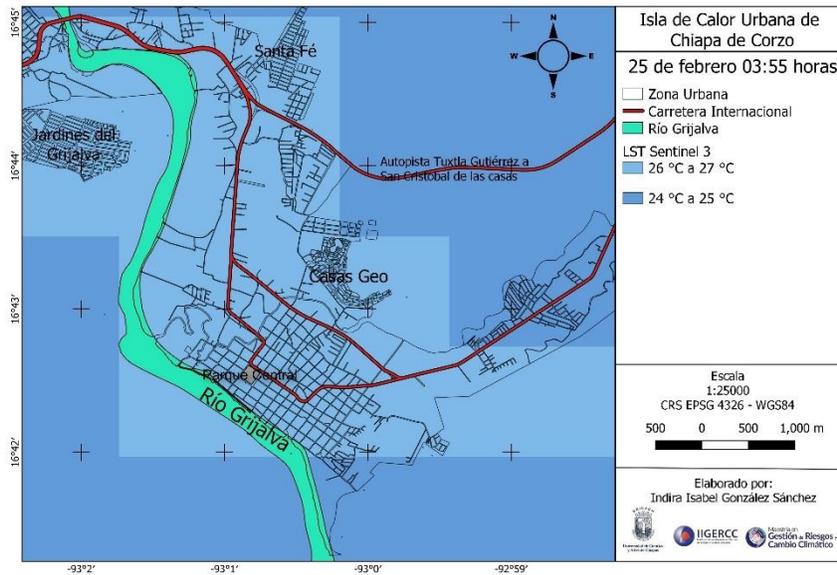


Figura 28

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 25 de febrero, 16:24 pm

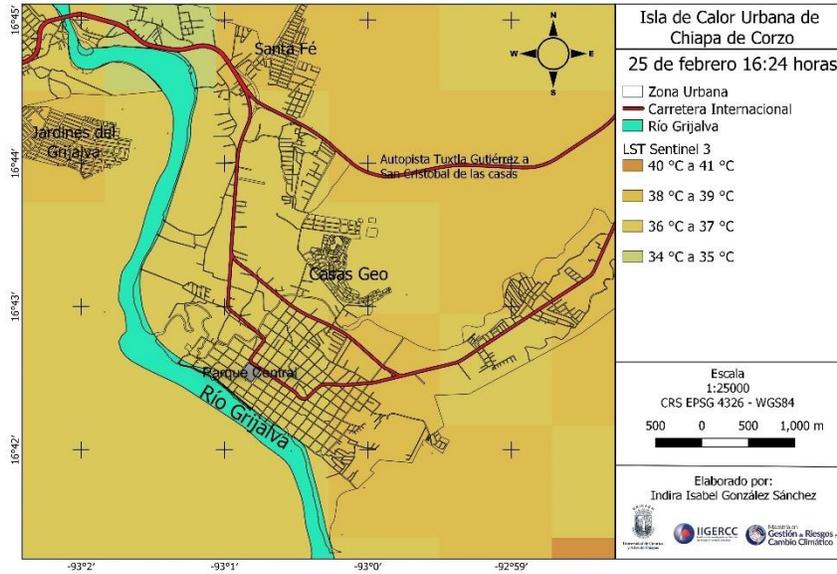


Figura 29

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 08 de marzo, 04:10 am

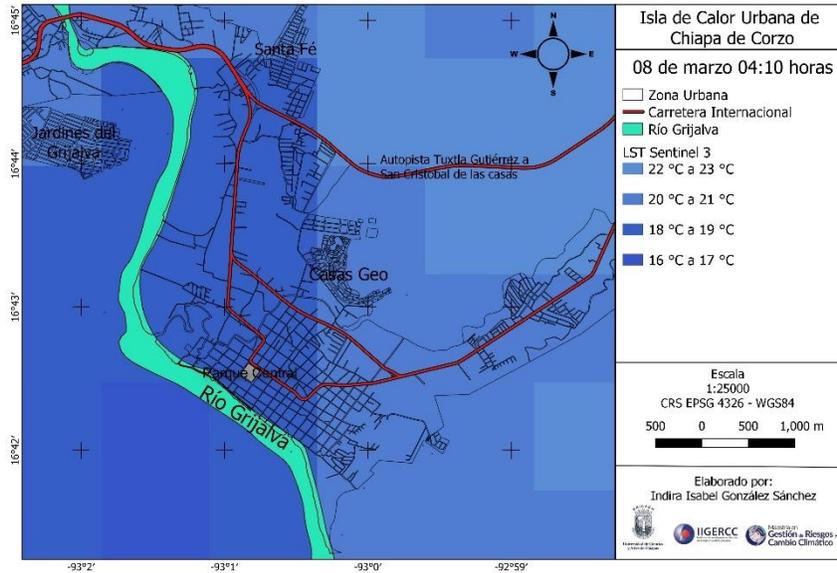


Figura 30

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 08 de marzo, 16:00 pm

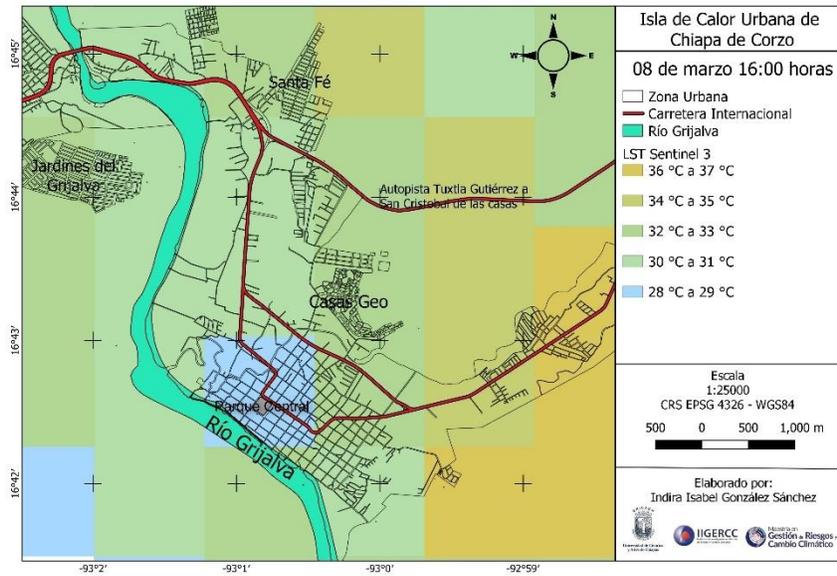


Figura 31

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de abril, 04:21 am

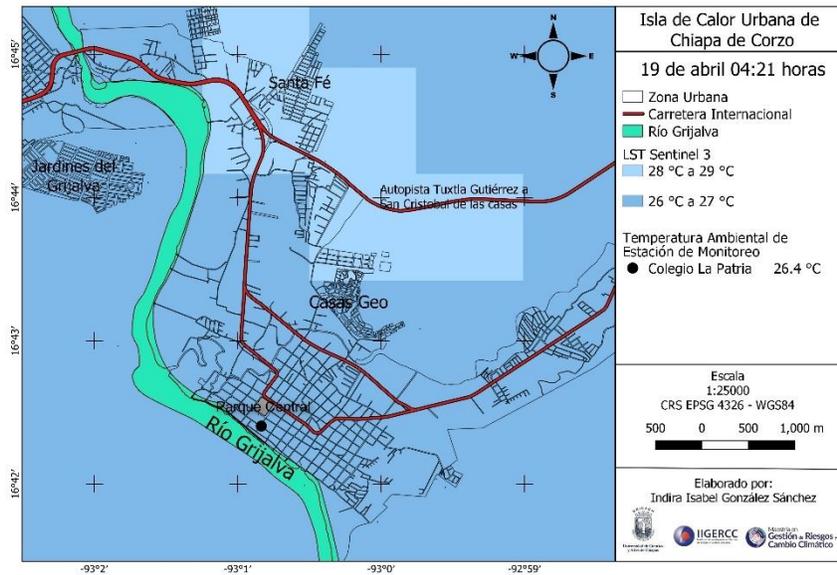


Figura 32

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 01 de mayo, 04:10 am

