

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE
RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS

**“CUANTIFICACIÓN A EXPOSICIÓN TÉRMICA POR
MOVILIDAD, MEDIANTE UN REGISTRADOR DE BAJO
COSTO EN LA VÍA PRINCIPAL DE LA CIUDAD TUXTLA
GUTIÉRREZ, CHIAPAS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

PRESENTA:

JOSUE CRUZ DAMIAN

DIRECTOR

DR. WILLIAMS VÁZQUEZ MORALES

REVISORES

DRA. GABRIELA NARCIZO DE LIMA

DR. EMMANUEL DIAZ NIGENDA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS A 21 DE ABRIL DEL 2021





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
 Autorización de impresión



Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
 Fecha: MARZO 24, 2021

C. JOSUE CRUZ DAMIAN

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

CUANTIFICACIÓN A EXPOSICIÓN TÉRMICA POR MOVILIDAD, MEDIANTE UN

REGISTRADOR DE BAJO COSTO EN LA VIA PRINCIPAL DE LA CIUDAD

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

En la modalidad de: TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Firmas:

DRA. GABRIELA NARCIZO DE LIMA

Gabriela Narcizo de Lima

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

[Firma]

DR. WILLIAMS VÁZQUEZ MORALES

[Firma]

INSTITUTO DE INVESTIGACION
 EN GESTIÓN DE RIESGOS
 Y CAMBIO CLIMÁTICO



LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
 COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

Ccp. Expediente

A G R A D E C I M I E N T O S

Al ***Dr. William Vázquez Morales***, quien dirigió este proyecto y me permitió integrarme a nuevas áreas de investigación, compartiéndome sus conocimientos, valores, motivación, además de brindarme el espacio físico, confianza y apoyo económico para culminar este proyecto.

Al ***Dr. Emmanuel Díaz Nigenda***, por brindarme el apoyo en la asesoría, seguimiento, comentarios y aportaciones al proyecto, así como sus conocimientos como docente a lo largo de la carrera y enseñarnos a ser más analíticos en las situaciones académicas y de la vida diaria.

A la ***Dra. Gabriela Narcizo de Lima***, por la disposición de formar parte del equipo de trabajo y sus aportaciones como revisora en las ramas principales de este proyecto de investigación.

A mi amiga ***Liliana Rendon***, por su amistad incondicional, su apoyo moral, intelectual y material, para poder desarrollar el proyecto y culminarlo con éxito.

A mis amigos ***Manuel Antonio*** y ***Rafael de la Cruz***, quienes me apoyaron durante los recorridos y muestreos, además de realizar observaciones y ser objetivos para considerar muchas cosas que quizás no contemplaba dentro del proyecto.

Al ***Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático*** de la ***UNICACH***, por acogerme y ser mi casa de estudios durante el proceso de formación académica profesional, por el apoyo brindado por todos mis catedráticos y personal que labora en la institución, además de contar siempre con los espacios necesarios para el desarrollo de este proyecto.

DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme permitido llegar hasta aquí, por darme sabiduría, conocimientos, paciencia, entendimiento y fuerzas. Por ser sustento espiritual y emocional, sin Él, nada de lo que soy ahora y eh logrado, podría ser. Solo a Él, la gratitud por sus bendiciones y su amor.

A mi **Abuela Guadalupe** y mi **Madre Luisa Marina**, quienes me han llevado de la mano en esta carrera, por estar horas y horas acompañándome desde niño, y al final su dedicación a rendido frutos, me ayudaron a crecer tanto personal como profesionalmente con sus consejos y sabias palabras que siempre atesorare en mi mente y mi corazón. A ellas les dedico este logro tan grande en mi vida, que es uno de los muchos que tendré. Las Amo con todo mi corazón.

A mi **Familia**, mi hermana, mis primas, tías, quienes me aconsejaban, me daban ánimos para seguir adelante y culminar, siempre me mantenían con las vibras positivas para no dejar de progresar como alumno y como persona. En especial mi prima **Dulce** que me ayudaba y animaba siempre y que compartió muchos momentos conmigo, tanto buenos como malos, sin embargo, no se aparto de mi y me motivaba siempre a seguir adelante en próximos proyectos de mi carrera profesional y de mi vida. Te amo prima.

A mis **amigos**, quienes me brindaron de su amistad, su apoyo y sus consejos. Me hacían reír en momentos difíciles, y en momentos de felicidad celebran los logros conmigo. Sin ellos otras situaciones pudieron haber sido. Gracias por estar conmigo y no abandonarme, sin duda son un regalo que Dios y la Vida puso en mi camino.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas”. Josue 1:9

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1	Urbanización y clima urbano.....	3
2.2	Isla de Calor Urbana.	4
2.3	Confort Térmico.	5
2.4	Movilidad urbana	6
2.5	Instrumentación.....	7
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
4.	JUSTIFICACIÓN.....	9
5.	ANTECEDENTES	10
6.	OBJETIVOS	15
6.1	General.....	15
6.2	Específicos.....	15
7.	ÁREA DE ESTUDIO	16
7.1	Ubicación Geográfica	16
7.2	Clima	17
8.	METODOLOGÍA.....	18
8.1	Registrador Móvil de Temperatura y Humedad (REMOTH).	18
8.2	Calibración	23
8.3	Campaña de monitoreo y determinación del Índice ASV	24
9.	RESULTADOS.....	27
9.1	Ensamble del Registrador Móvil de Temperatura y Humedad (REMOTH)	27
9.2	Calibración	28

9.3	Diseño de la carcasa	30
9.4	Campaña de monitoreo	32
9.4.1	Movilidad 1.....	34
9.4.2	Movilidad 2.....	43
9.4.3	Movilidad 3.....	50
9.4.4	Movilidad 4.....	57
9.4.5	Determinación del Índice ASV	63
10.	CONCLUSIONES	66
11.	RECOMENDACIONES	69
12.	BIBLIOGRAFIA	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de una ICU	5
Figura 2. Estación Meteorológica Automática.	7
Figura 3. Patrones de temperatura superficial en Caracas, octubre-2009.....	11
Figura 4. Patrones de temperatura superficial en Caracas, marzo-2010.	11
Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa	16
Figura 6. SBC Arduino Nano.	19
Figura 7. Módulo BME280 con sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica	20
Figura 8. Módulo de reloj RTC DS3231	21
Figura 9. Modulo Socket tarjeta SD	21
Figura 10. Power Bank	22
Figura 11. Prueba de funcionamiento del HOBO vs REMOTH	23
Figura 12. Ruta de monitoreo del proyecto.	25
Figura 13. Diagrama de conexiones del dispositivo REMOTH.....	27
Figura 14. Montaje de los sensores sobre la placa fenólica.....	28
Figura 15. Gráfica de calibración de temperaturas entre el dispositivo REMOTH y HOBO.	29
Figura 16. Gráfica de calibración de humedad relativa entre el dispositivo REMOTH y HOBO.....	29
Figura 17. Diseño de la carcasa usando el software SketchUp..	30
Figura 18. Impresora y filamento para la impresión de la carcasa.	31
Figura 19. Montaje sobre la carcasa diseñada.....	31
Figura 20. Monitoreo en transporte público Ruta 53.....	34
Figura 21. Recorrido de la Ruta 53 en la ciudad.....	35
Figura 22. Graficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 1.	36
Figura 23. Imagen de satélite del día 8 de enero.	37
Figura 24. Imagen de satélite del día 9 de enero.	37
Figura 25. Imagen de satélite para el día 10 de enero.	38
Figura 26. Mapa recorrido día 8 de enero.	40
Figura 27. Mapa del recorrido del día 9 de enero.	41
Figura 28. Mapa del recorrido del día 10 de enero	42
Figura 29. Monitoreo movilidad caminata.	43
Figura 30. Ruta de monitoreo en la modalidad caminata.	44

Figura 31. Graficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 2.	45
Figura 32. Imagen de satélite para el día 14 de enero.	46
Figura 33. Imagen de satélite para el día 20 de enero.	46
Figura 34. Mapa del recorrido para el día 14 de enero.	48
Figura 35. Mapa del monitoreo para el día 20 de enero.	49
Figura 36. Monitoreo en transporte público Ruta 01.	50
Figura 37. Graficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 3.	51
Figura 38. Imagen de satélite para el día 22 de enero.	52
Figura 39. Imagen de satélite para el día 23 de enero.	52
Figura 40. Imagen de satélite para el día 24 de enero.	53
Figura 41. Mapa del recorrido para el día 22 de enero.	55
Figura 42. Mapa del recorrido para el día 24 de enero.	56
Figura 43. Vehículo para ruta de monitoreo en la movilidad 4.	57
Figura 44. Gráfica de variables registradas durante la semana 4 de monitoreo.	58
Figura 45. Imagen de satélite para el día 29 de enero.	59
Figura 46. Imagen de satélite correspondiente al día 30 de enero.	60
Figura 47. Imagen de satélite correspondiente a las condiciones meteorológicas del día 01 de febrero.	60
Figura 48. Mapa del recorrido del día 29 de enero.	61
Figura 49. Mapa del recorrido del día 31 de enero	62

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos problemas ambientales que están asociados a la expansión urbana que experimentan las ciudades, uno de es la Isla de Calor Urbana (ICU). Ésta se define como la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores. Asimismo, es el resultado de dos procesos diferentes pero asociados; el primero y más importante, la modificación en la cobertura del suelo como resultado del proceso de urbanización que transforma las superficies con materiales impermeables como el asfalto y el concreto. La segunda; hace referencia a las actividades en la ciudad principalmente el transporte y la industria debido a las emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano (Oke , 1987).

Este tema gana importancia debido a la tendencia mundial hacia la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades, así como porque la ICU tiene implicaciones directas en la calidad del aire, la salud pública, la gestión energética y en la planeación urbana.

Por ello, esta problemática se ha convertido en uno de los principales desafíos relacionados con el proceso de urbanización, ya que el aumento de la temperatura asociada a la ICU tiende a exacerbar los problemas antes mencionados (Tan et al. 2010). Además, de estar ya identificada en los temas centrales cuando se trata la mitigación y/o adaptación ante el cambio climático, desde un enfoque urbano.

En el estado de Chiapas, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el año 2010 el 48.7% de la población total vivía en zonas urbanas y el otro 51.3% lo hacen en zonas rurales. Para el año 2015 los datos indican que el 49.7% habita en zonas rurales. Lo anterior muestra que la población continuamente comienza a emigrar a las zonas urbanas del estado. Ante esto, algunas investigaciones se plantean un sistema de transporte más eficiente.

Tuxtla Gutiérrez es el centro de una zona metropolitana integrada por los municipios de Chiapa de Corzo, Berriozábal, San Fernando, Suchiapa, Ocozacoautla de Espinosa y Osumacinta, todos ellos en conjunto crean una red de transporte público y foráneo para el traslado de la población, para el año 2011, en la ciudad existía un total de 103 rutas de colectivos y cinco rutas suburbanas, integradas por 1930 vehículos, por ello la Secretaría de

Transportes del Gobierno Estatal realizó la administración de las rutas en la ciudad. Sin embargo, ante un aumento en la cantidad de vehículos particulares el congestionamiento vial en las principales avenidas aumenta (Xicotencalt, 2020).

Partiendo de este contexto, se desarrolló un monitoreo de temperatura dentro del transporte público en dos de las principales rutas que la mayor parte de la población tuxtleca utiliza, la ruta 1 y 53 del transporte público, ya que en su mayoría atraviesa la ciudad de oriente a poniente y viceversa, estableciendo su recorrido sobre la avenida central (ruta 1) y la primera sur (ruta 53) en contra parte una diferencia de estos dos con una caminata y un medio de transporte particular (los mapas de referencia de la ruta de monitoreo se encuentran dentro del área de estudio del proyecto).

Para realizar este monitoreo de temperatura se desarrolló un dispositivo con sensores programables para obtener las variables de presión, humedad y temperatura, en conjunto con otros módulos y así, obtener una base de datos y hacer los cálculos para obtener el *Actual Sensation Vote (ASV)* o Sensación de Voto Actual en la Ciudad.

La importancia del estudio es determinar cuál de los medios de transporte público, caminata o vehículo particular, arroja el índice (ASV) más alto y qué afectación podríamos tener como usuarios de estos medios de transporte, así como establecer recomendaciones sobre las medidas para reducir el impacto a la población.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Urbanización y clima urbano

El proceso de la urbanización tiene su concepción en la ciudad, este representa el espacio físico o territorial en donde se establece la población y tienen lugar los procesos socioeconómicos; es así mismo en donde el medio natural se apropia, se transforma y se adapta para el desarrollo de las funciones propias de la vida comunitaria (CONAPO, 2012). La urbanización parte de un aumento de la población en las zonas urbanas, según datos del INEGI (2015), México cuenta con una población de alrededor de 120 millones de habitantes, de las cuales casi el 50 % se encuentran en los estados del centro del país (Lopez, 2018); por tanto, un aumento en la población y en los procesos de urbanización provocan una alteración de los procesos aerodinámicos, térmicos e hidrográficos que ocurren en la atmósfera local, generando una modificación artificial del clima, denominado clima urbano (Lombardo, 1997).

El clima urbano resulta de transformaciones inadvertidas e intencionales introducidas sobre los climas regionales y locales (Oke, 1987), que se relacionan directamente con la construcción social del espacio urbano. Es considerado tradicionalmente como un componente de la naturaleza, sin embargo, cuando se consideran sus causas y consecuencias, se advierte de inmediato que las grandes variaciones de temperaturas, humedad, ventilación o calidad del aire que se observan al interior de las ciudades, se relacionan espacial y temporalmente con los procesos y características socioeconómicas particulares de estas zonas (Romero et al., 2010)

La expansión de las zonas urbanas aunadas a la mala planeación de las mismas, son dos de los principales factores que modifican de forma severa el entorno natural, del cual el ser humano depende ya sea de forma directa o indirecta (CICEANA, 2009).

En resumen, en los últimos años, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ha tenido un rápido crecimiento poblacional a la par de una mala planeación urbana (Periodico Oficial, 2011) las modificaciones que se presentan debido al incremento poblacional y a un proceso de urbanización no planeado, traerán consigo una serie de afectaciones a la población y al ambiente.

2.2 Isla de Calor Urbana.

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2009) las islas de calor o islas térmicas urbanas, se refieren al gradiente térmico que se observa entre los espacios urbanos densamente ocupados y construidos y la periferia rural o peri-urbana. El patrón espacial clásico de la isla térmica urbana es concéntrico, o en forma de domo si observáramos una sección transversal de la ciudad, con más altas temperaturas en las áreas más céntricas o densamente construidas, que descienden progresivamente hacia la periferia (Figura 1). Este patrón o gradiente térmico, es asociado a una progresiva pérdida del entorno vegetal natural, intra y periurbano, y su sustitución por superficies impermeables, como el concreto, asfalto, ladrillo y otros materiales de construcción, que alteran el balance hídrico y radiativo superficial, lo que induce, a un aumento de la temperatura en las áreas urbanas (Cordova, 2011). Otros autores señalan que la razón principal en las diferencias térmicas en el clima urbano es la alteración del equilibrio de calor e hídrico, esto se debe principalmente a la sustitución del suelo natural, por superficies de roca, concreto, pavimento, metal o tabique, por las cuales el agua de la lluvia escurre más rápidamente (Geiger, 1965).

Así mismo, las actividades en la ciudad principalmente el transporte y la industria por el uso de combustibles generan emisiones térmicas que contribuyen al calentamiento urbano (Oke, 1987). El tema es cada día más importante debido a la tendencia mundial hacia la urbanización y el crecimiento disperso de las ciudades, además de que la ICU tiene implicaciones directas en la calidad del aire, la gestión energética, la planeación urbana y la salud pública en el confort térmico.

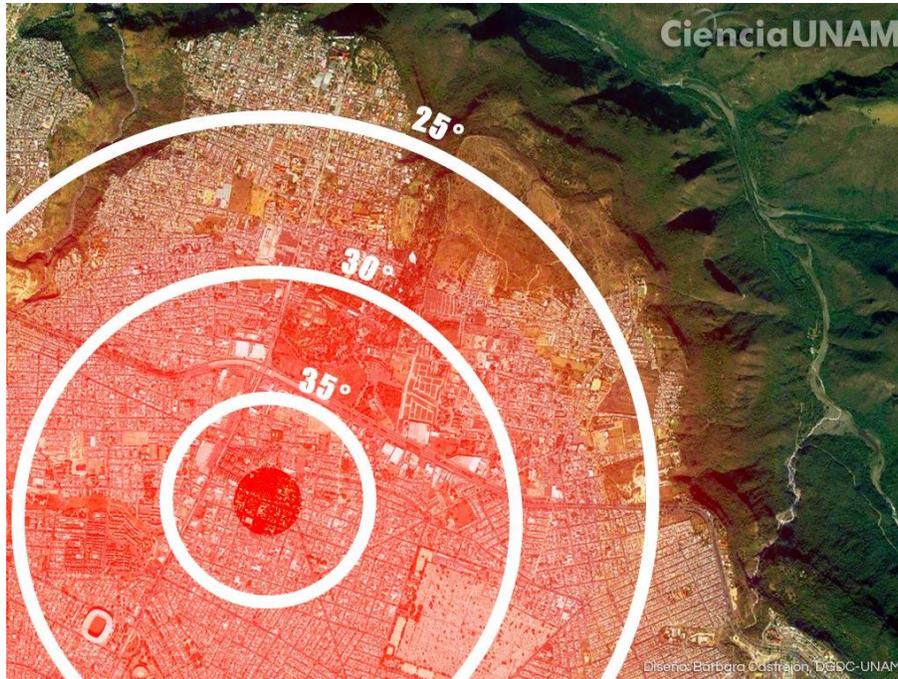


Figura 1. Representación de una ICU (Castrejón, 2018)

2.3 Confort Térmico.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene (INSHT, 2019) se denomina confort térmico, cuando las personas no experimentan una sensación de calor o frío; es decir, cuando las condiciones de humedad, temperatura y movimientos del aire son favorables a las actividades que desarrollan; hacer una evaluación del confort térmico no es fácil, ya que valorar las sensaciones conlleva siempre a un punto subjetivo; no obstante, existen variables que influyen en los intercambios térmicos entre el individuo y el medio ambiente que lo rodea, estas son: la temperatura del aire, la temperatura de las paredes u objetos que los rodea, la humedad del aire, la(s) actividad(es) que realizan, la clase de vestimenta y la velocidad del viento.