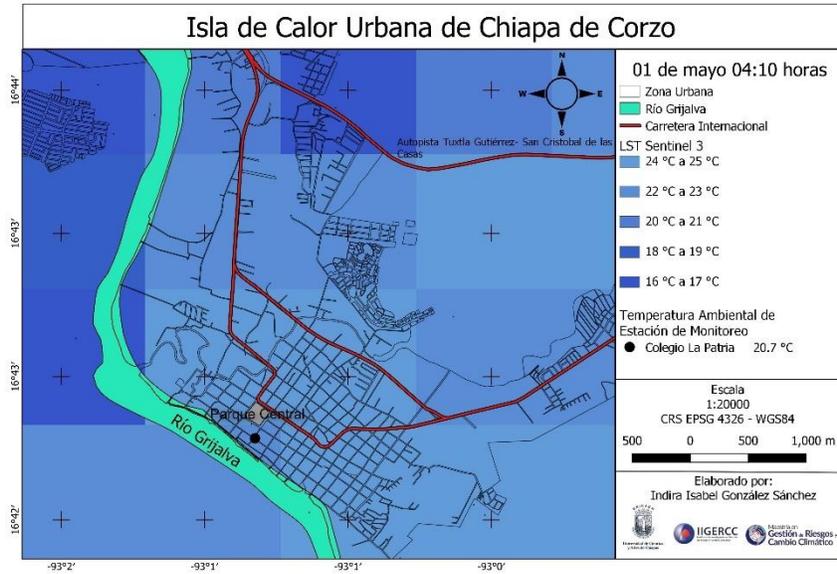


Figura 33

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de junio, 04:01 am

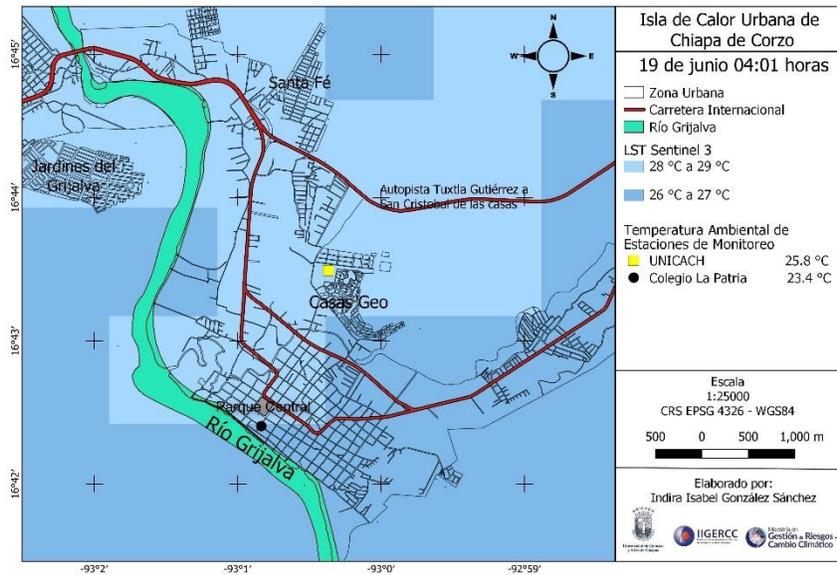
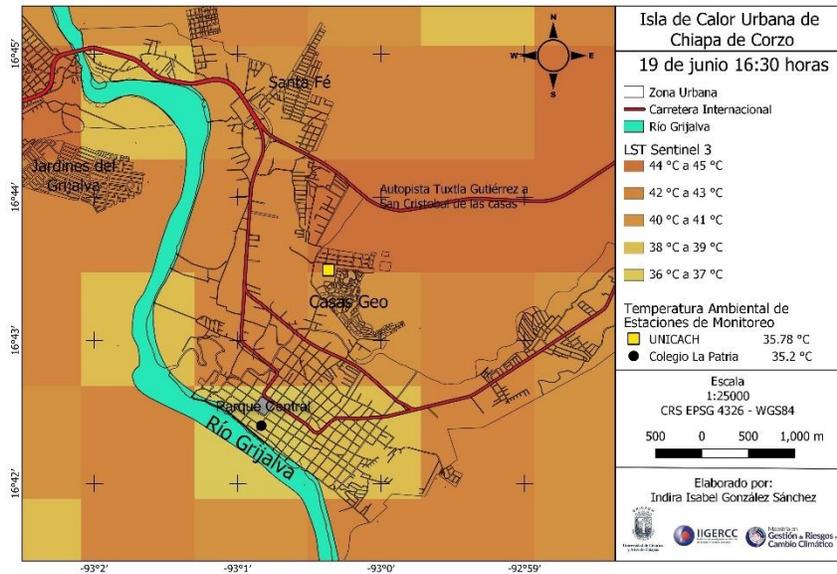


Figura 34

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 19 de junio, 16:30 pm



Debido a que en las madrugadas de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre fueron nubladas, provocadas por los fenómenos meteorológicos que se presentaron en la zona, solo se obtuvieron imágenes vespertinas, las cuales se presentan en la Figura 17 y de la Figura 35 a la Figura 37.