Para realizar una medición del confort térmico, Nikolopoulo et al. (2004), desarrollaron un proyecto que abarcó cinco ciudades europeas donde se recolectaron un total de 10,000 entrevistas en las diferentes estaciones del año. El modelo creado se denomina “Actual Sensation Vote” (ASV), este se divide en cinco escalas basadas en la sensación del confort de

la persona, el cual va de -2 (muy frío) a +2 (muy caluroso). Las condiciones de confort corresponden a ASV = 0, sin embargo, se considera que entre +0.5 y -0.5 las condiciones son aceptables Ochoa et al. 2009. El cuerpo humano intentará mantener una temperatura constante, en el momento que esta constante se rompa el organismo sufrirá de trastornos por tener una ganancia o una pérdida de calor. Águila (2007) clasifica los trastornos por aumento de la temperatura corporal en tres tipos:

- Alteraciones sistémicas: golpe de calor, deshidratación, agotamiento por calor, calambres por calor, déficit de sales y sudoración insuficiente.
- Alteraciones cutáneas: erupciones por calor
- Trastornos psíquicos: fatiga crónica leve por calor, pérdida aguda del control emocional.

En los últimos años Tuxtla Gutiérrez ha sufrido de un incremento en la temperatura, por tanto, es importante determinar las condiciones del confort térmico que se presenta en la ciudad.

2.4 Movilidad urbana

En los últimos años, debido a que se buscan maneras más eficientes y eficaces para promover el traslado de personas o bienes materiales a diferentes lugares, la movilidad urbana ha comenzado a tener mayor importancia para los gobiernos (en todos los niveles administrativos) y organismos no gubernamentales. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en 2018 define que la movilidad urbana es el movimiento de las personas y bienes en las ciudades, independientemente del medio que utilicen para desplazarse, ya sea a pie, en transporte público, automóvil, bicicleta, entre otros. Estos tipos de movilidad pueden presentar diversas alteraciones debido a las condiciones externas (ambientales) a las cuales están expuestos. Por ello, estudiar el comportamiento de la ICU es de importancia, ya que la población puede ser afectada en su confort térmico y verse expuesta a diversas afectaciones como golpes de calor, estrés, deshidratación entre otras afectaciones, durante su desplazamiento en los diferentes tipos de movilidad presentes en la ciudad.

2.5 Instrumentación

La instrumentación ha permitido el avance científico y tecnológico durante los últimos años propiciando la automatización de diversos procesos en la industria. Se puede definir a la instrumentación como todo el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales, se miden cantidades físicas o químicas con el objeto de obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los Sistemas de Control Automático (Gutiérrez & Iturralde, 2017). En los procesos de instrumentación y automatización para obtener las variables meteorológicas existen algunas opciones, dentro de las cuales se encuentran las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) (Figura 2), estos equipos nos permiten realizar la medición de las condiciones meteorológicas presentes de forma automatizada. Dichas estaciones se componen por un gran número de sensores, los más comúnmente utilizados en ellas son:

- Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)
- Humedad relativa del aire (%HR)
- Radiación Solar (W/m^2)
- Precipitación (mm)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del Viento ($^{\circ}$ grados)

A la par de los avances en la instrumentación durante los últimos años, la tecnología ha desarrollado sensores, módulos electrónicos y ordenadores de placa reducida (*Single Board Computer o SBC*), el cual es un dispositivo que se centra en un



Figura 2. Estación Meteorológica Automática. Fotografía de Cruz D. J. (2019).

sólo microprocesador y todas las demás características de un computador funcional en una sola tarjeta que suele ser de pequeñas dimensiones; estos dispositivos permiten ejecutar algunos sistemas operativos, además que son de acceso libre y bajo costo, con la versatilidad de acoplarlos acorde a las necesidades de investigación, para medir y almacenar información, de variables meteorológicas como lo hace una EMA.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ciudad de Tuxtla Gutiérrez tiene una población cercana a los 598,710 habitantes (INEGI, 2010), aunado al aumento demográfico los procesos de urbanización y cambio de uso de suelo (Periodico Oficial, 2011) contribuyen al aumento de la temperatura ambiental dentro de la ciudad, potenciando el efecto de la Isla de Calor Urbana. En este sentido, se han registrado temperaturas muy altas (hasta 42°C) durante los meses de abril y mayo, a los cuales la población se expone durante sus diversas actividades cotidianas y que pueden traer consigo graves afectaciones a la salud. Una de estas actividades es la movilidad urbana, para la cual aún no existen estudios en la Ciudad que demuestren cómo la población se ve afectada por las altas temperaturas en los diferentes medios de movilidad (caminata, transporte privado o público).

Por lo tanto, para este trabajo de investigación se georreferenciará y medirá la temperatura ambiental de exposición de una persona en su movilidad en la vía principal de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, empleando un dispositivo registrador de temperatura desarrollado a bajo costo, a fin de determinarse bajo qué condiciones atmosféricas y qué tipo de movilidad el índice de confort térmico es sobrepasado y cómo se ve afectada la población durante las actividades que realice al utilizar estos medios de movilidad.

4. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ha tenido un rápido crecimiento poblacional a la par de una mala planeación urbana (Periodico Oficial, 2011). Actualmente existen estudios sobre las ICU dentro de la ciudad, pero no sobre las afectaciones que tienen a las personas durante su movilidad en ciertas horas del día en las que la ciudadanía realiza sus actividades en las principales zonas del centro. Por ello resulta viable tener una base de datos que nos indique las temperaturas a las cuales la población se encuentra expuesta durante sus actividades al transitar en la vía principal de la ciudad. Cabe mencionar que para realizar estos estudios se necesita instrumentación más accesible, dado que muchos de los instrumentos de medición actuales tienen costos elevados, por ello, en esta investigación se desarrolló un termómetro de bajo costo para la generación de una base de datos de temperatura.

5. ANTECEDENTES

El estudio del efecto de la Isla de Calor Urbana (ICU) no es un tema nuevo, en el siglo XIX se comenzó a estudiar este fenómeno en las ciudades, el primer estudio realizado para detectar este efecto fue elaborado por Howard (1818) quien identificó la modificación térmica que presenta la ciudad de Londres, señalando que el centro urbano registraba temperaturas más altas que los campos en sus alrededores, posteriormente se le denominó a esta modificación térmica como Isla de Calor Urbana (ICU).

A nivel internacional, entre los estudios más recientes sobre la ICU, se encuentra el realizado por Córdova (2011) el cual con el uso de bandas térmicas del sensor LANSAT 7 ETM+, permite observar las variaciones en los patrones de la temperatura superficial urbana y determinar la intensidad y extensión de las anomalías térmicas relacionadas con el aumento de la temperatura en la ciudad; como resultado del estudio se seleccionaron dos imágenes, una correspondiente a meses húmedos de octubre de 2009 (Figura 3) y otra a meses secos de marzo de 2010 (Figura 4), en las cuales se mostraron importantes diferencias en la temperatura superficial registrada en el área urbana y periurbana de Caracas, entre las imágenes del periodo húmedo y las del periodo seco, se registraron anomalías positivas de +10°C en marzo, lo que provocó un mayor estrés hídrico en los parques recreacionales y botánicos durante este periodo, así también la asociación de este fenómeno al aumento de los incendios forestales y la acumulación de una densa bruma por el humo, que generó el aumento de los reportes de afecciones alérgicas, bronquiales e irritación en la población.

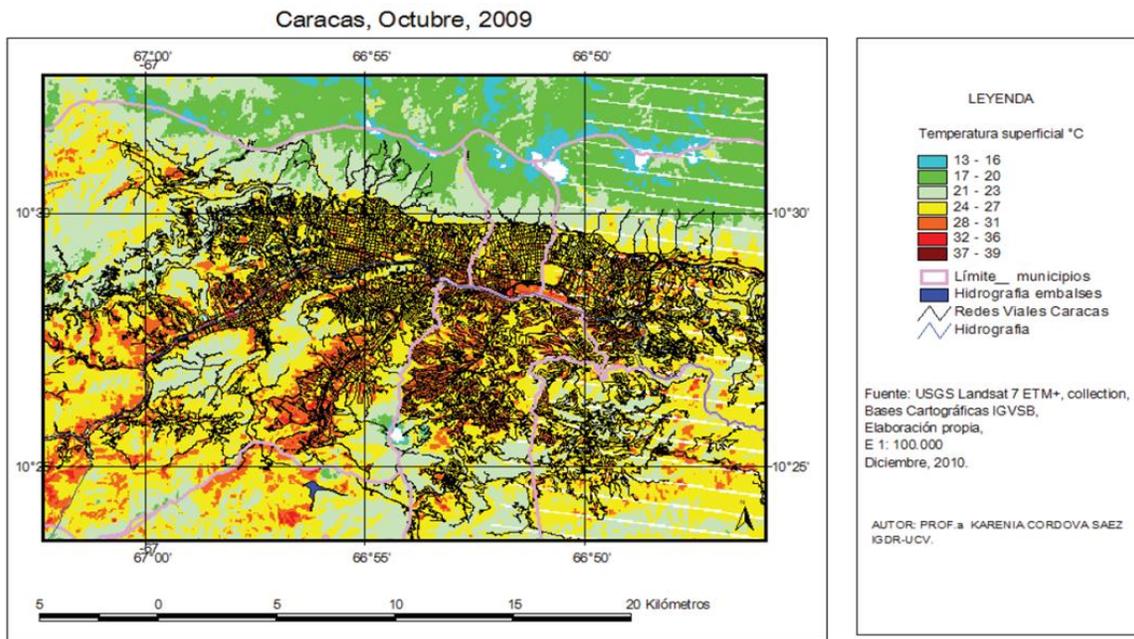


Figura 3. Patrones de temperatura superficial en Caracas, octubre-2009 (Córdova, 2011).

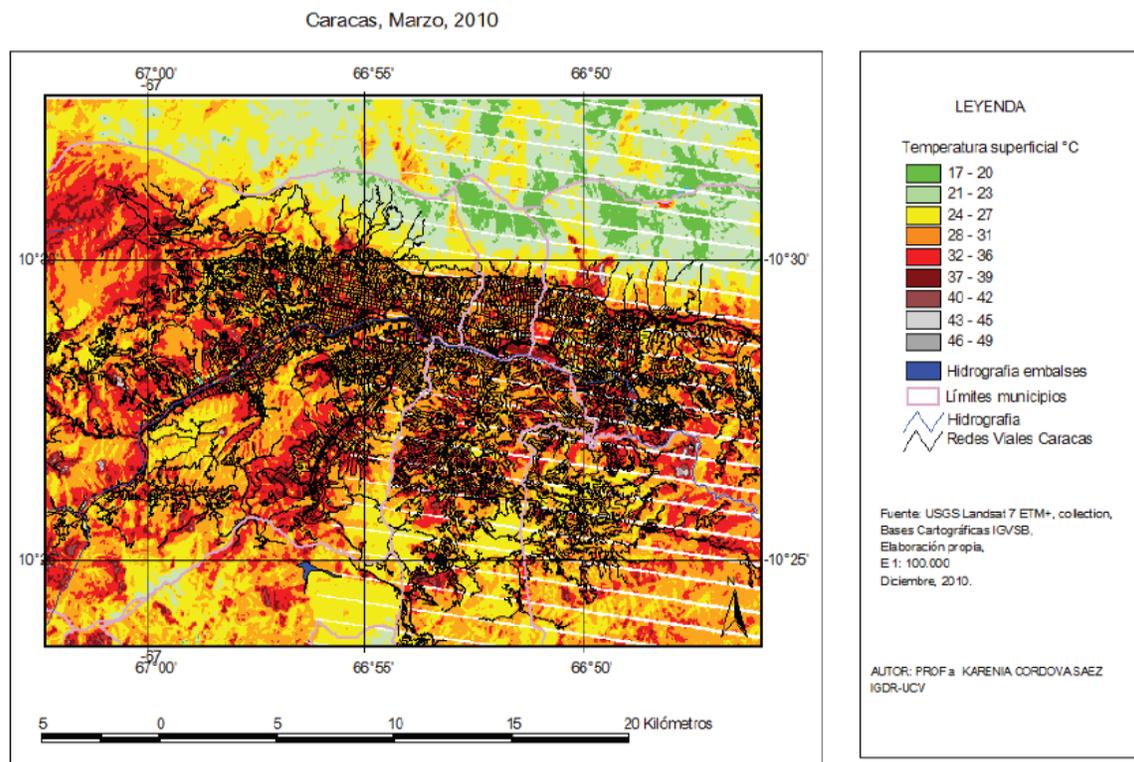


Figura 4. Patrones de temperatura superficial en Caracas, marzo-2010 (Córdova, 2011).

En México los estudios de la ICU se iniciaron en el año de 1894, cuando Moreno, utilizó los datos de dos estaciones meteorológicas de la Ciudad de México, una ubicada en la zona urbana (Observatorio Meteorológico Central) y otra en una zona rural (Observatorio Astronómico Tacubaya), el resultado fue la obtención de los contrastes térmicos entre la ciudad y el campo atribuidos al fenómeno de la ICU.

Otro importante estudio fue realizado por Jáuregui (1977) en Toluca, Estado de México, el cual consistió en determinar el patrón de distribución horizontal de la temperatura; en este estudio, se hicieron dos recorridos de dos horas en un vehículo a lo largo de las avenidas principales de la ciudad de Toluca, tomándose muestras de temperatura, velocidad y dirección del viento. Los resultados obtenidos muestran un contraste térmico ciudad/campo donde se observó una variación de 5°C de acuerdo a (Moreno, 1984) la extensión urbana, así mismo se comprobó en el estudio que durante la época de secas existe una mayor variación debido a la alta radiación por cielos despejados.

Otro estudio realizado en la ciudad de Toluca por Morales et al. (2007), consistió en la recolección de datos de siete estaciones meteorológicas de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ciudad distribuidas en un terreno plano y de la estación central a una distancia de entre tres y seis kilómetros. Con los valores obtenidos realizaron un trazado de las isotermas en un lapso de tiempo de seis meses (15 de julio 2004 al 13 de enero de 2005) para determinar el comportamiento de la temperatura entre el centro de la ciudad y su periferia durante el día y la noche de verano e invierno, obteniendo como resultado que existe una diferencia térmica entre la periferia y el centro es de 3.0° C durante el día y de 1.5 ° C por la noche en el invierno, mientras que durante el verano, la oscilación es de 2° C en ambos casos.

Casillas-Higuera (2014) realizó un estudio de la ICU de la ciudad de Mexicali, Baja California, mediante un modelado dinámico a través del software Stella sobre el comportamiento de la temperatura del aire horarias durante el periodo de 2000 a 2005 registradas en tres estaciones meteorológicas ubicadas en la zona urbana de Mexicali y una de ellas en la zona rural de Calexico, California. El resultado del estudio antes mencionado fue que la modelación a través del software arrojó los datos de la hora, la intensidad y la ubicación geográfica de la ICU, observando este fenómeno en la zona suroeste de la ciudad

con un aumento de 5.3 °C (con un tipo de suelo mixto), demostrando con esto que la transformación de las áreas verdes con vegetación en áreas urbanas incrementa el calentamiento del sistema climático urbana a una escala local.

Para el estudio del Índice ASV, Ochoa et al. (2009) realizó la comparación del índice de confort en dos sitios turísticos, Los Cabos, B. C. S. y Cancún, Quintana Roo, utilizando el modelo ASV para determinar la sensación de confort. Los resultados de esta comparación indican que el sitio turístico de Cancún cuenta con un clima más o menos uniforme durante el año, permitiendo un mejor diseño y planeación, sin embargo, para Los Cabos, las diferencias son marcadas durante el invierno y verano, por lo tanto, se deben tener diferentes estrategias por cada temporada en el año, diferentes planeaciones en cuanto a estructuras y el desarrollo de actividades para los turistas.

Para el caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Pérez-Villatoro (2015), determinó que la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez presenta una diferencia de 3-4 °C en relación a otras zonas con mayor cantidad de vegetación (como Berriozábal y San Fernando), lo anterior, a partir de información que recabó el autor durante la semana del 1 a 7 de marzo del año 2014 y usando el modelo MM5 como una herramienta numérica de predicción atmosférica, determinando así las condiciones climáticas de esa semana y basado en ellas, la influencia de los vientos dentro del modelo mostro una reducción en el impacto de las temperaturas al confort térmico.

Un estudio reciente realizado por Zavaleta (2018) se enfocó en la urbanización y la relación que tiene con el efecto de la ICU en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (ZMTG). El proyecto empleó el modelo MM5 para simular la variación de la temperatura en los escenarios de expansión urbana de la ZMTG. Obteniendo como resultado que, si la ZMTG aumentara su extensión e incrementaran las áreas urbanas presentes en ellas, la temperatura podría aumentar hasta 2.6°C, mientras que para la temperatura máxima podría aumentar 0.5° a medio día y mínima disminuir 0.5° durante la madrugada. Este efecto podría ser visible en las zonas en donde se cambie una mayor cantidad de vegetación o cultivos por suelo urbano.

En la actualidad en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se han realizado estudios para estimar el comportamiento de la ICU y el Índice ASV, sin embargo, no se han realizado estudios de la identificación de dicho índice aplicado a la movilidad urbana en la ciudad, las

aproximaciones que existen se basan en determinar solo la ICU, por tanto, este proyecto es uno de los primeros en su tipo para la zona de estudio.

6. OBJETIVOS

6.1 General

- Medir la exposición térmica en la movilidad de la población al desplazarse en diferentes medios de transporte, mediante un registrador ambiental de bajo costo, sobre una vía principal de la ciudad Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

6.2 Específicos

- Desarrollar un adquisidor de datos de temperatura, humedad y presión atmosférica empleando un Computador de Placa Reducida (SBC).
- Programar y calibrar cada uno de los sensores implementados en el SBC para determinar la confiabilidad de las mediciones.
- Realizar una campaña de adquisición de datos usando el prototipo desarrollado, midiendo la temperatura ambiental a la que una persona se expone al desplazarse en diferentes medios de transporte en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.
- Determinar el Índice de Confort Térmico en cada uno de los tipos de movilidades planteados.

7. ÁREA DE ESTUDIO

7.1 Ubicación Geográfica

La ciudad capital del estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez (Figura 5), se encuentra ubicada en la región económica I denominada Metropolitana. El municipio limita al norte con San Fernando y Osumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozocoautla y Berriozábal. La cabecera municipal se ubica a $16^{\circ}45'11''$ de latitud norte y $93^{\circ}06'56''$ de longitud oeste, estando a una altitud de 522 metros sobre el nivel del mar. Tuxtla Gutiérrez posee una superficie territorial de 334.61 km^2 que ocupa el 0.45% del territorio estatal (CEIEG, 2012).