Figura 35

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 10 de agosto, 16:20 pm

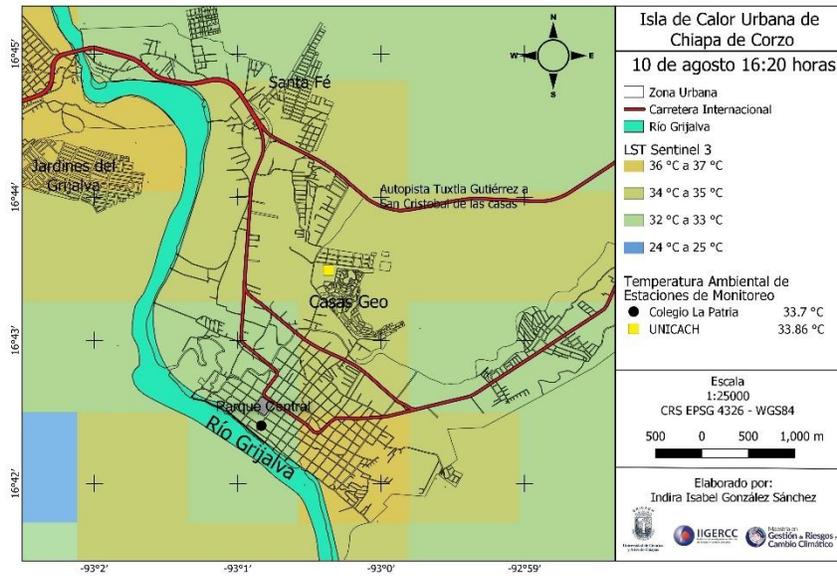


Figura 36

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 06 de septiembre, 16:20 pm

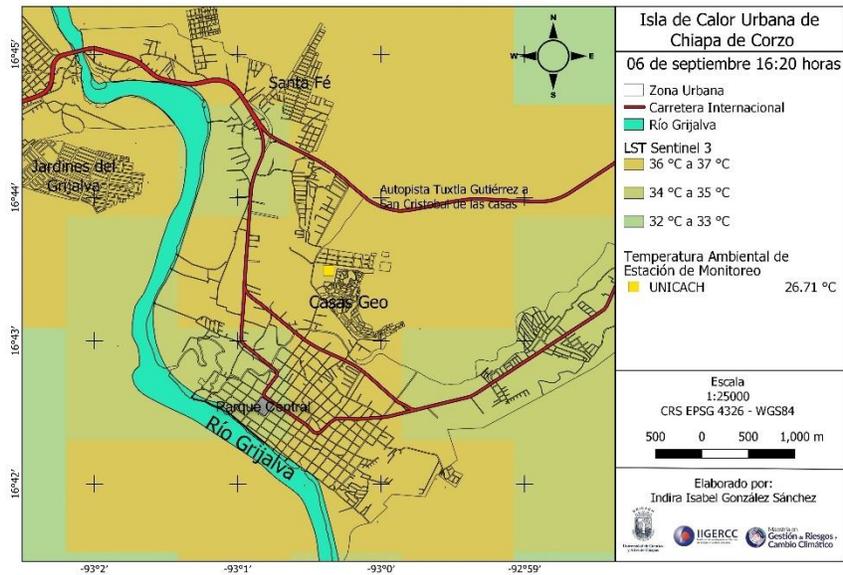


Figura 37

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 26 de octubre, 16:24 pm



Figura 38

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 21 de noviembre, 04:18 am

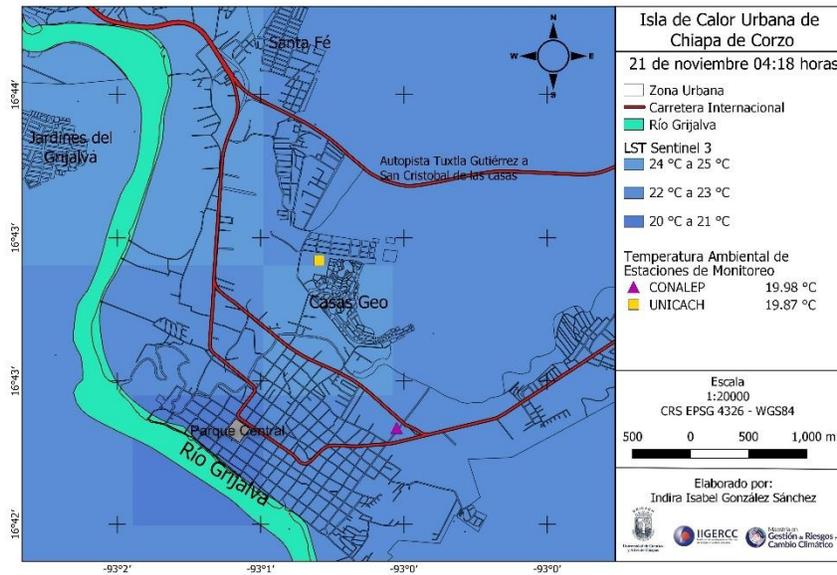


Figura 39

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 21 de noviembre, 16:08 pm

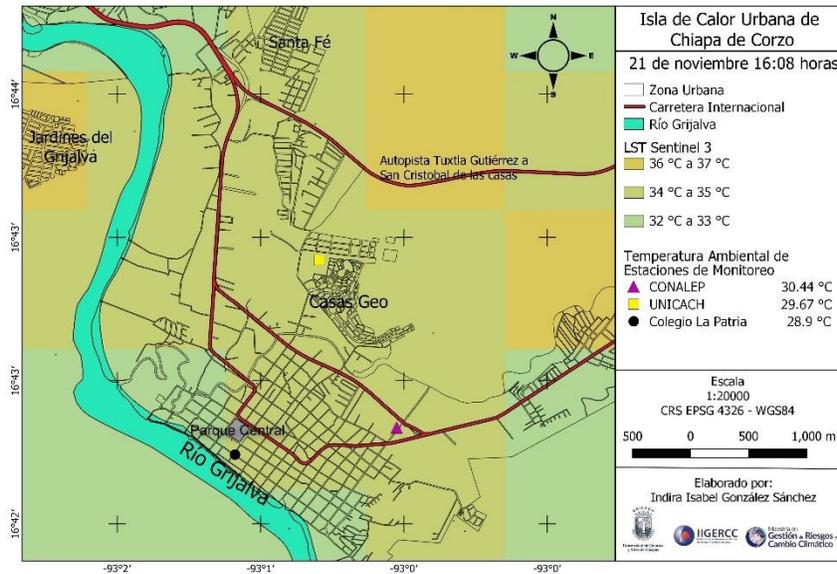


Figura 40

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 27 de diciembre, 03:44 am

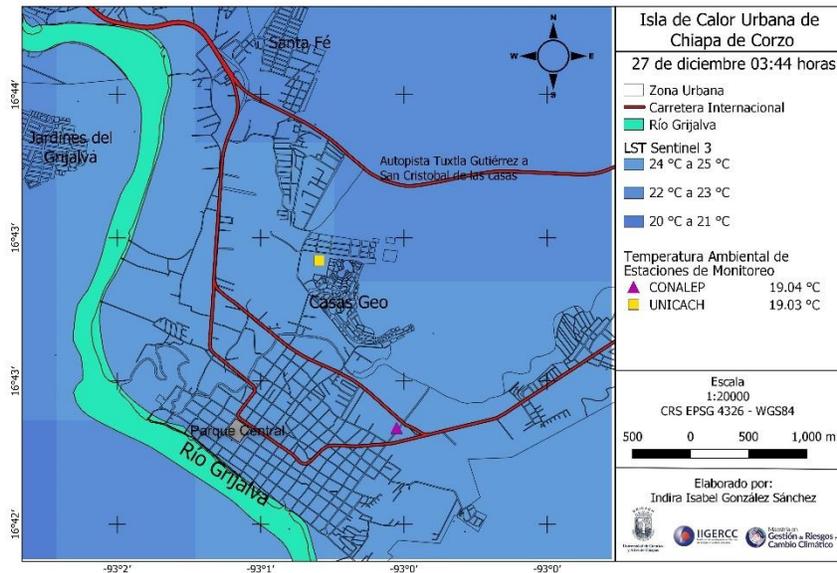
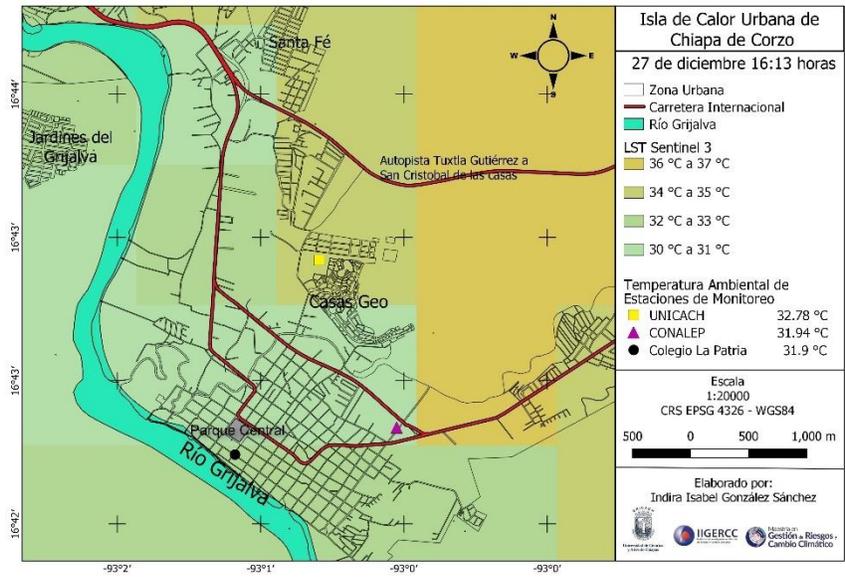


Figura 41

Mapa de ICU de Chiapa de Corzo 27 de diciembre, 16:13 pm



11.3 Gráficas Mensuales de temperatura y humedad

11.3.1 Estación Colegio La Patria

Figura 42

Gráfica Colegio La Patria marzo

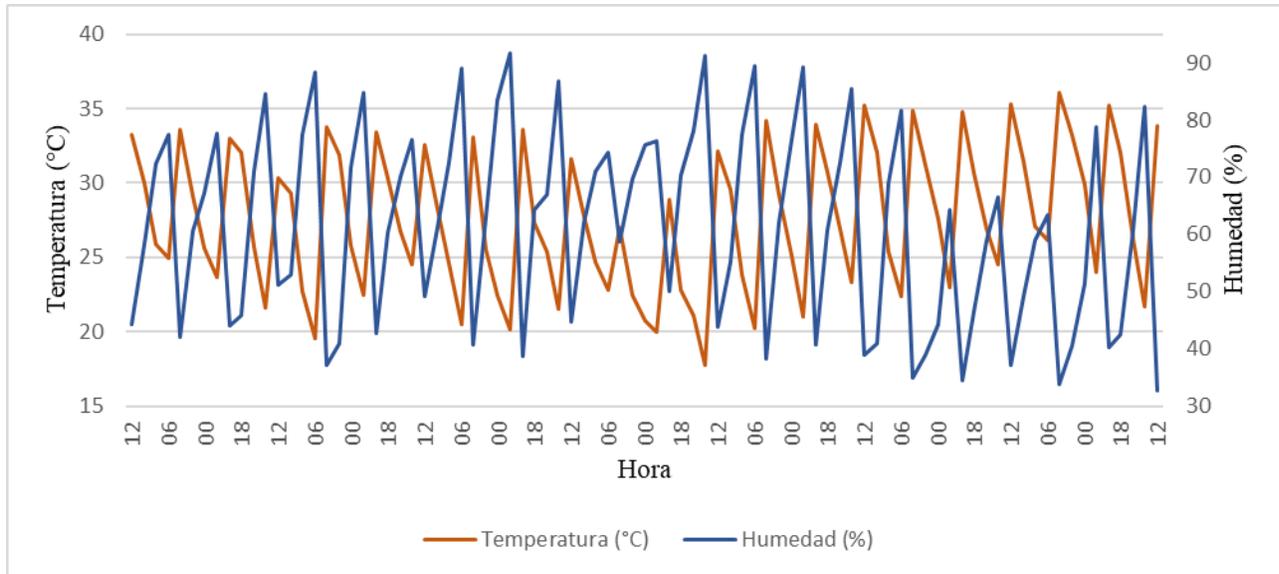


Figura 43

Gráfica Colegio La Patria abril

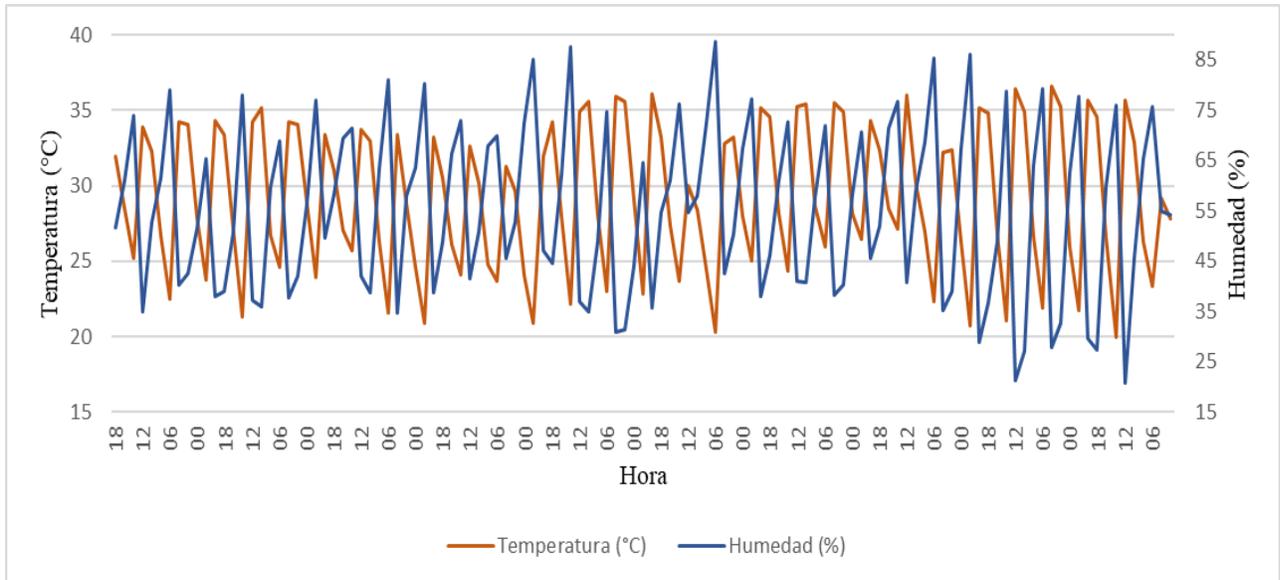


Figura 44

Gráfica Colegio La Patria mayo

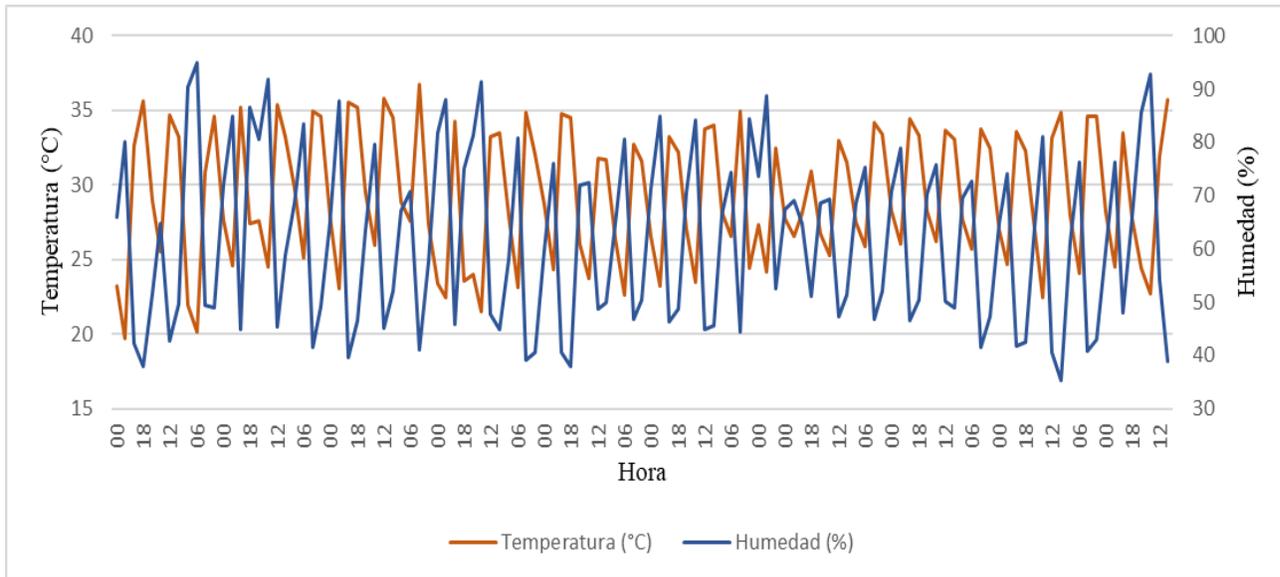
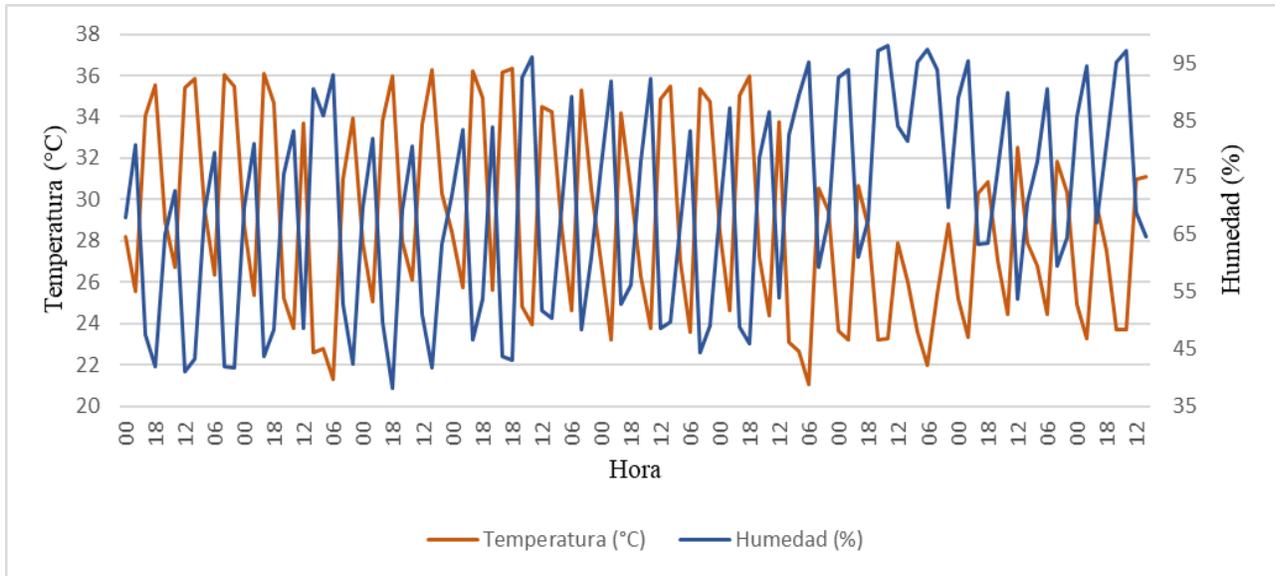


Figura 45

Gráfica Colegio La Patria junio



En el mes de junio (Figura 45) el dispositivo dejó de funcionar el día 9 de junio debido a problemas con la celda solar y las baterías de la consola, reanudando su funcionamiento el 13 de junio, por lo que no hay información de temperatura y humedad de los días 10 a 12.