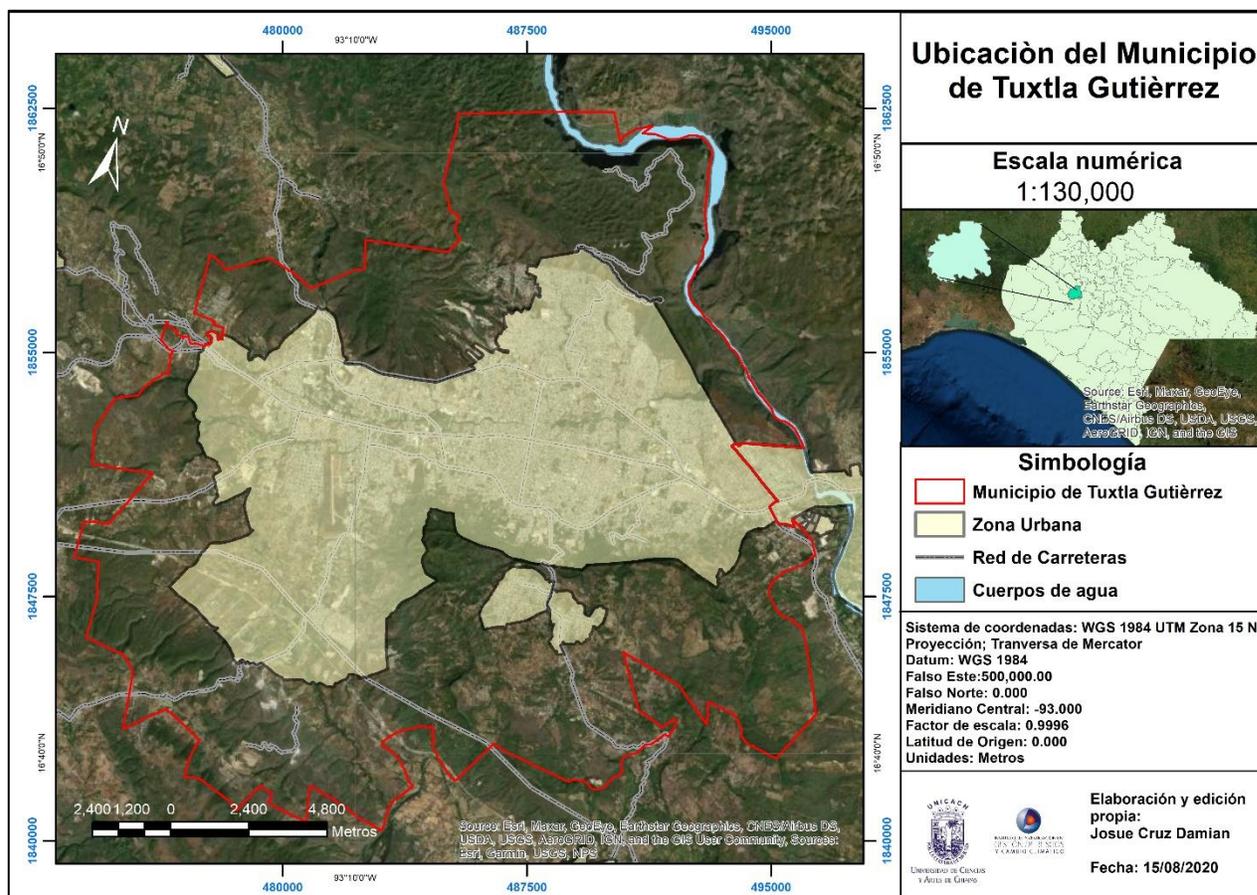


Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

7.2 Clima

El clima del municipio se caracteriza como cálido subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano.

Durante los meses de mayo-octubre las temperaturas se distribuyen de la siguiente manera: de 15°C a 22.5°C en las mínimas, mientras que las máximas entre los 27°C y 34.5°C. Para los meses de noviembre-abril las temperaturas mínimas se distribuyen en un rango entre 12°C a 18°C y las máximas entre los 24°C y 33°C.

Para las precipitaciones durante los meses de mayo-octubre la media varía entre 900 y 1200 mm y entre los meses de noviembre-abril la precipitación media es de 25 a 100 mm durante toda esta temporada (CEIEG, 2012).

8. METODOLOGÍA

El proyecto se divide en dos etapas, la primera se refiere al desarrollo de un dispositivo electrónico registrador de temperatura y humedad (REMOTH); mientras que la segunda, comprende una campaña de mediciones de temperatura y humedad utilizando el instrumento desarrollado en un recorrido por la vía principal de la ciudad abordando diferentes tipos de transporte urbano.

8.1 Registrador Móvil de Temperatura y Humedad (REMOTH).

Para obtener los valores de temperatura y humedad se necesita de ciertos dispositivos, los cuales pueden llegar a ser costosos, sin embargo, los avances tecnológicos actuales generan nuevas alternativas para el desarrollo de instrumentación de bajo costo. En este sentido para el desarrollo del instrumento registrador de temperatura y humedad, se utilizaron diferentes módulos que, al configurarse en conjunto, generan un registrador de temperatura y humedad, teniendo un tamaño y peso prácticos para su transporte.

Para construir el dispositivo fue necesario como insumo un ordenador de placa reducida (SBC), el cual se define como una computadora completa en un solo circuito que comprende una memoria, entrada/salida, un microprocesador y los demás componentes que la conforman, sin embargo, a diferencia de una computadora, ésta no depende de extensiones para otras funciones, reduciendo el costo del sistema ya que utiliza una menor cantidad de placas, controladores y conectores para obtener la integración, conexión y programación de cada uno de los diferentes módulo (Ganazhapa, 2016).

Existen diversos SBC, para el desarrollo del proyecto se utilizó una placa “Arduino” la cual emplea una plataforma electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y un seriado de pines hembra, que permiten realizar las conexiones entre los diversos módulos y sensores integrados en el dispositivo de forma fácil. Dentro de la gama de los diversos modelos de Arduino, fue seleccionado el Arduino Nano por su tamaño

práctico reducido y por contar con los pines necesarios para realizar las conexiones necesarias.

El SBC Arduino Nano, cuenta con dimensiones de 4.5 x 1.8 cm, además de un microcontrolador, y 14 pines entrada/salida digital, sumado a la anterior, incluyen además 6 entradas analógicas, un cristal de 16 Mhz, un botón de reinicio y conexión a través de puerto mini-USB (Figura 6).

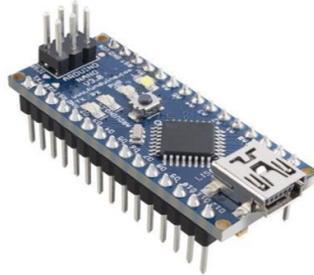


Figura 6. SBC Arduino Nano (Herrero, 2019).

Para realizar su programación, es necesario contar con el software llamado IDE (Integrated Development Environment), en conjunto con demás herramientas las cuales permiten al usuario escribir, depurar editar, grabar y cargar los códigos (también llamados Sketchs) necesarios para la funcionalidad del Arduino al proyecto. Este software se encuentra de forma libre y puede ser descargado directamente en la página oficial de Arduino para diversas plataformas de sistemas operativos.

Para realizar la medición de la temperatura y humedad se utilizó el módulo BME280 atmosférico (Figura 7) el cual integra los sensores de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica con precisión, un bajo consumo energético y un formato compacto.

Este tipo de sensor es utilizado para obtener los registros de temperatura y humedad con gran precisión, por lo que se utiliza para diversos dispositivos que requieren estas variables. Algunas de sus especificaciones se pueden mostrar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características del Sensor BME280.

Especificaciones Técnicas
Voltaje de operación: 1.8V - 3.3V
Rango de presión: 300 a 1100 hPa
Resolución 0.16 Pa
Presión Absoluta: 1hPa
Rango de Temperatura: 0.01 °C
Rango de Humedad Relativa: 0-100%
Precisión de HR: ± 3%
Frecuencia de Muestreo: 157 Hz(max.)

Para el funcionamiento del sensor, existen diversas librerías las cuales deben incluirse en el código general, para el proyecto se empleó la librería “cactus_io_BME280_I2C.h”.



Figura 7. Módulo BME280 con sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica (Herrero, 2019).

A fin de que el dispositivo llevara un registro del tiempo (hora y fecha) exacta se requirió un módulo DS3231 (tabla 2), el cual es un reloj electrónico que permite llevar el tiempo en las unidades temporales que empleamos de forma cotidiana, registrando segundos, minutos y horas, además de día, mes y año. El dispositivo cuenta con una entrada para batería auxiliar y mantiene la cuenta precisa del tiempo incluso cuando la energía es interrumpida (Figura 8).

El módulo de reloj (DS3231) emplea la librería “RTClib.h” desarrollada por Adafruit (2005).

Tabla 2. Características del módulo de reloj DS3231.

RTC Alta Exactitud
Exactitud de +-ppm operando a una temperatura de 0°C a +40°C
Cuenta con reloj DS3231 y memoria EEPROM I2C
Registro de los intervalos de tiempo (segundos, minutos y horas) y fecha (día, mes y año) con compensación de años bisiestos hasta el año 2100
Cuenta con una batería de respaldo



Figura 8. Módulo de reloj RTC DS3231 (Herrero, 2019).

Otro de los módulos importantes que se utiliza en el prototipo, es el lector de tarjeta SD (Secure Digital), en el cual se guardarán los datos que mida el sensor. Este módulo permite manejar una tarjeta de memoria microSD de manera que se puedan almacenar grandes cantidades de datos usando un microcontrolador como dispositivo de control (Figura 9). Este módulo utiliza la librería “SD.h”, para realizar la función de escritura y la lectura de datos.



Figura 9. Modulo Socket tarjeta SD (Herrero, 2019).

Y para alimentar todos los módulos acoplados, se utilizó un banco de baterías también llamado “Power Bank” (Figura 10). Este dispositivo cuenta con una batería de ión Litio conectado a un regulador de carga que alimenta la salida de 5V del puerto USB y que mediante un cable Micro USB proporciona energía a la placa Arduino Nano para cada módulo acoplado.



Figura 10. Power Bank, (Adata, 2001).

Por último, el sistema debe ser protegido de la intemperie, por lo que es necesario realizar una carcasa con las dimensiones que tiene el dispositivo con los módulos acoplados. Para ello se emplea un software de diseño e impresora 3D de filamentos de plástico.

8.2 Calibración

Al tener el dispositivo REMOTH terminado, se realizó una calibración durante tres días para comparar el funcionamiento de este con el dispositivo registrador de temperatura ONSET HOBO (2013), este último es un equipo comercial que registra la temperatura y humedad.

Para realizar la calibración el procedimiento consistió en colocar en un mismo lugar ambos equipos para determinar el tiempo de la duración de la batería del dispositivo REMOTH y los parámetros de temperatura y humedad en contra de los datos arrojados con el HOBO (Figura 11).



Figura 11. Prueba de funcionamiento del HOBO (izquierda) vs REMOTH (derecha).

8.3 Campaña de monitoreo y determinación del Índice ASV

Para obtener los datos del proyecto se implementó una campaña de monitoreo, esta se llevó a cabo sobre la Avenida Central (Figura 12), una de las principales vías de comunicación y movilidad de la ciudad, debido a que gran parte de la población que realiza sus actividades cerca de la zona centro de la ciudad debe transitar por esta vía, ya sea a través del transporte público, caminando o en vehículos particulares.

Para realización del muestreo, se eligieron tres medios de movilidad diferentes:

- Movilidad 1. Transporte público ruta 53(colectivo);
- Movilidad 2. Caminata sobre la Avenida Central;
- Movilidad 3. Transporte público ruta 01(minibús); y
- Movilidad 4. Vehículo particular.

La toma de datos comenzó a las 12:00 pm, este horario fue elegido debido a que la población se desplaza para realizar algunas de sus actividades diarias, además que los datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en Palacio Municipal (ubicada en el centro de la ciudad) registró que durante esas horas del día hay una mayor incidencia de los rayos del sol.

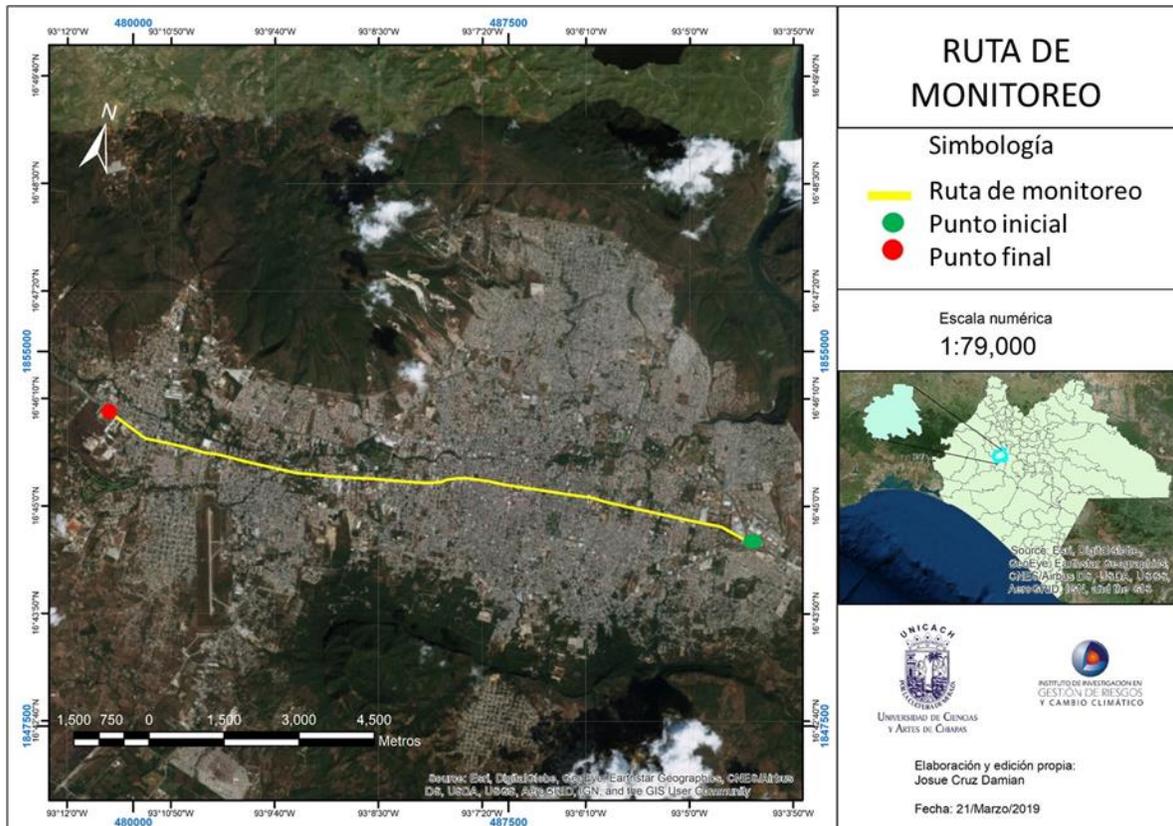


Figura 12. Ruta de monitoreo del proyecto.

Posteriormente se realizó el tratamiento y análisis de los datos obtenidos por el dispositivo por cada día, y cada tipo de sistema de transporte. Para obtener el Índice ASV usado por Nikolopoulo (2004), se utiliza la siguiente fórmula,

$$ASV = 0.049 Tem + 0.001 Sol - 0.051 V + 0.014 RH - 2.079$$

Donde ASV = Sensación de Voto Actual

Tem = Temperatura del aire (°C)

Sol = Radiación Solar (W/m²)

RH= Humedad Relativa (%)

V= velocidad de viento (m/s)

Para determinar este índice se sustituyen los valores por cada uno de los datos obtenidos en los puntos de muestreo. La evaluación del ASV considera que las condiciones de confort se dan cuando $ASV = 0$, sin embargo, se considera que entre $+0.5$ y -0.5 las condiciones son aceptables.

Además, para obtener cada punto de muestreo se programó la aplicación del GPS en un dispositivo móvil el cual toma cada uno de los puntos de medición dentro del muestreo en intervalos de 30 segundos, con el fin de posicionar cada dato tomado con la aplicación GPS con el valor de temperatura y humedad obtenido del registrador de temperatura.

9. RESULTADOS

9.1 Ensamble del Registrador Móvil de Temperatura y Humedad (REMOTH)

El siguiente esquema muestra las conexiones que resultaron para que el conjunto de módulos funcionase con la placa Arduino Nano alimentado por el banco de batería (Figura 13).