Figura 46

Gráfica Colegio La Patria julio

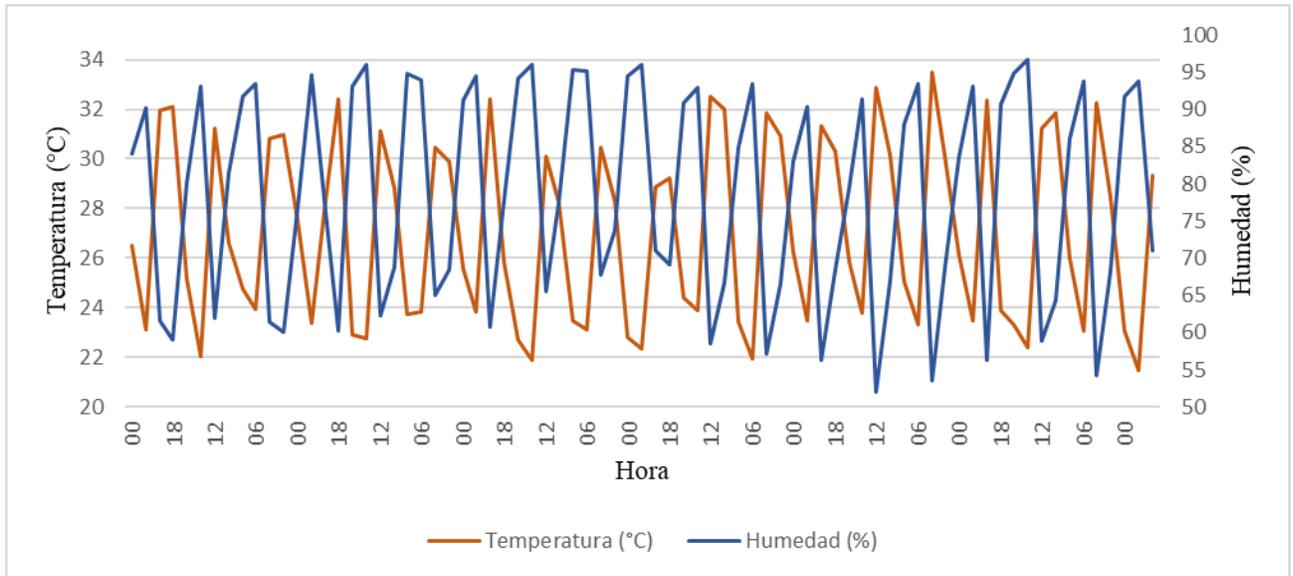


Figura 47

Gráfica Colegio La Patria agosto

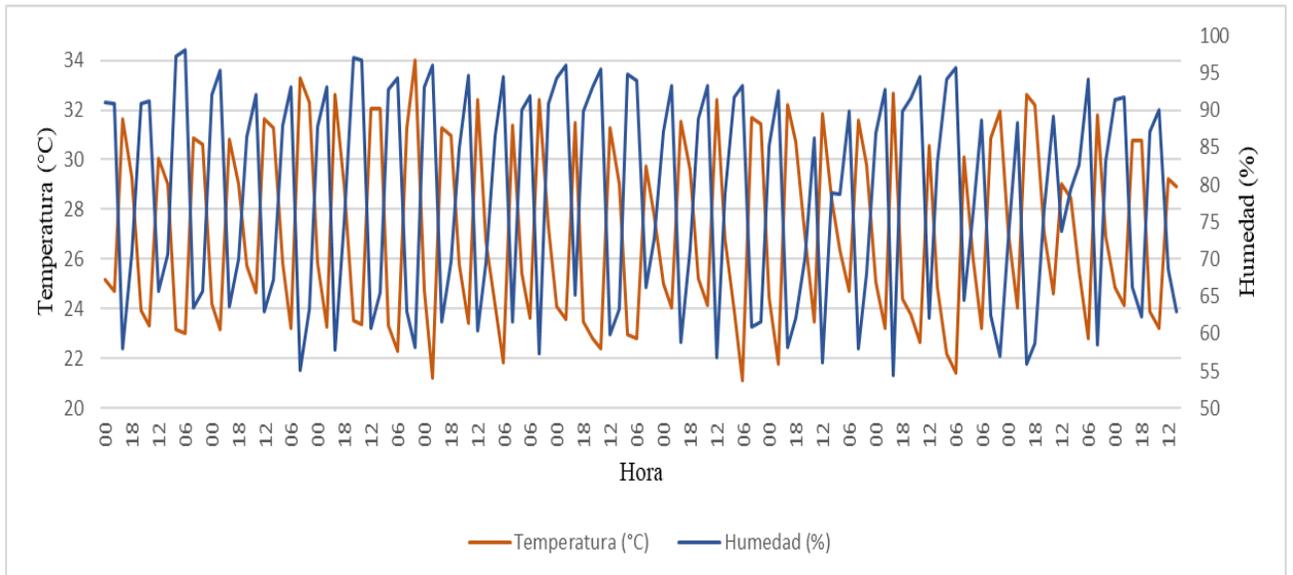


Figura 48

Gráfica Colegio La Patria septiembre

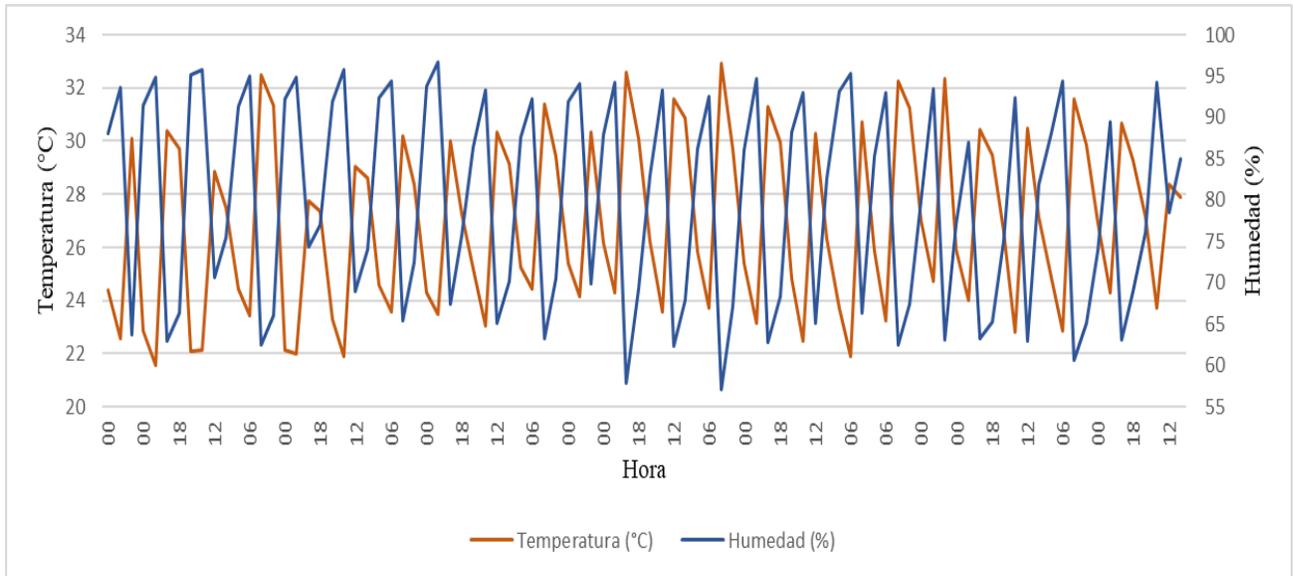
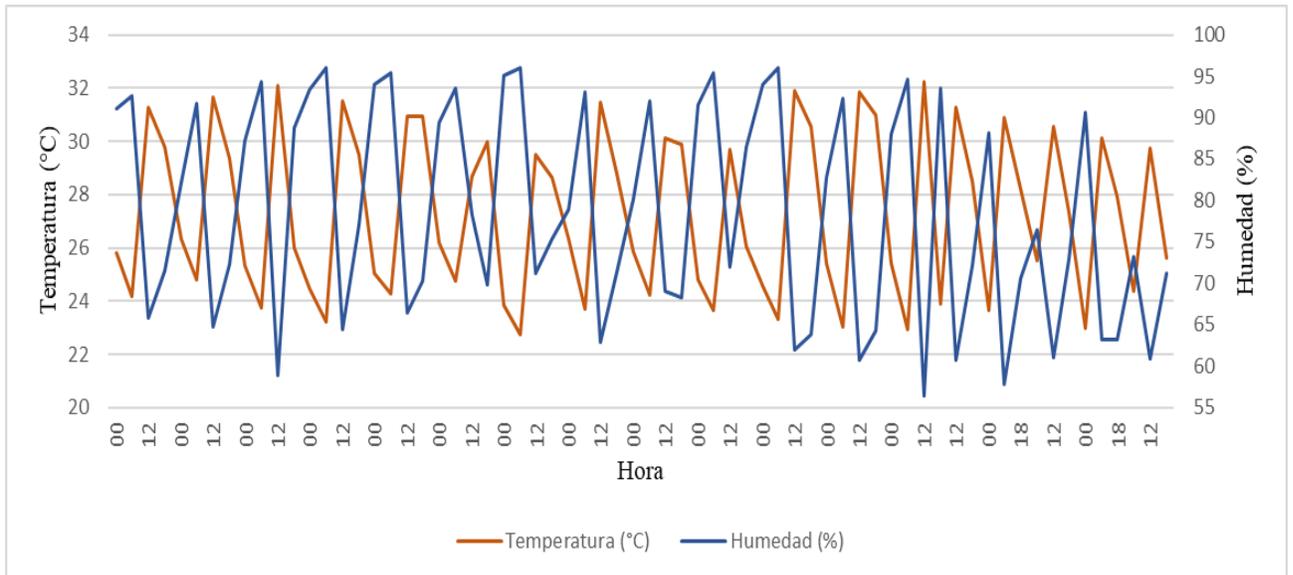


Figura 49

Gráfica Colegio La Patria octubre



Como se observa en la Figura 51 se presentó pérdida de datos en diversos horarios debido a una falla en la celda solar, por lo que se realizó el cambio de batería correspondiente, aun así, el problema se mantuvo por lo que se presentan únicamente los datos registrados.

11.3.2 Estación CONALEP

Figura 52

Gráfica sensor CONALEP julio

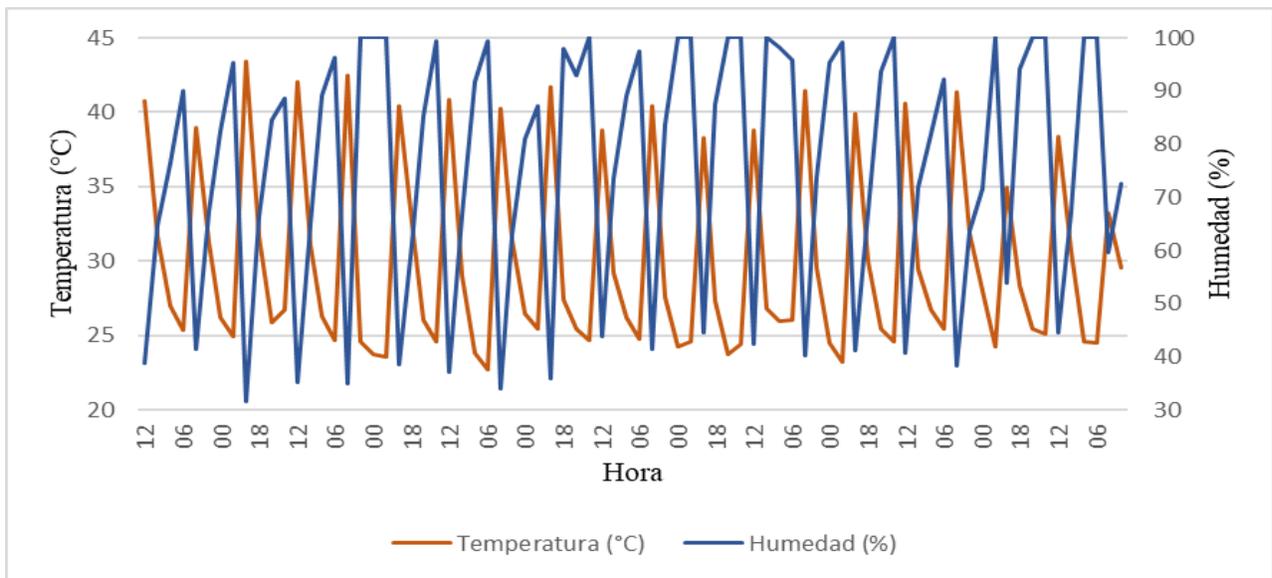
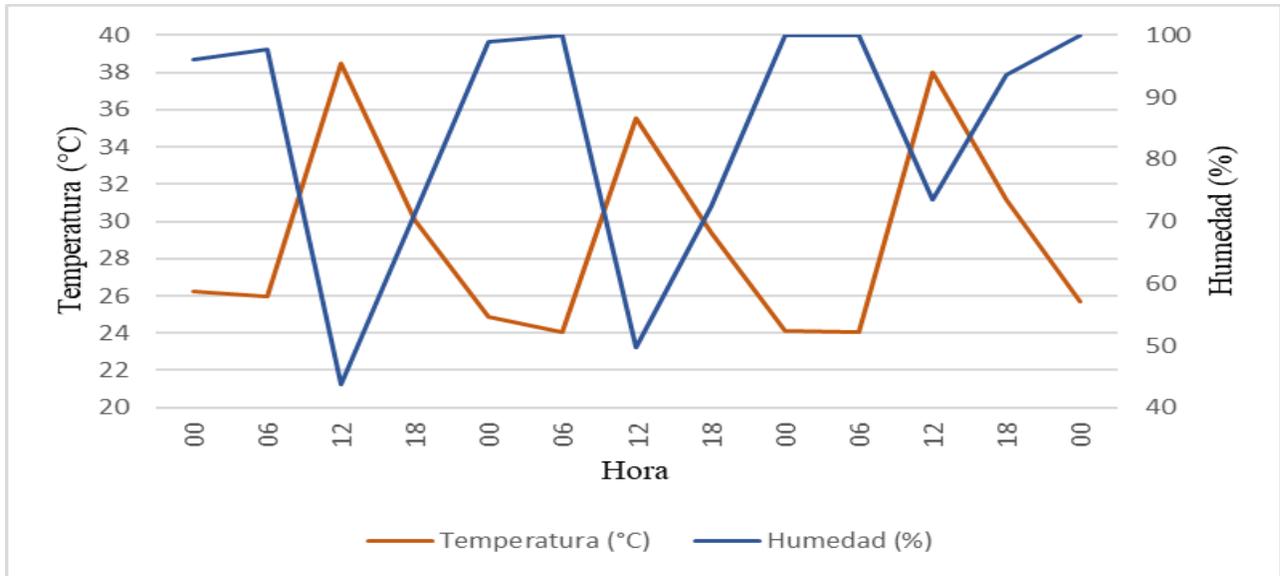


Figura 53

Gráfica sensor CONALEP agosto



Como se observa en la Figura 53, se presentan únicamente los primeros cuatro días de agosto debido a problemas con el circuito, por lo que el dispositivo estuvo en mantenimiento los meses de agosto y septiembre, volviendo a realizar la instalación en el mes de octubre.