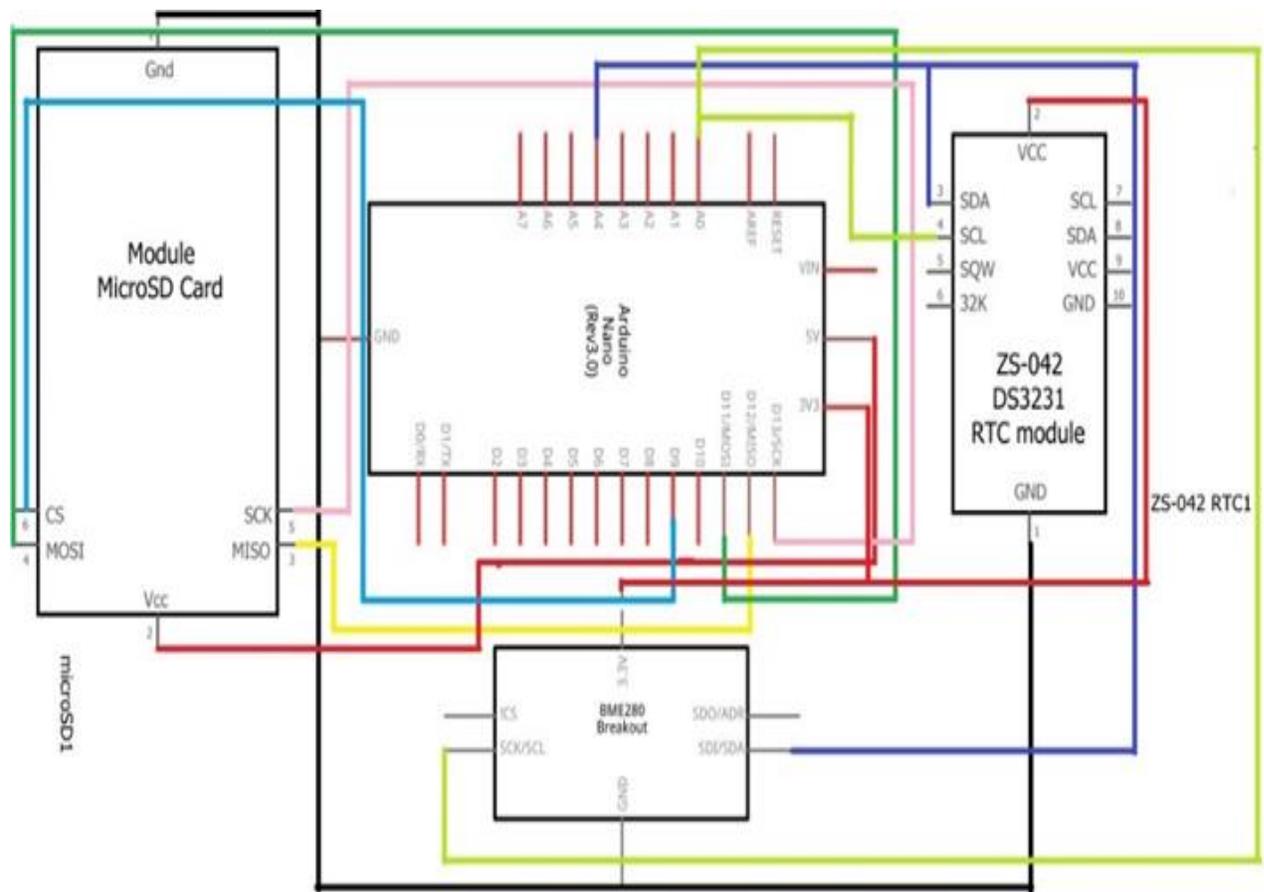


Figura 13. Diagrama de conexiones del dispositivo REMOTH.

El ensamble y montaje de las partes electrónicas se realizó sobre una placa fenólica perforada de 5x5 cm, esta tablilla es útil para armar los prototipos con una soldadura de circuitos y conexiones integrados.

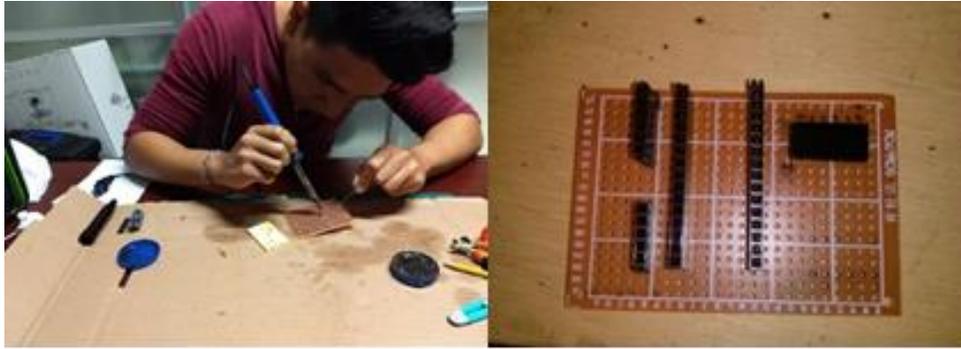


Figura 14. Montaje de los sensores sobre la placa fenólica.

Para darle un montaje modular se colocó una línea de pineras para dar más protección a los sensores y módulos, de tal modo que en caso de que ocurra algún corto, el desmonte sea más rápido y la sustitución de los mismos no afecte a la placa fenólica base. Además de buscar un acomodo y diseño más compacto de transportar (Figura 14).

9.2 Calibración

Al realizar esta prueba el funcionamiento de la batería empleada en el REMOTH fue de 24 horas continuas. La estimación de los datos de temperatura y humedad registrados presentados, para el caso de la temperatura fue de 0.5°C por arriba de aquellos obtenidos por el HOBO (Figura 15) mientras que para la humedad la diferencia entre ambos dispositivos varía un 3%, de manera que estas diferencias concuerdan con las estimaciones descritas por el fabricante del sensor, las cuales pueden ser de 0.1 a 1°C y un $\pm 3\%$ (Figura 16).

Por otra parte, para el almacenamiento de datos se utilizó una tarjeta microSD de 2Gb, de los cuales se consumió el 0.5% (10 MB) para el registro de los datos de muestreo por un día con intervalos de un minuto.

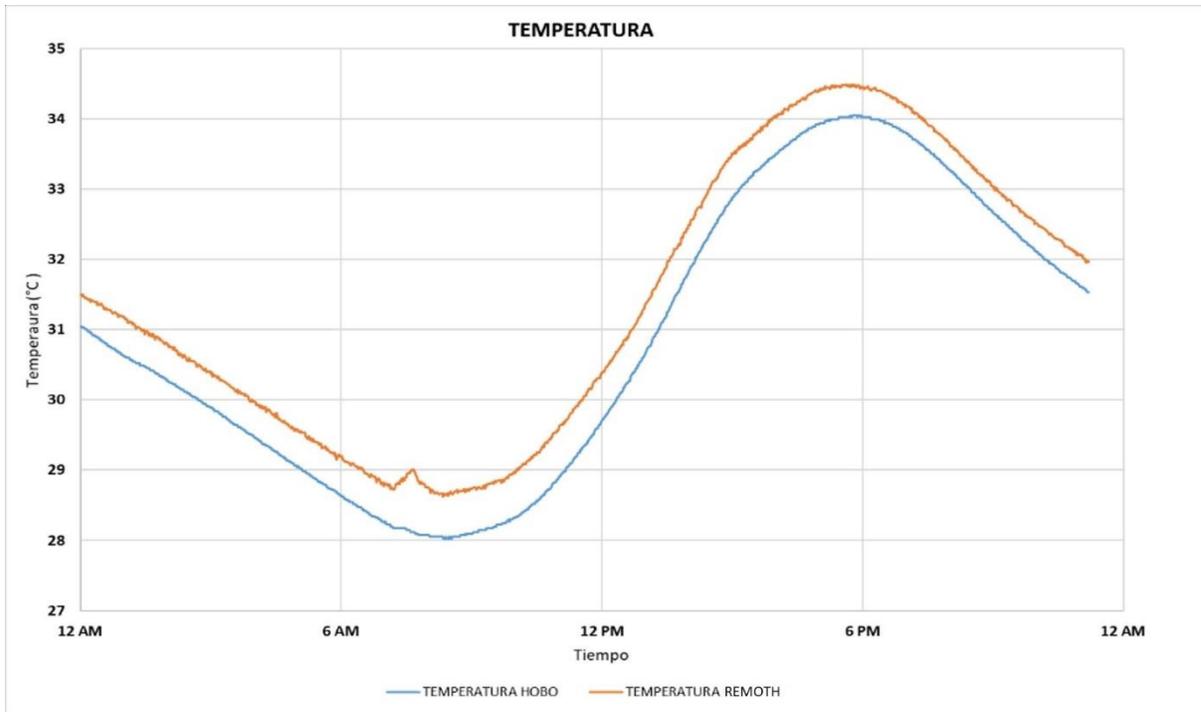


Figura 15. Gráfica de calibración de temperaturas entre el dispositivo REMOTH y HOBOT.

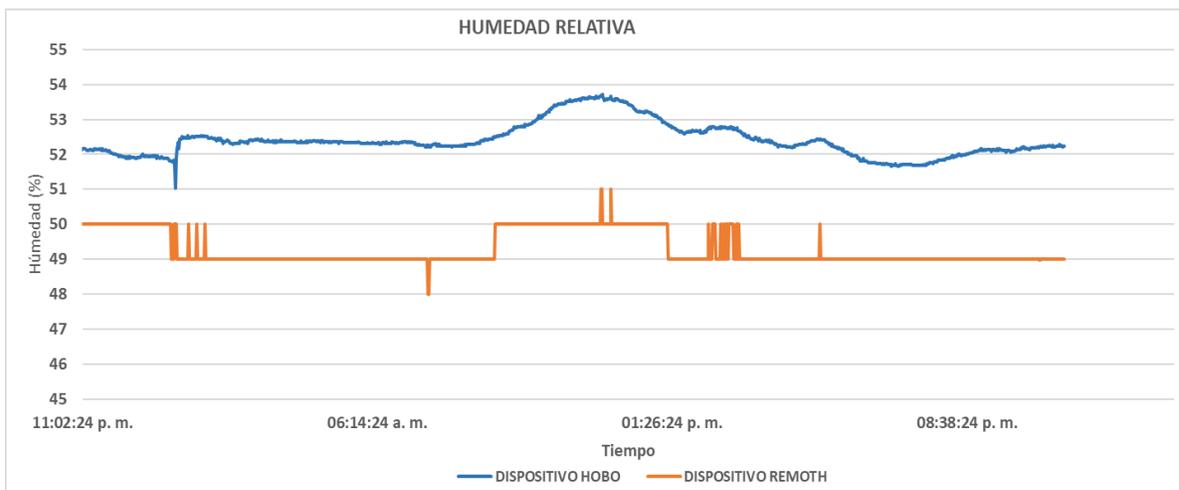


Figura 16. Gráfica de calibración de humedad relativa entre el dispositivo REMOTH y HOBOT.

9.3 Diseño de la carcasa

Como parte de los resultados, para proteger cada uno de los módulos del dispositivo se necesitó diseñar una carcasa resistente. Para realizar el diseño se utilizó el programa SketchUp, este software permite crear diseños en tercera dimensión que pueden ser posteriormente impresos en una impresora 3D.

En el programa se diseñó la caja que tuviera los accesos para insertar la memoria micro SD y conectar el banco de batería, además de una tapa en la parte superior de la caja con una abertura para que el sensor quedara expuesto y pudiese tomar los datos de la temperatura y humedad exterior (Figura 17).

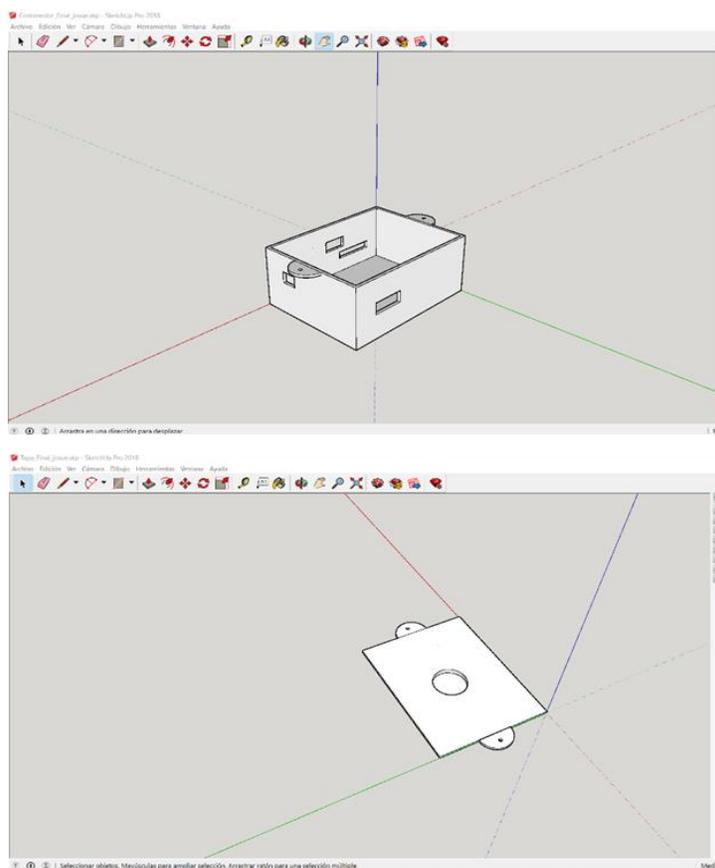


Figura 17. Diseño de la carcasa usando el software SketchUp. Arriba: forma de la carcasa. Abajo tapa de la carcasa.

Después de tener cada uno de los diseños completos se procedió a la impresión en 3D, que se usa a través de filamentos de plástico denominado PLA (polímero de ácido láctico). Este material es versátil para crear diferentes objetos para diversos fines (Figura 18).



Figura 18. Impresora y filamento para la impresión de la carcasa.

Al terminar la impresión se tiene el diseño de la carcasa y se procede a instalar cada uno de los módulos para tener el dispositivo REMOTH como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Montaje sobre la carcasa diseñada.

Habiendo calibrado el dispositivo REMOTH y diseñado la carcasa final, se procedió a realizar la campaña de monitoreo.

9.4 Campaña de monitoreo

Acorde a la metodología planteada, la campaña de monitoreo se realizó por cuatro semanas, del 7 de enero al 02 de febrero del 2019, iniciando a las 12:00 PM y teniendo una duración promedio de una hora y media para cada uno de los tipos de movilidad a estudiar. La dirección de medición se realizó con sentido oriente a poniente de la ciudad, donde se obtenían los datos de temperatura y humedad de los diferentes tipos de movilidad dentro de la ciudad (transporte público, caminata y vehículo particular) mediante el dispositivo REMOTH. En la tabla 3, se muestra el promedio de los valores de temperatura y humedad, obtenidos durante los recorridos; de igual forma se presenta la radiación solar y velocidad del viento promedio obtenidos de la estación meteorológica instalada en el Palacio Municipal de la ciudad.

Tabla 3. Valores promedio de cada variable por tipo de movilidad.

TIPO DE MOVILIDAD	FECHA	TEMP (°C)	HUMEDAD (%)	RADIACION SOLAR (W/m ²)	VEL. VIENTO (m/s)
MOVILIDAD 1	07/01/2019	35	45	761	1
	08/01/2019	33	48	453	5
	09/01/2019	30	51	276	5
	10/01/2019	32	50	668	7
	11/01/2019	34	43	742	1
	12/01/2019	34	49	738	2
	13/01/2019	33	48	756	1
MOVILIDAD 2	14/01/2019	28	53	317	3
	15/01/2019	28	57	727	5
	16/01/2019	0	0	0	0
	17/01/2019	31	48	751	4
	18/01/2019	31	45	768	1
	19/01/2019	32	44	722	1
	20/01/2019	25	51	664	6

MOVILIDAD 3	21/01/2019	33	38	787	1
	22/01/2019	32	41	777	2
	23/01/2019	35	42	765	2
	24/01/2019	29	56	627	6
	25/01/2019	30	55	540	5
	26/01/2019	30	52	789	1
	27/01/2019	31	52	684	8
MOVILIDAD 4	28/01/2019	37	35	791	2
	29/01/2019	40	33	802	3
	30/01/2019	37	35	774	1
	31/01/2019	39	35	781	1
	01/02/2019	40	31	788	2
	02/02/2019	37	39	792	1
	03/02/2019	37	38	792	1

Como se puede apreciar en la tabla anterior, de los 28 días de muestreo el día 16 enero, correspondiente a la movilidad caminata no tiene una recopilación de datos, debido a que uno de los pines de la memoria microSD se desconectó, por lo tanto, aunque todo el dispositivo funcionaba, no tomó los datos del muestreo de ese día.

Considerando este único dato faltante, fueron 27 los días efectivos de muestreo, representando un 96.4% del total de las muestras obtenidas. A partir de estos datos, se procede a describir el análisis de cada tipo de movilidad durante la semana de muestreo correspondiente a ellas.

Como otro dato importante, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019) las condiciones meteorológicas que predominaron durante los días de muestreo fueron frentes fríos y sistemas anticiclónicos (CONAGUA, 2019) es importante mencionar que la campaña de monitoreo fue realizada durante la temporada invernal, por lo que se presentaron trece frentes fríos en el país de los cuales siete llegaron hasta el estado de Chiapas. A continuación, con base a los datos recabados, se obtuvieron los siguientes resultados por tipo de movilidad durante la semana.

9.4.1 Movilidad 1

El recorrido de la ruta 53 se realizó por siete días (07 al 13 de enero), con una duración promedio de muestreo de una hora con nueve minutos (Figura 20), con un total de 35 paradas que son características de esta ruta. Esta movilidad presenta algunas desviaciones de la Avenida Central como se observa en la Figura 21. La velocidad del vehículo fue de aproximadamente 56.7 km/h durante el recorrido de todos los días de muestreo. Así también el número de personas que se transportaban dentro de la unidad eran de 10 a 13 pasajeros en promedio.



Figura 20. Monitoreo en transporte público Ruta 53.

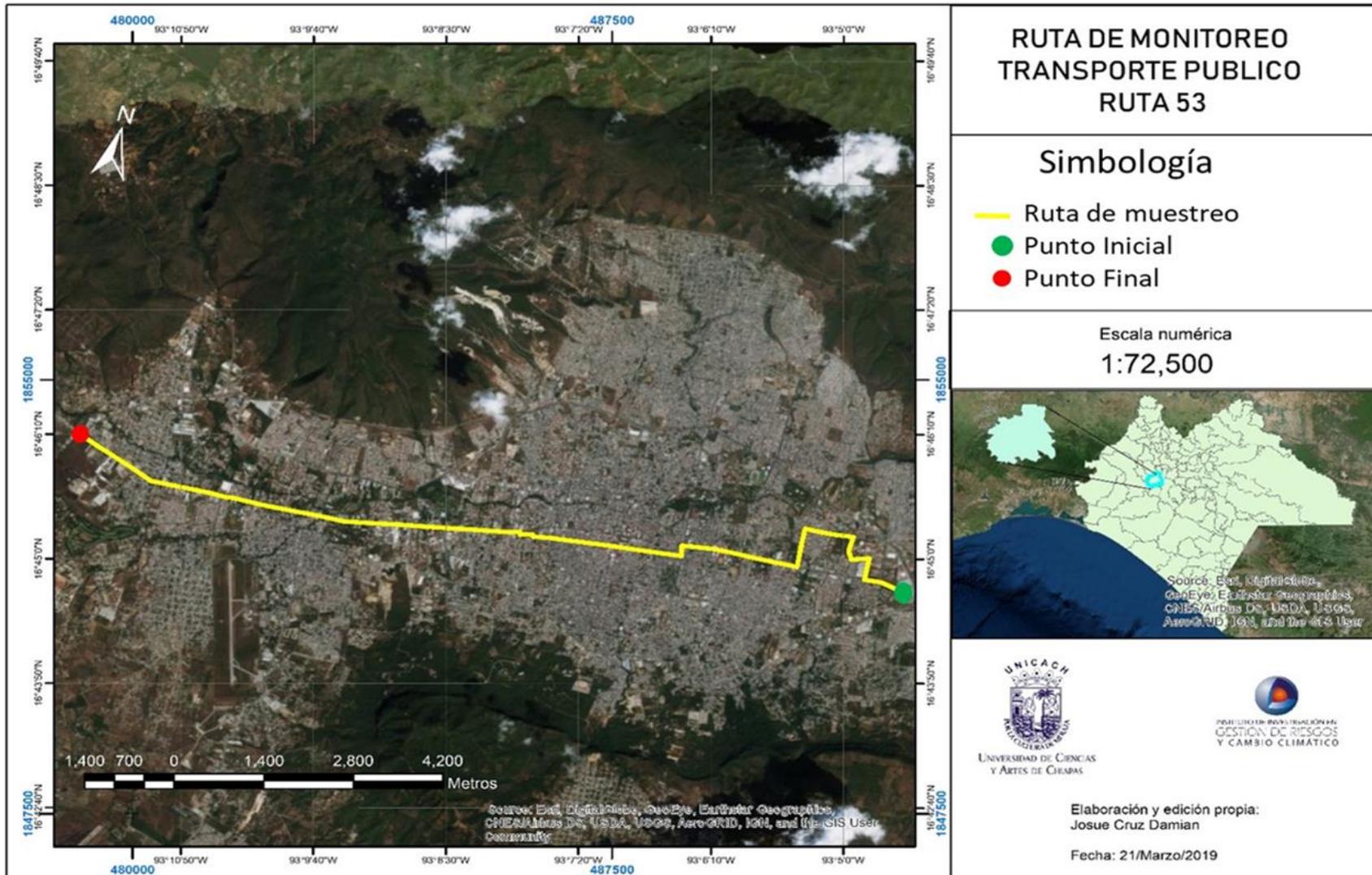


Figura 21. Recorrido de la Ruta 53 en la ciudad.

Las gráficas que se muestran a continuación (Figura 22), presentan las condiciones de temperatura y humedad (obtenidas del dispositivo REMOTH), así como las variables de radiación solar y velocidad del viento (obtenidas por la estación meteorológica).

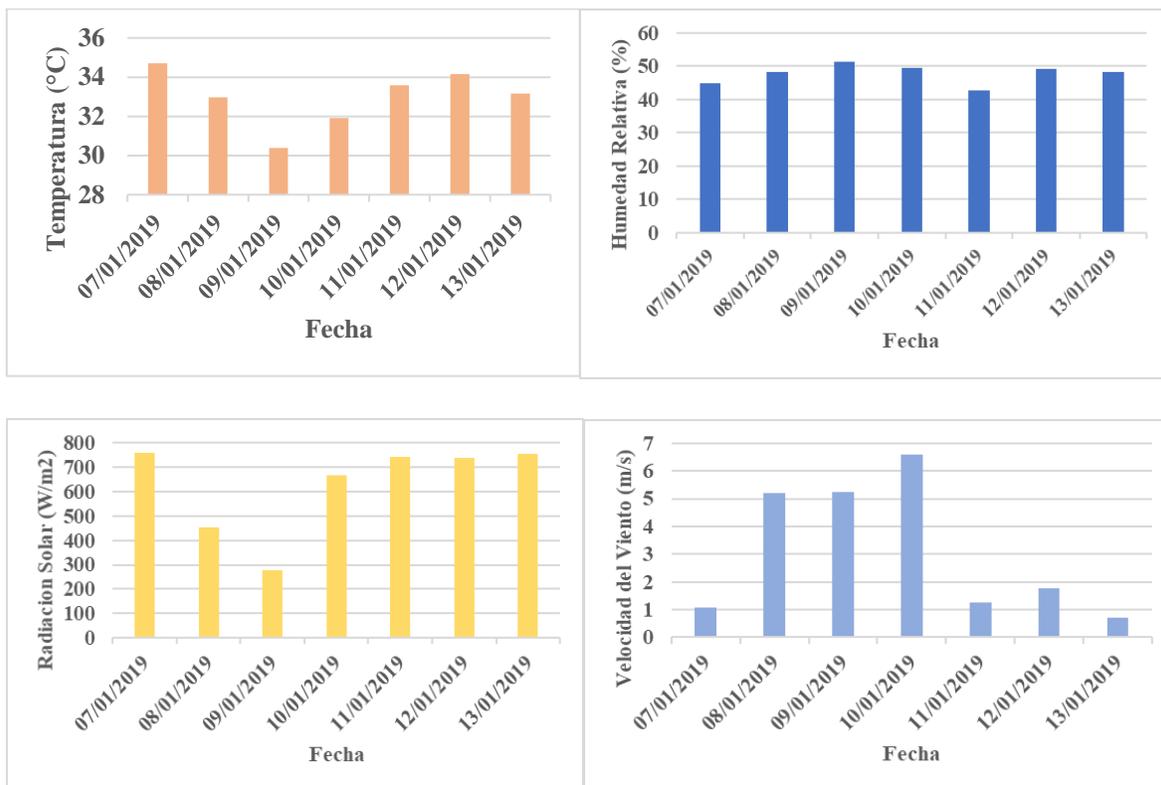


Figura 22. Graficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 1.

Como se observa en las graficas anteriores los días en los cuales se presentaba el paso de un frente frio favorecía a un descenso de la temperatura. Es importante señalar que las condiciones meteorológicas juegan un rol importante en el compartamiento de las temperaturas, ya que pueden presentarse días muy soleados o días nublados, e incrementando o reduciendo la temperatura ambiental.

El día 8 de enero se presentó sobre el país una circulación anticiclónica (Figura 23) que modificó los valores de temperatura provocando un incremento de la temperatura ambiental para Tuxtla Gutiérrez.

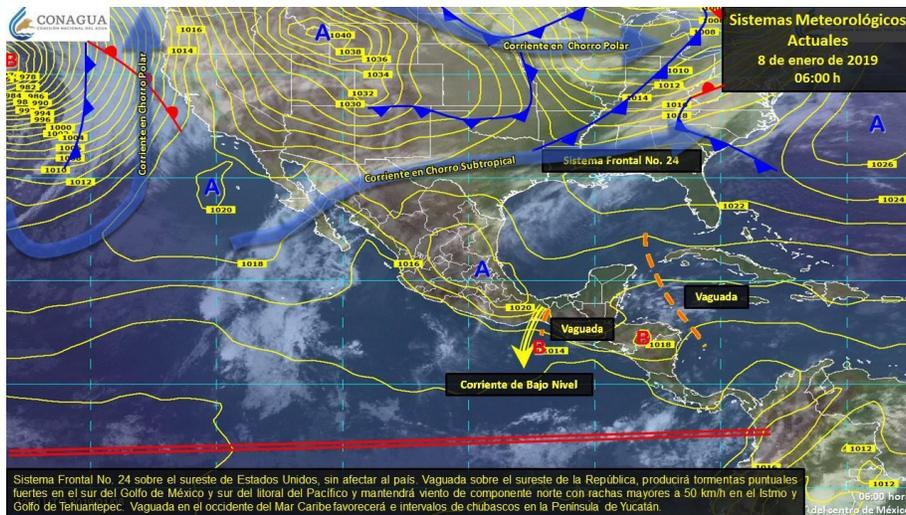


Figura 23. Imagen de satélite del día 8 de enero.

Por otra parte, el día 9 de enero las condiciones fueron completamente diferentes debido a la entrada del frente frío número 25, que provocó un descenso en las temperaturas según la CONAGUA (Figura 24).

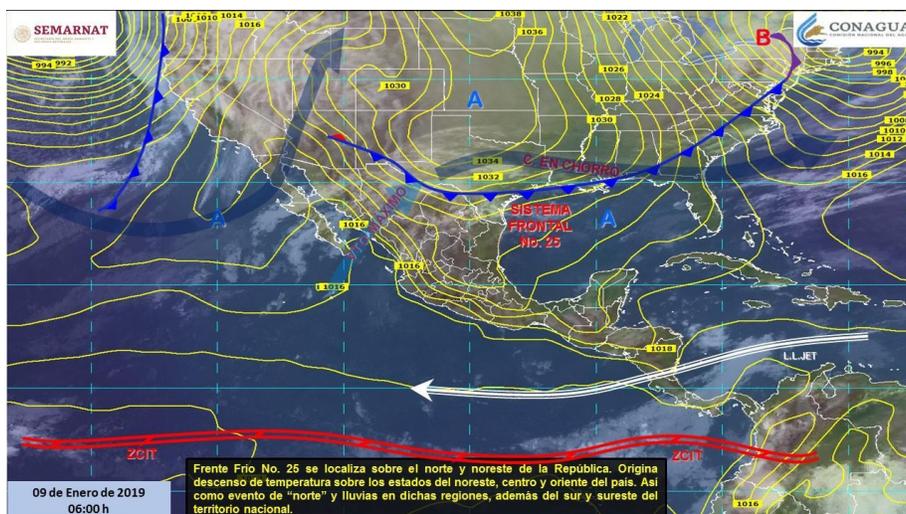


Figura 24. Imagen de satélite del día 9 de enero.

El día 10 de enero sobre el centro del golfo de México se extendió el frente frío número 25, generando nublados algunas lluvias, las temperaturas se mantuvieron de templado a fresco (Figura 25).

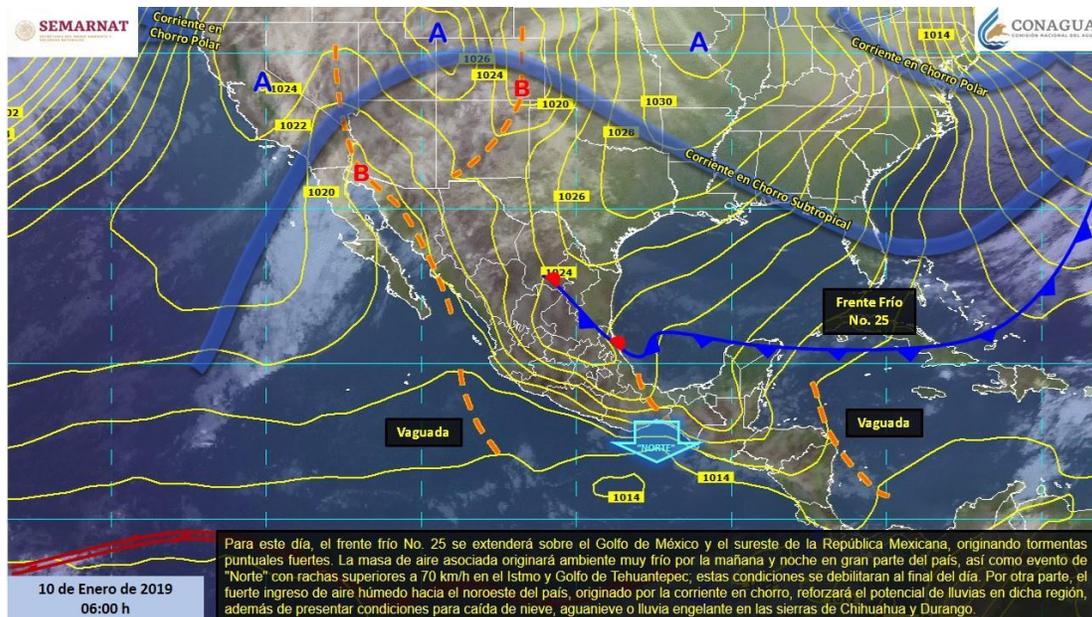


Figura 25. Imagen de satélite para el día 10 de enero.

Para esta semana, los días con cambios en la temperatura fueron el 08, 09 y 10 de enero, debido a la diferencia en las condiciones meteorológicas presentes. Los demás días del monitoreo presentaron condiciones muy similares. El vehículo utilizado fue diferente a cada día, en todos los casos las rutas tienen diferentes modelos de vehículos, algunas de ellas tenían más ventanas que otras, permitiendo, así, una mejor circulación del aire dentro de la unidad, además en las zonas del centro y donde había mayor cantidad de personas (como en la colonia Plan de Ayala) se registraba un aumento de las temperaturas hasta 2 °C dentro del transporte, debido principalmente a la hora de salida de los alumnos de las escuelas.

Para el día 8 de enero al iniciar el recorrido de la ruta la temperatura se mantuvo en 35°C hasta llegar a zonas con mayor vegetación como el parque Bicentenario y Caña Hueca, donde se observó su disminución para los 33°C. Esta temperatura se mantuvo hasta casi el final del recorrido, excepto por la presencia de otra zona con vegetación que hizo disminuir una vez más la temperatura, permaneciendo así entre los 29 y 31°C (Figura 26).

En el día 9 de enero durante los primeros registros del día, la temperatura varió entre los 29 y 31 °C. Con el avance hacia zonas más habitadas y con poca vegetación, estas se mantuvieron iguales. Llegando a la zona centro, la temperatura registrada fue de 32 grados. Ya cerca de las zonas con mayor vegetación como el Parque Bicentenario y Caña Hueca ocurrió una disminución de 0.5 a 1 °C, y hasta el final del recorrido, se mantuvieron dentro del rango de los 29 a los 31 °C (Figura 27).

Para el día 10 de enero durante los primeros registros la temperatura se encontraba entre los 17 a 29 °C, conforme avanza la unidad sobre la colonia Las Palmas al ingresar más personas a la unidad, la temperatura llega a aumentar hasta los 33 °C hasta llegar a la zona centro, donde tiene un pico de 33 °C. Continuando con el recorrido, la temperatura se mantuvo entre los 31 y 33 °C hasta el final del recorrido (Figura 28).

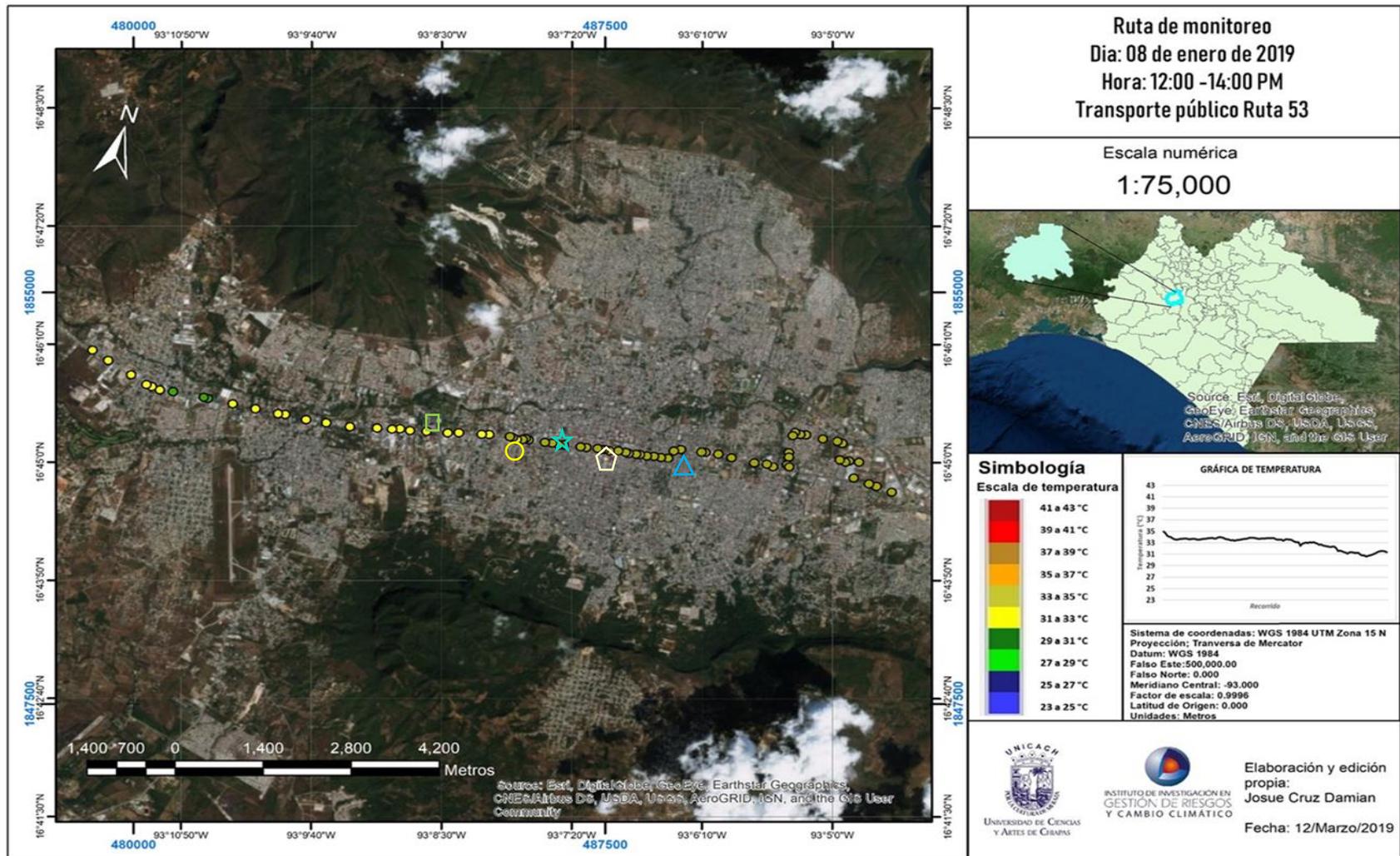


Figura 26. Mapa recorrido día 8 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