Figura 56

Gráfica sensor CONALEP diciembre

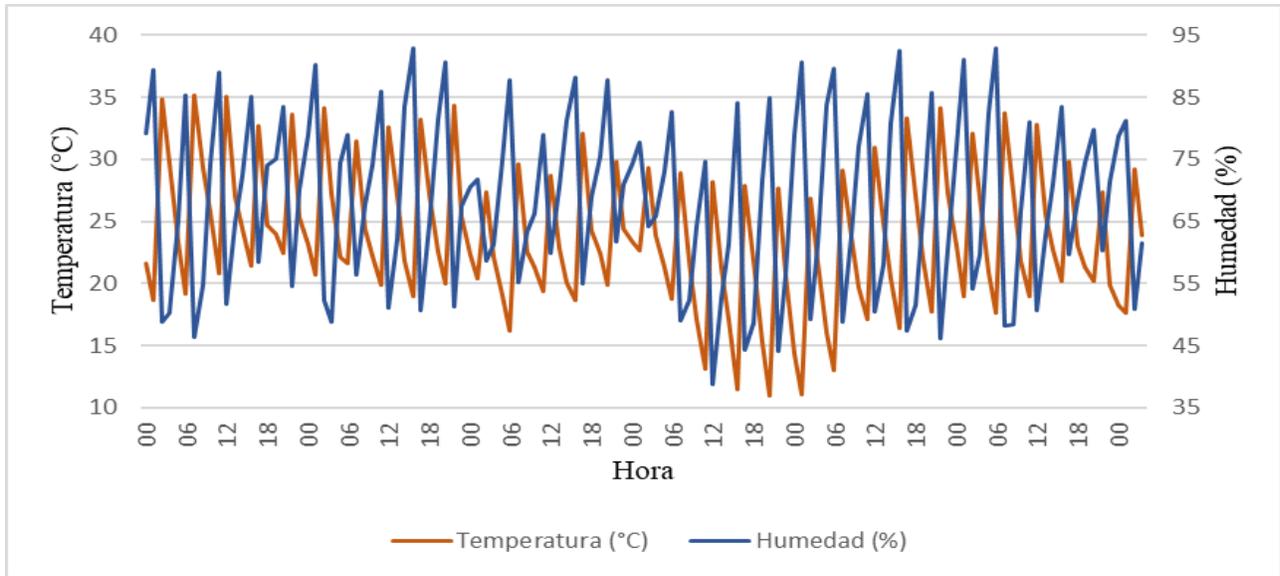


Figura 59

Gráfica sensor UNICACH agosto

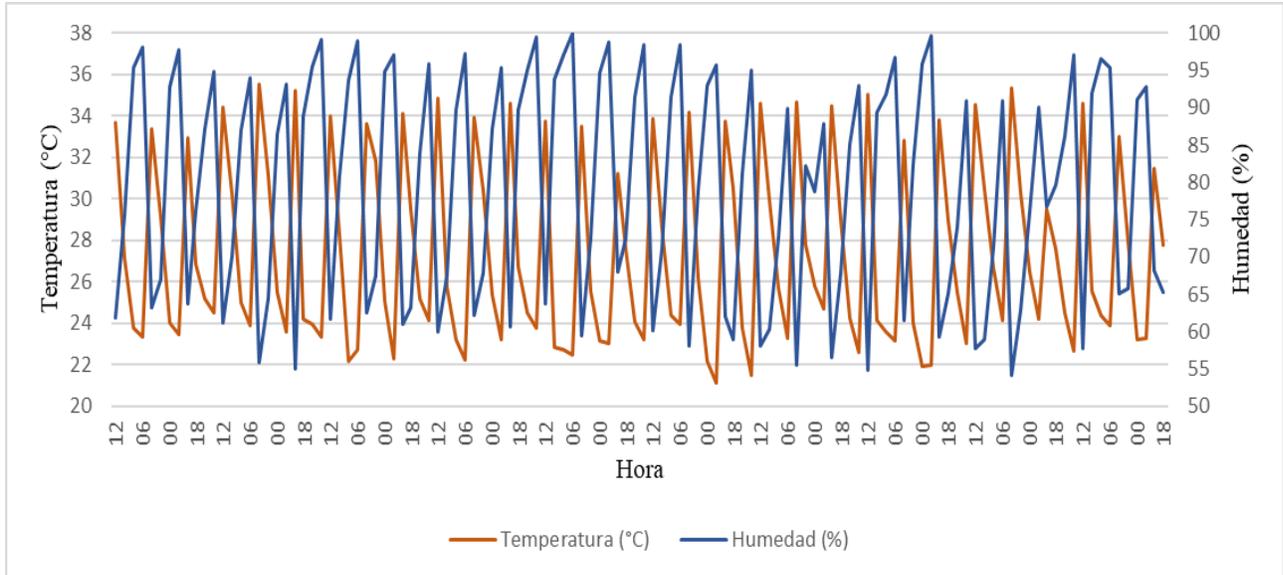


Figura 60

Gráfica sensor UNICACH septiembre

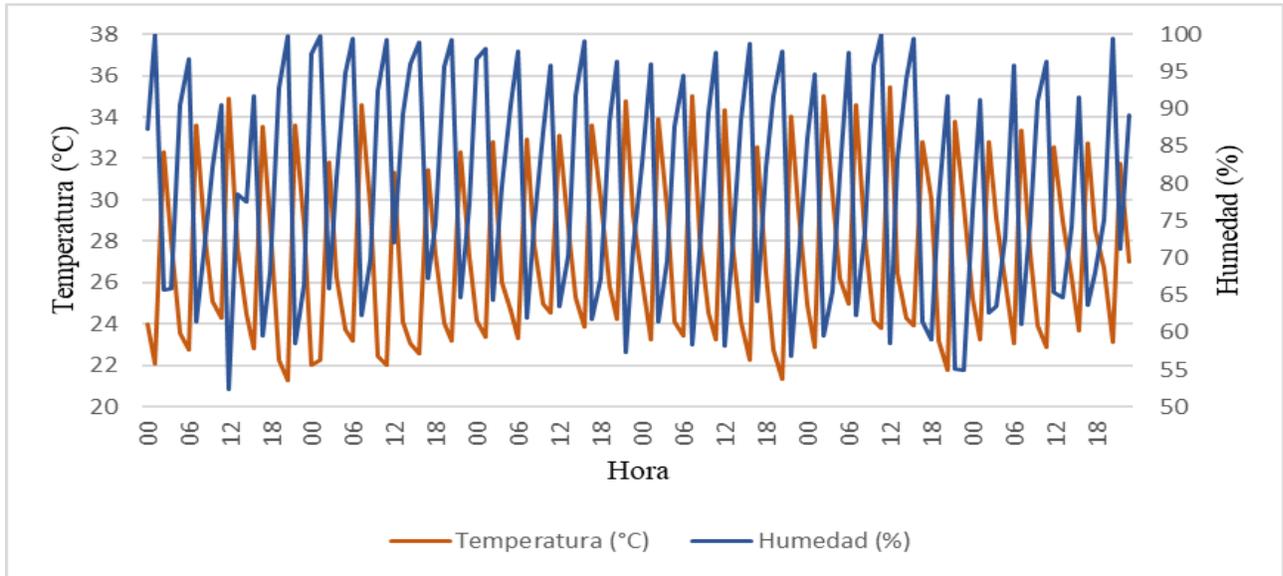


Figura 63

Gráfica sensor UNICACH diciembre