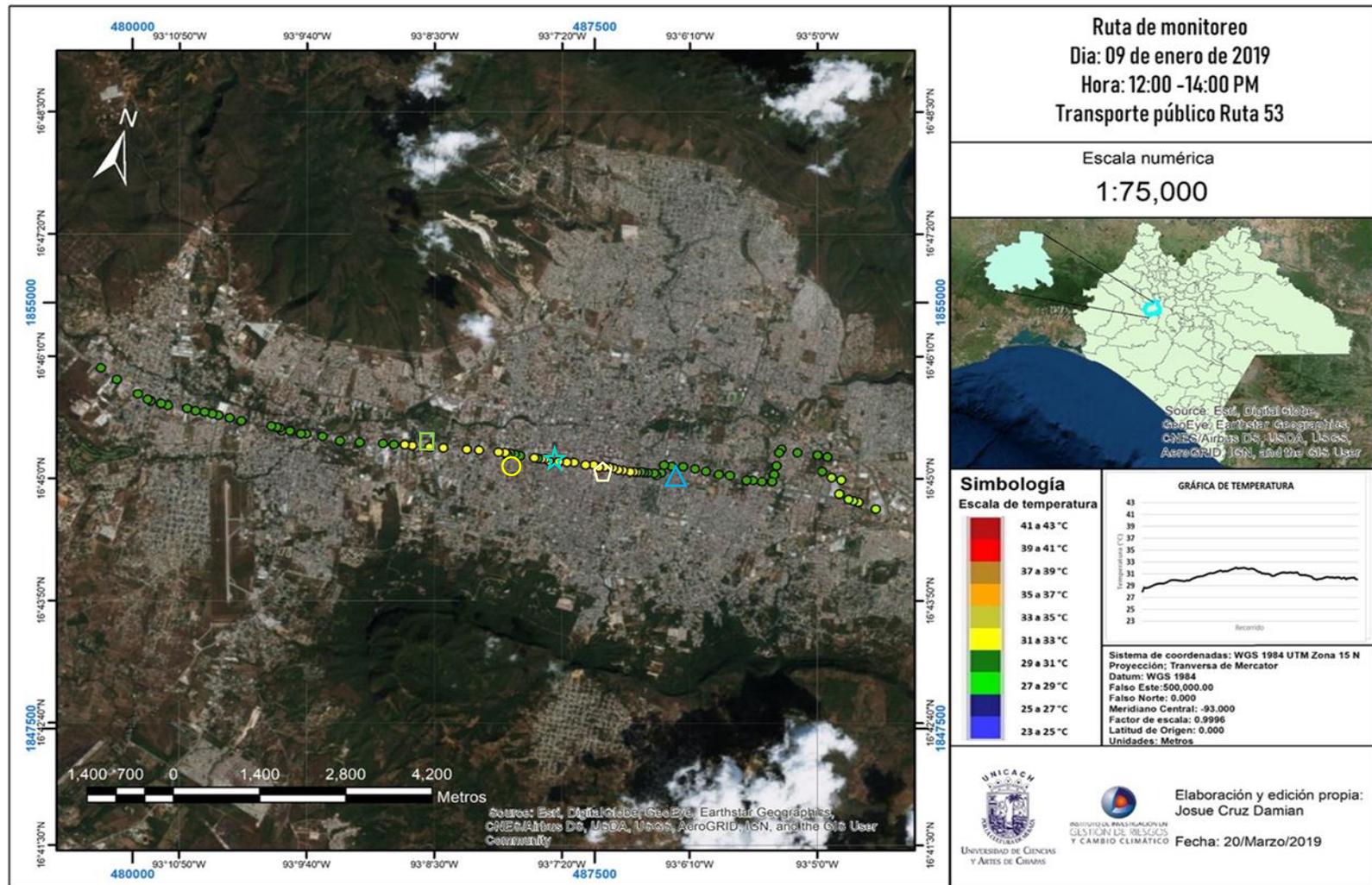


Figura 27. Mapa del recorrido del día 9 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

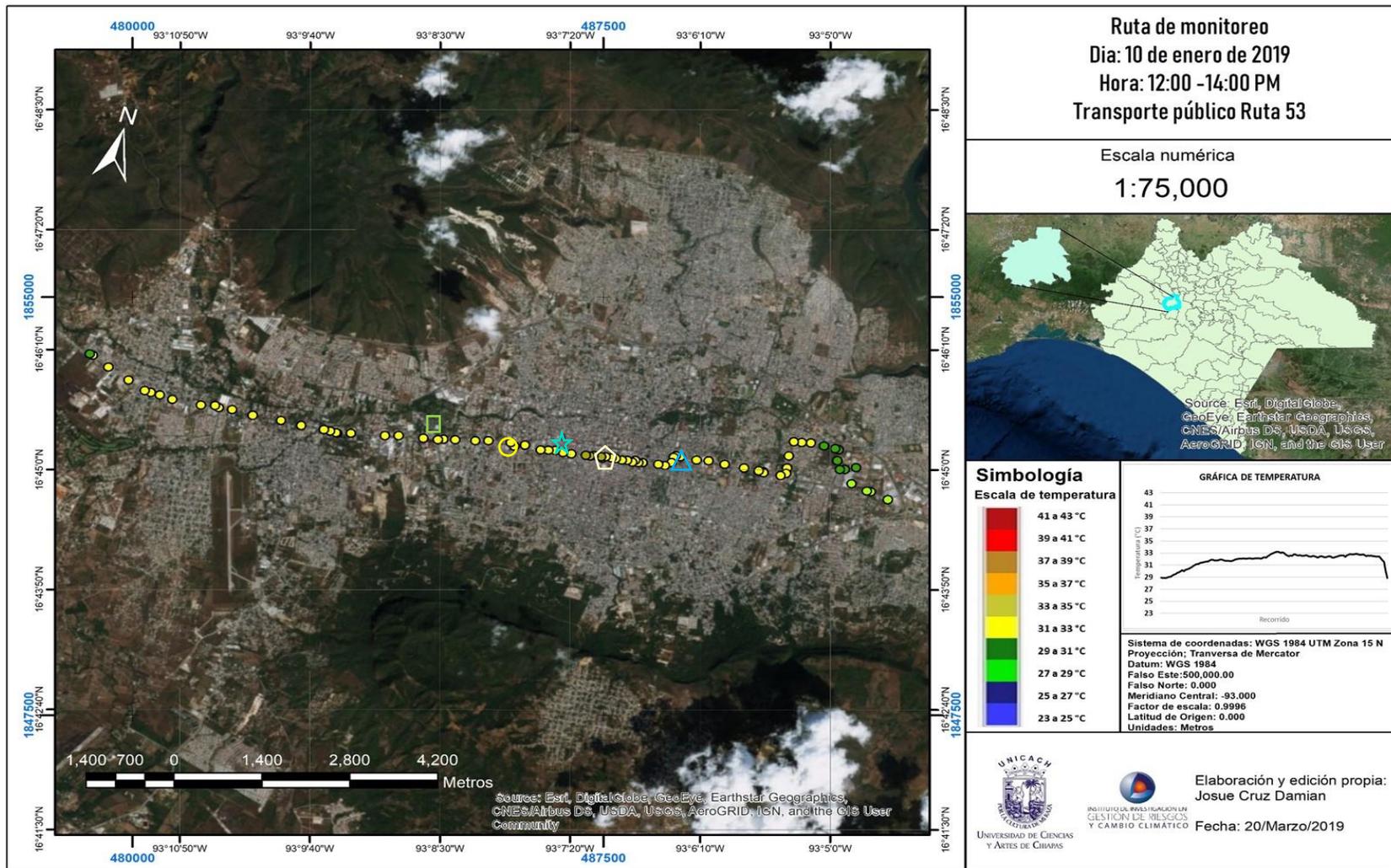


Figura 28. Mapa del recorrido del día 10 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

9.4.2 Movilidad 2

La campaña de monitoreo en la modalidad caminata (Figura 29) ocurrió entre los días 14 y 20 de enero. Durante el recorrido, el promedio de tiempo de los días de muestreo fue de una hora con quince minutos. La sección de la Avenida Central que se recorrió en la caminata fue más corta debido a que el tiempo de toma de datos tenía que ser similar al de los otros medios de transportación empleados en esta investigación. El trayecto de la caminata se inició en el parque 5 de mayo y finalizó frente a la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) en dirección oriente a poniente, comprendiendo un total de 6 km como se muestra en la Figura 30. La velocidad promedio fue de 4.9 km/h y los datos de temperatura que se obtuvieron se representan a continuación.



Figura 29. Monitoreo movilidad caminata.

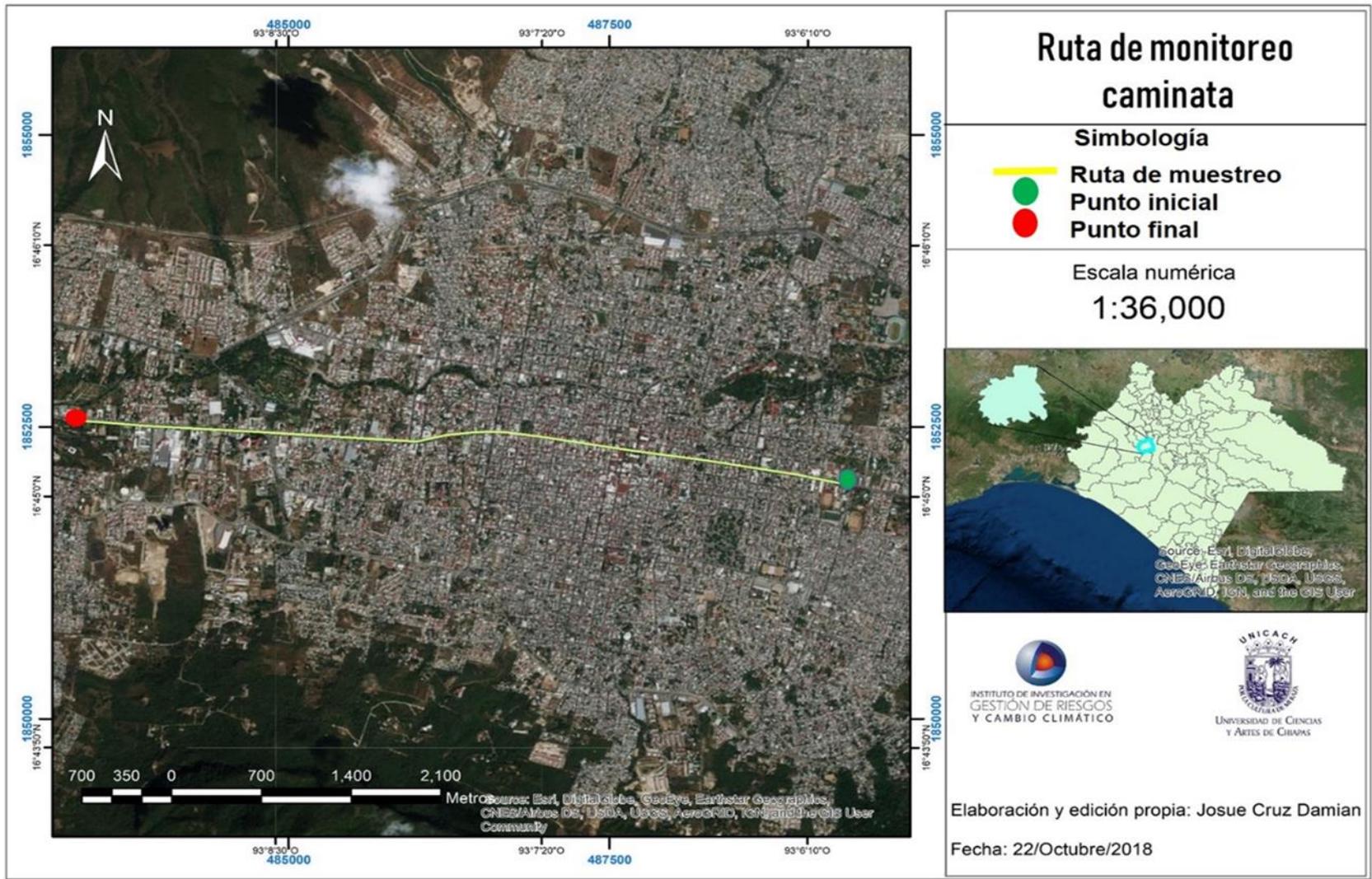


Figura 30. Ruta de monitoreo en la modalidad caminata.

Las gráficas de los valores obtenidos durante el monitoreo del tipo de movilidad 2 se presentan en la Figura 31.

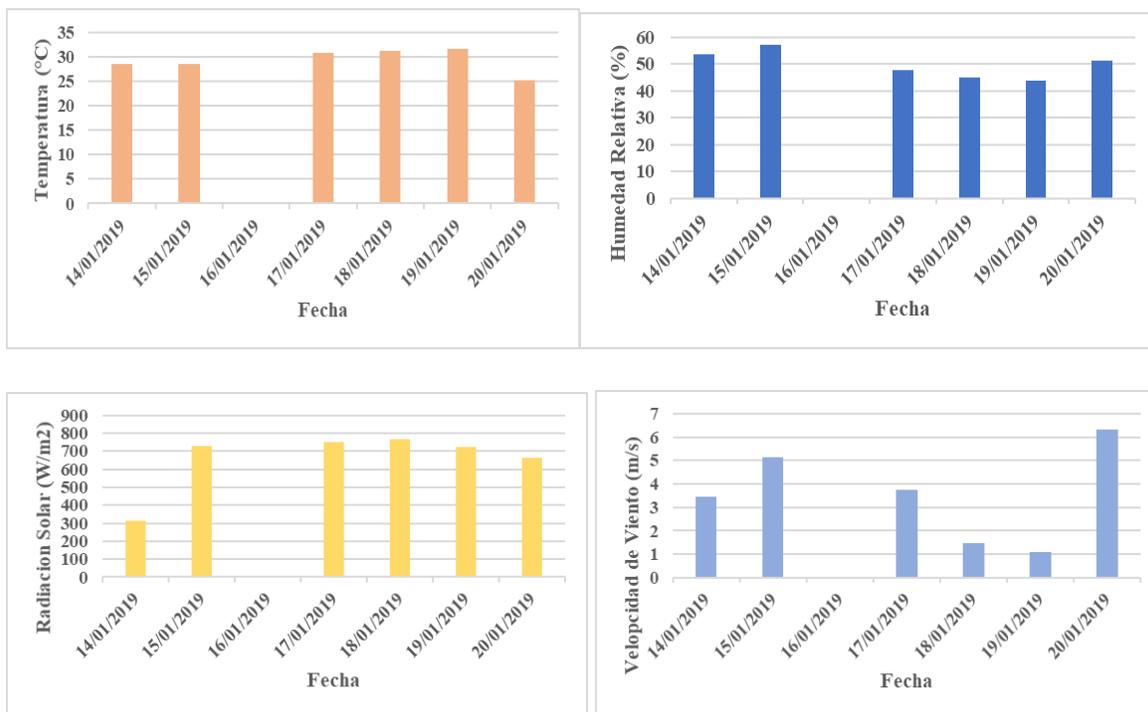


Figura 31. Gráficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 2.

Las gráficas anteriores muestran las variaciones de los días en los cuales se presentaba el paso del frente frío 26 al inicio de la semana y la entrada del frente frío 29 al final de esta, lo que favorecía a un descenso de la temperatura en estos días.

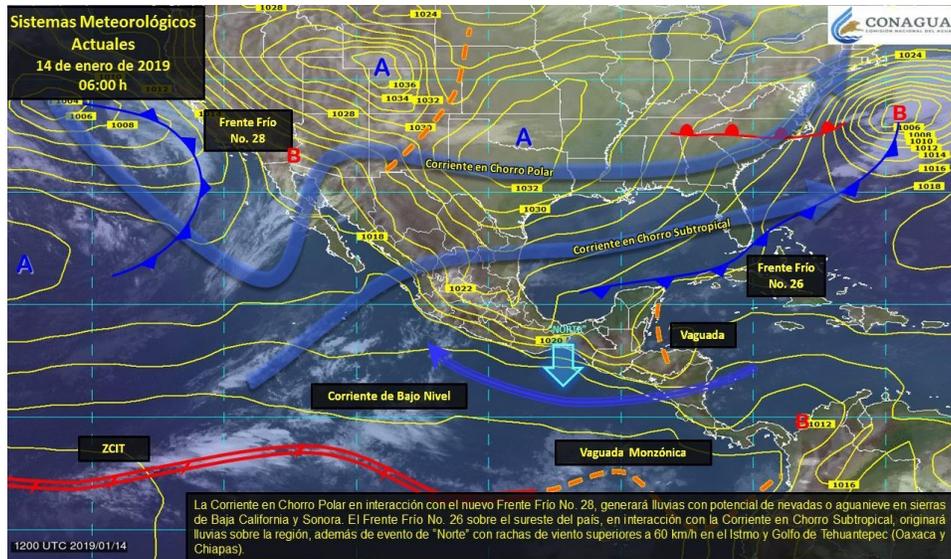


Figura 32. Imagen de satélite para el día 14 de enero.

Según datos de la CONAGUA, el día 14 de enero se observó la presencia del frente frío número 26, el cual trajo consigo un descenso en las temperaturas y cielo nublado en la ciudad (Figura 33).

Por su parte, el día 20 de enero, las condiciones meteorológicas presentes indican un marcado descenso de temperatura entre 6 a 9°C, provocados por el frente frío número 29 que se extiende sobre la región sureste según la CONAGUA (Figura 33).

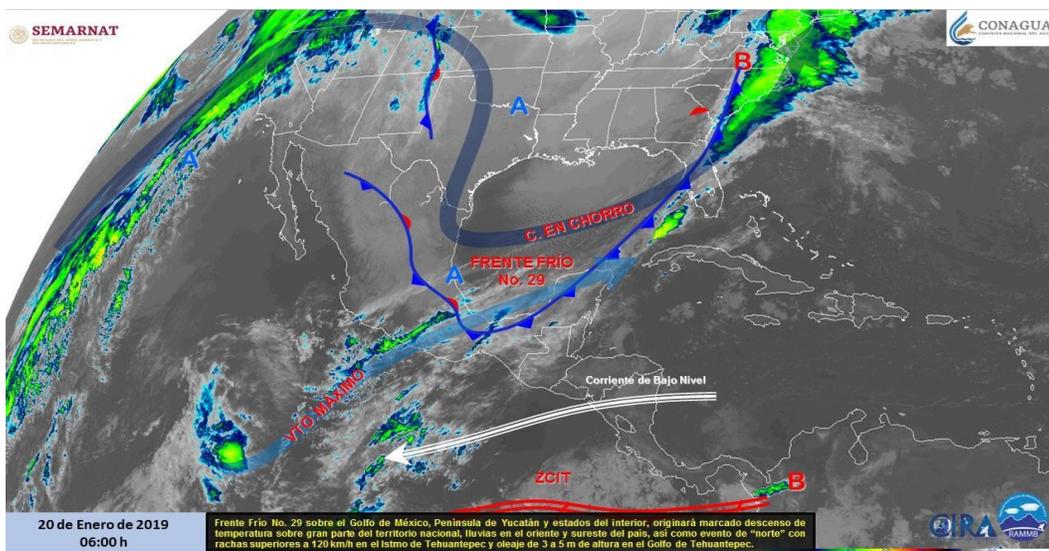


Figura 33. Imagen de satélite para el día 20 de enero.

El mapa correspondiente al día 14 de enero (Figura 34) muestra cómo las temperaturas oscilaron entre los 26 a 32°C. Al inicio del recorrido la temperatura era de 30°C, al continuar la temperatura subió a los 32°C a la altura del Parque 5 de Mayo, al continuar avanzando la temperatura sobre la zona centro se mantuvo entre los 29 y 31 °C, al llegar al parque de la Marimba la temperatura disminuyó a los 27°C, y al llegar al parque Caña Hueca, la temperatura se mantuvo 0.5 °C menos con respecto a al parque de la Marimba.

Para el día 20 de enero (Figura 35) la variación de la temperatura fue mínima con respecto a otros días, las temperaturas variaron entre los 23 a 27 °C. Al comienzo del muestreo, en el parque 5 de mayo la temperatura oscilaba entre los 25 y 27 °C, disminuyendo hasta los 23°C al final del recorrido.

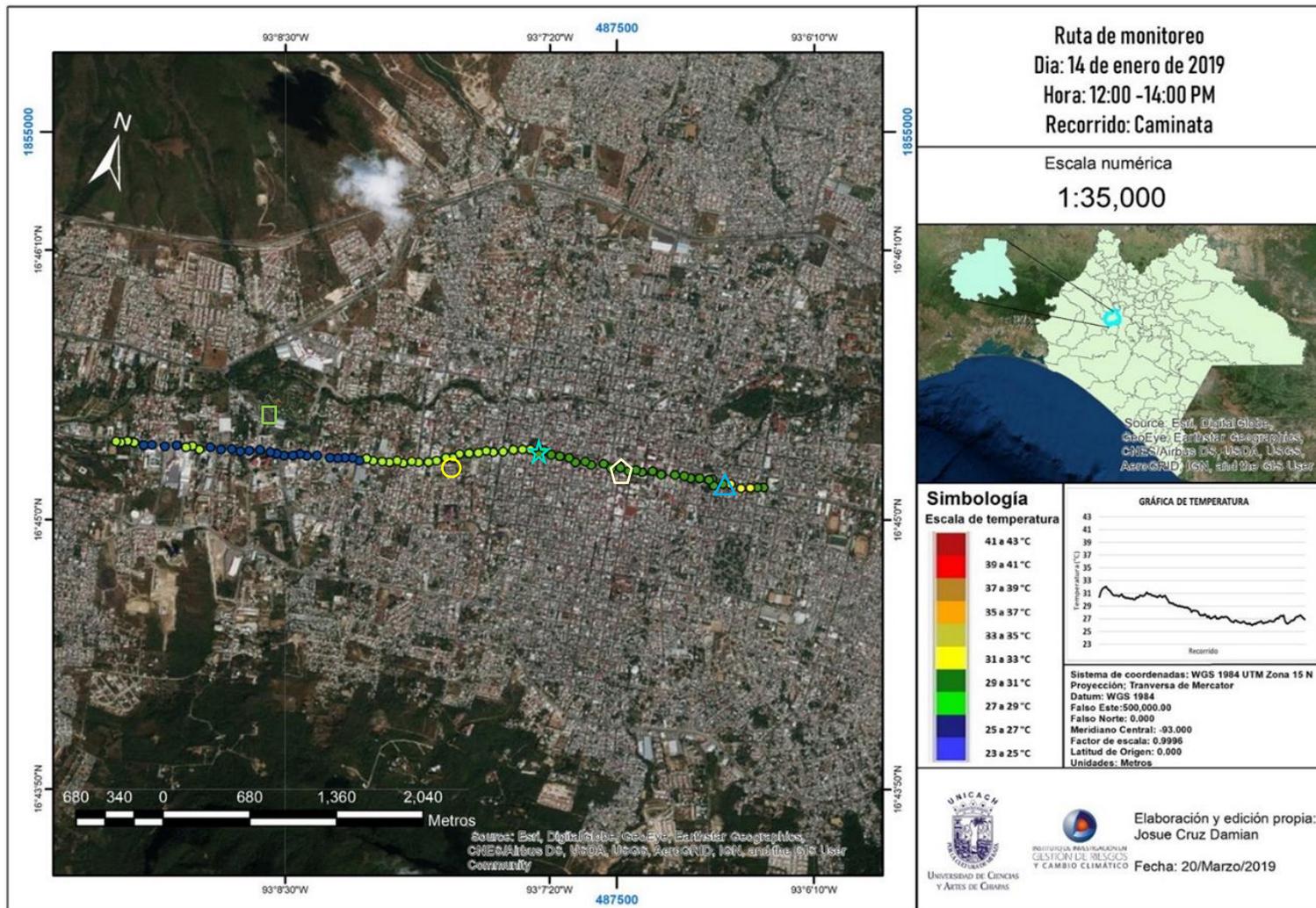


Figura 34. Mapa del recorrido para el día 14 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

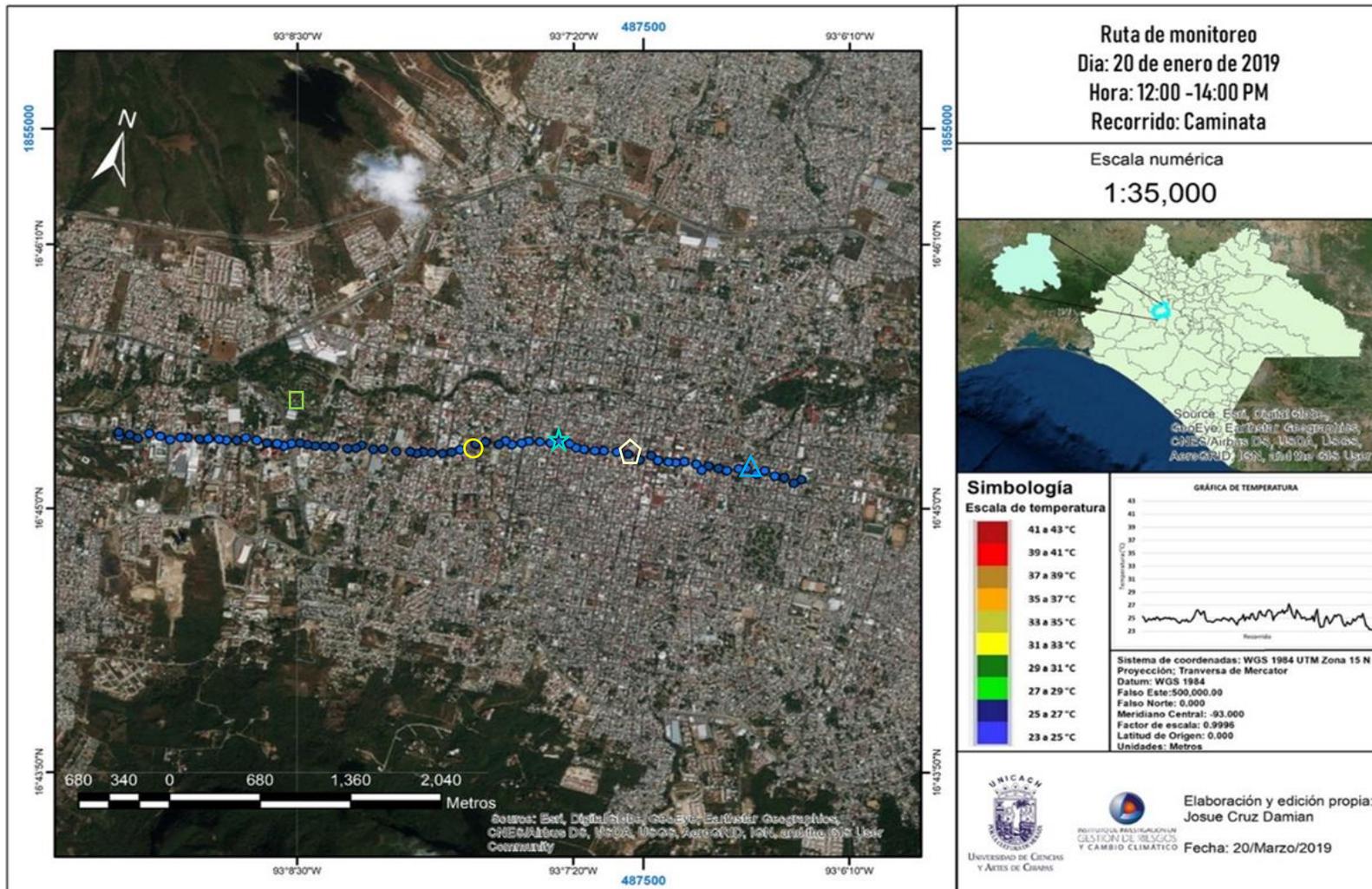


Figura 35. Mapa del monitoreo para el día 20 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

9.4.3 Movilidad 3

La semana de muestreo en la Ruta 01 del transporte público municipal de Tuxtla Gutiérrez ocurrió entre los días 21 y 27 de enero (Figura 36). El tiempo promedio de muestreo fue de una hora, con un total de 31 paradas aproximadamente. El recorrido de la Ruta 01 se realizó sobre la Avenida Central, y el trayecto completo totalizó 13.35 km. La velocidad del transporte en promedio fue de 48.08 km/h durante los recorridos de la semana. La cantidad de personas que abordaban la unidad era de 45 personas aproximadamente. Los datos obtenidos se presentan en los siguientes mapas.



Figura 36. Monitoreo en transporte público Ruta 01.

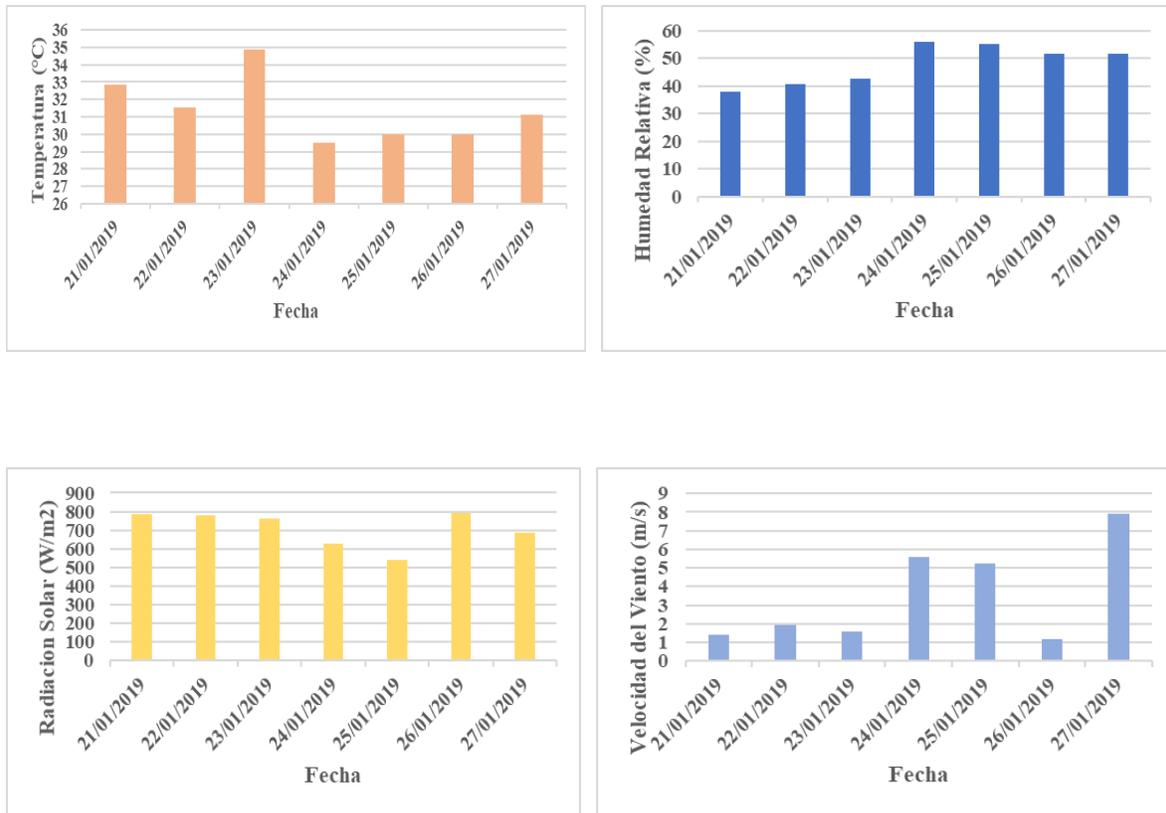


Figura 37. Gráficas de monitoreo durante la semana de la movilidad 3.

Las gráficas presentadas en la Figura 37 muestran el comportamiento de las variables medidas dentro de la unidad, durante la semana hubo presencia de un sistema anticiclónico y un frente frío, los demás días se mantuvieron en condiciones estables. A continuación, se mencionan las condiciones meteorológicas para los días 22, 23 y 24.

Según los pronósticos de la CONAGUA, el día 22 de enero reportó la presencia de una circulación anticiclónica (Figura 38) sobre la región sureste del país, modificando los valores de temperatura entre 3 a 8 °C con relación a los valores normales de temperatura, modificando la sensación de calor dentro de la unidad.

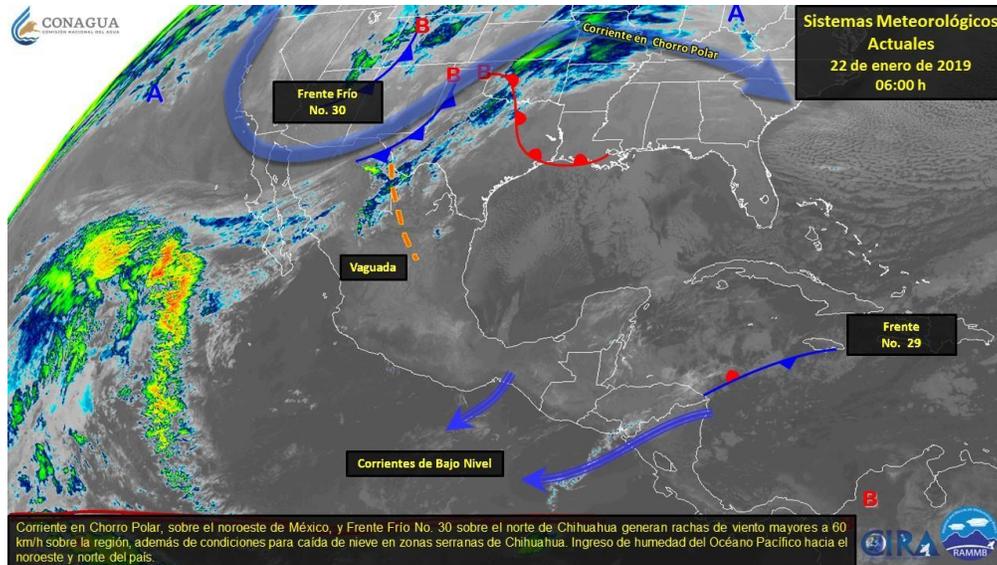


Figura 38. Imagen de satélite para el día 22 de enero.

Para el día 23 de enero, las condiciones de estabilidad se mantuvieron teniendo un ligero incremento en la temperatura para este día, y por la parte norte del país comienza la entrada del frente frío número 30 (Figura 39).

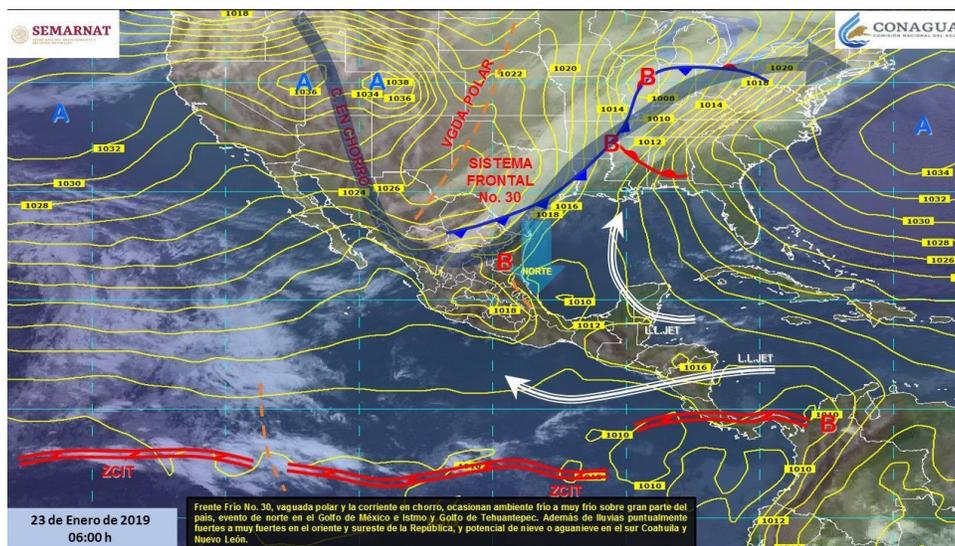


Figura 39. Imagen de satélite para el día 23 de enero.

Por otra parte, el día 24 de enero según información de la CONAGUA, se extendió sobre la región una masa de aire frío asociada al Frente Frio No.30, como se muestra en la Figura 40, lo cual provocó la presencia de vientos del norte y una disminución en la temperatura máxima de 2 a 4 °C en relación a los días anteriores.

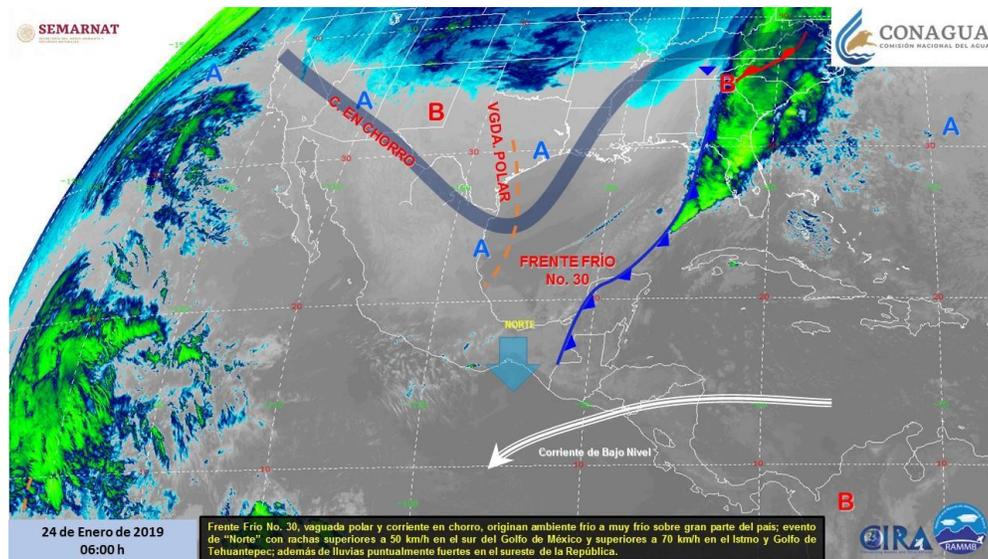


Figura 40. Imagen de satélite para el día 24 de enero.