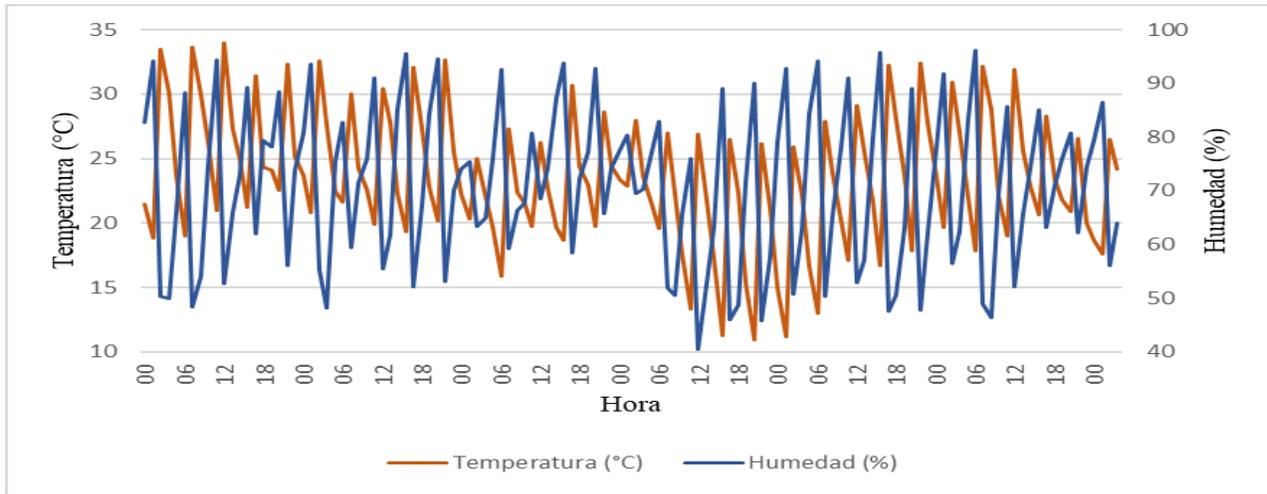
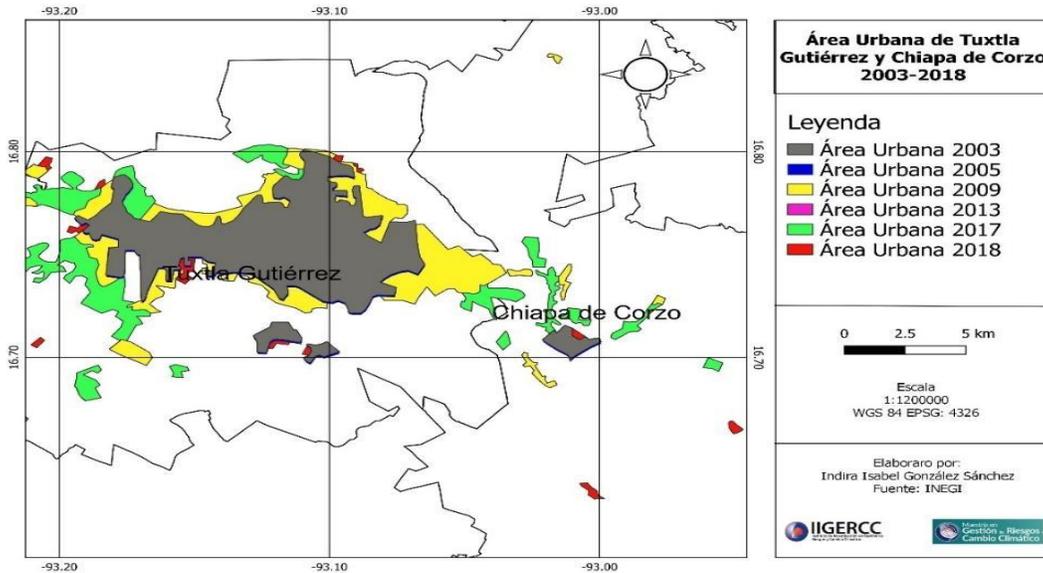


Figura 64

Área Urbana de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo 2003- 2018



Nota. Se representa el crecimiento urbano que se ha presentado en los municipios de Tuxtla Gutiérrez y Chiapa de Corzo.