A continuación, se presentan la descripción y los mapas referentes a los días 22 y 24 de enero, estos días se eligieron por la presencia de un sistema anticiclónico y la presencia de un frente frío.

Como se muestra en la Figura 41 correspondiente al día 22 de enero, la temperatura durante el recorrido se mantuvo entre los 33 y 35 °C, pero los puntos más alejados de la zona centro presentaron una disminución de la temperatura de hasta 2 grados aproximadamente. Cerca del parque Caña Hueca, la diferencia de temperatura con respecto al centro fue de casi 4 °C, disminuyendo aún más hasta el último punto de muestreo. Como se aprecia la temperatura normalmente disminuye en las zonas lejanas al centro y también donde hay mayor vegetación.

El día 24 de enero al iniciar el muestreo (Figura 42) la temperatura se encontraba entre los 25 y 27 °C, llegando posteriormente hasta los 29 °C, Cerca de la zona centro y alrededores se registraron temperaturas entre 29 y 31 °C, bajando nuevamente cerca del Parque Morelos

Bicentenario; en frente al Parque Caña Hueca se registró un nuevo aumento, debido a la cantidad de personas que se encontraban dentro del transporte público y la cantidad de vehículos que había en esa sección de la ciudad. Al pasar esta sección de la ruta, la cantidad de personas dentro del vehículo disminuye, y el tráfico se vuelve un poco más fluido, lo que hace con que las temperaturas se mantengan entre los 29 y 31 °C.

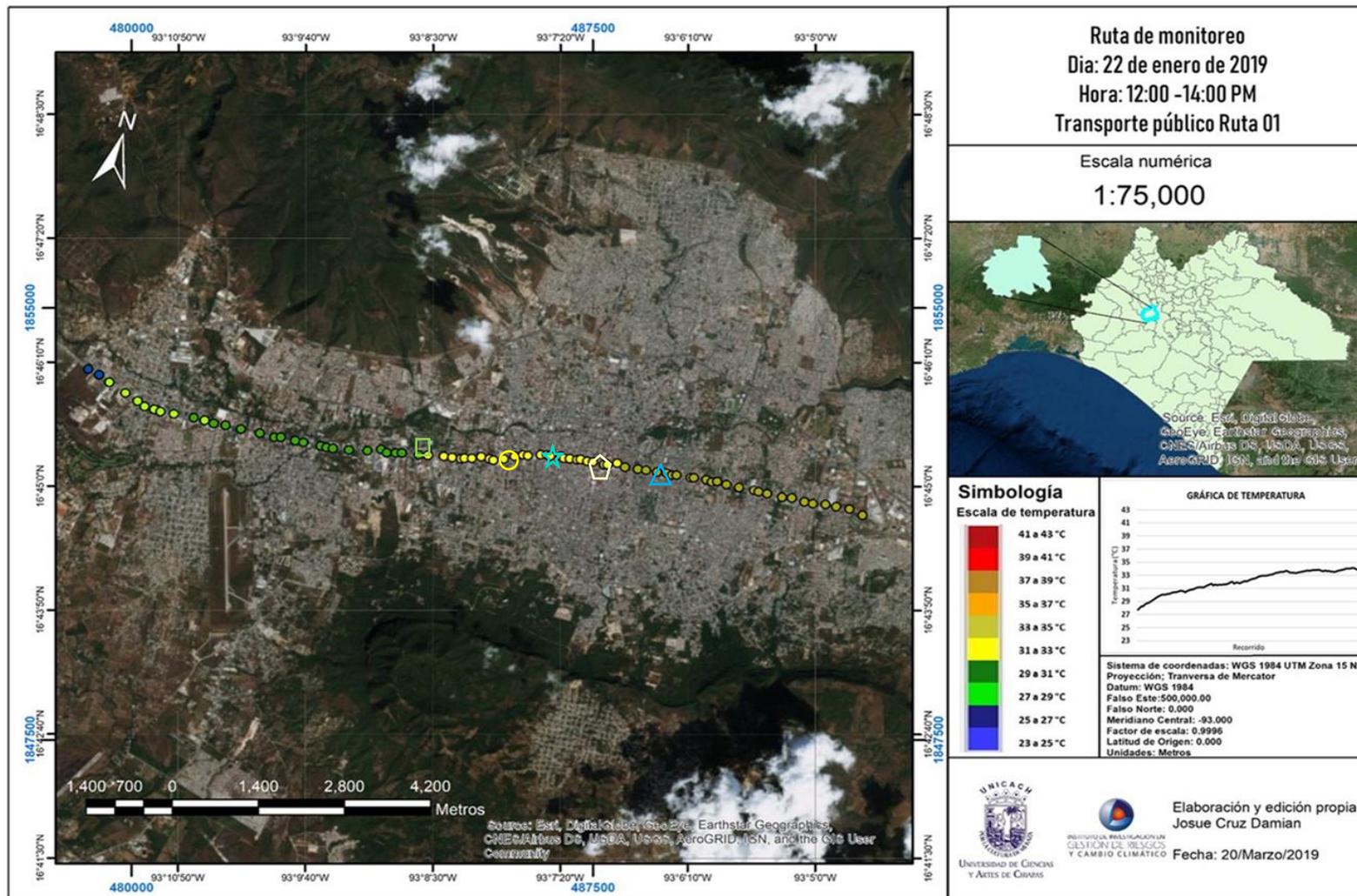


Figura 41. Mapa del recorrido para el día 22 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

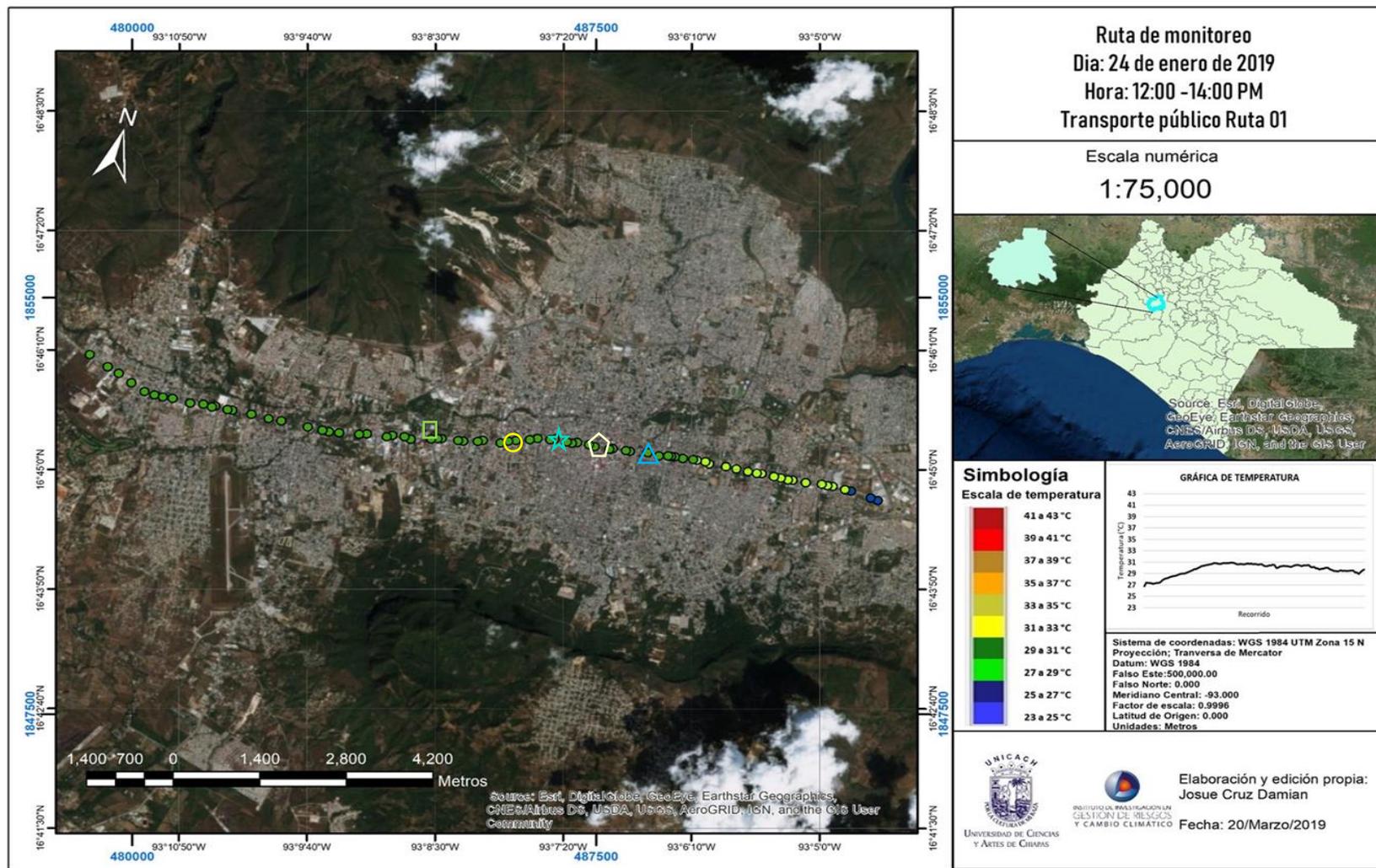


Figura 42. Mapa del recorrido para el día 24 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

9.4.4 Movilidad 4

El monitoreo comprendió los días 28 de enero al 03 de febrero del 2019. El medio de transporte utilizado fue un coche particular (Chevrolet Matiz color blanco); las ventanas se mantuvieron abiertas durante el recorrido para tener una circulación de aire dentro del mismo y no usar el sistema de aire acondicionado, ya que eso cambiaría las condiciones internas del vehículo para el muestreo (Figura 43). La ruta inició frente a la Plaza Ámbar y terminó en el CBTIS 233, atravesando la ciudad de oriente a poniente sobre toda la avenida principal de la ciudad como se establece en el mapa de la ruta original (Figura16). La distancia total fue de 13.6 km. La velocidad promedio fue de 52.3 km/h, obtenida con la aplicación durante los días de muestreo. Los datos que se obtuvieron se presentan en los siguientes mapas.



Figura 43. Vehículo para ruta de monitoreo en la movilidad 4.

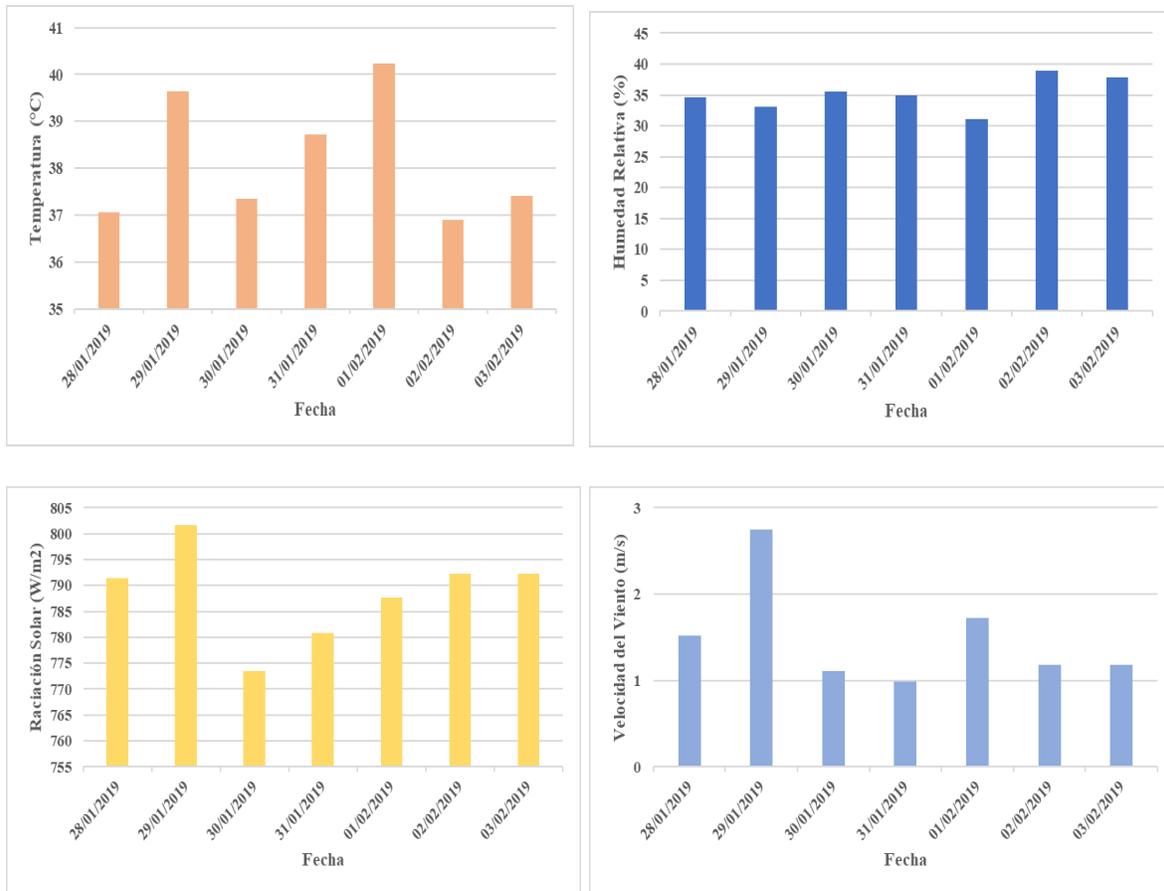


Figura 44. Gráfica de variables registradas durante la semana 4 de monitoreo.

Las gráficas (Figura 44) anteriores muestran los valores obtenidos durante la semana de monitoreo. Como dato importante durante el lapso de registro de datos, el estado tuvo la presencia del frente frío 32 y un sistema de alta presión en sobre el Golfo de México.

De acuerdo con la CONAGUA, el día 29 de enero se registró la presencia del frente frío número 32 sobre el país, pero este sistema no afectó la región sureste y en Chiapas no hubo un descenso significativo de las temperaturas, solo un aumento en los vientos provenientes del norte (Figura 45)



Figura 45. Imagen de satélite para el día 29 de enero.

Para el día 30, el frente frío número 32 se extiende sobre el oriente del Golfo de México, este presenta una variación de entre 1 a 2 °C durante su paso por el estado, presentando un ambiente templado con poca nubosidad (Figura 46).



Figura 46. Imagen de satélite correspondiente al día 30 de enero.

Por su parte el día 31 el frente frío 32, se alejó de la región por lo que las temperaturas no presentarían mayor variación, entre 1 a 2 °C (Figura 47). Para el día 01 de febrero se presentó sobre la región circulación anticiclónica aumentando la temperatura media de 1 a 2 °C con respecto al día anterior según información de la CONAGUA.

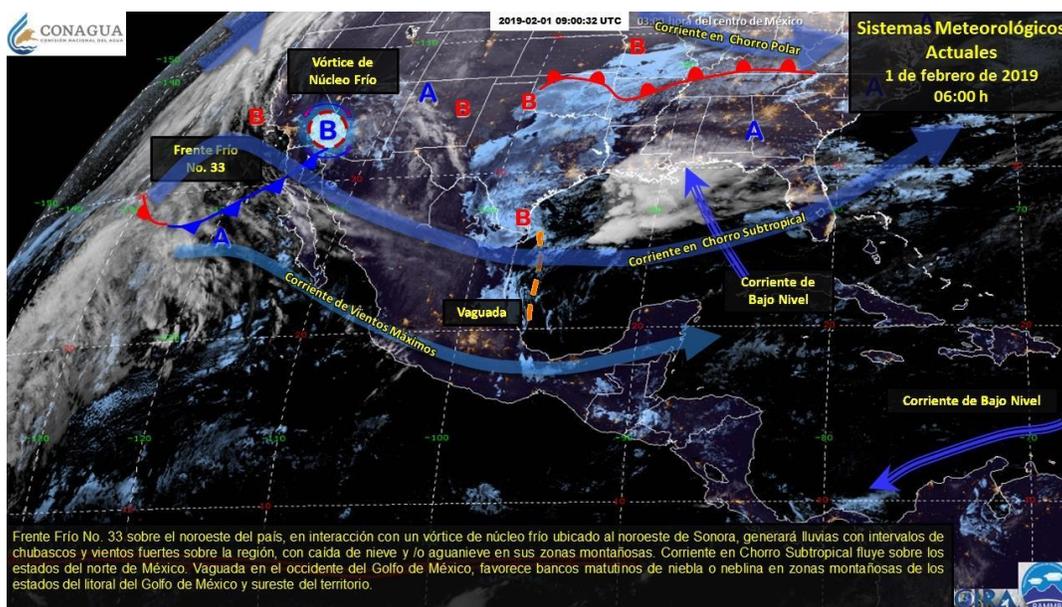


Figura 47. Imagen de satélite correspondiente a las condiciones meteorológicas del día 01 de febrero.

Al iniciar el muestreo el día 29 de enero (Figura 48) la temperatura registrada estaba entre los 35 y 37 °C, y conforme el vehículo avanzó en dirección al Parque 5 de mayo se observó un incremento de hasta 2°C. Al acercarse a la zona centro las temperaturas que se registraban variaban entre 39 y 41°C y se observó un congestionamiento debido a un bloqueo que obligó que se alterase un poco la ruta del muestreo. Los vehículos fueron desviados a la cuarta oriente y después a la 1ª norte. La acumulación de vehículos y las condiciones atmosféricas presentes para ese día, hicieron que la temperatura llegara hasta los 43°C, manteniéndose constante hasta el Parque Caña Hueca, donde disminuyó a 40°C. Entre el Parque Caña Hueca y a la entrada de la Colonia Plan de Ayala se registró una disminución de 1°C, y de este punto hacia el CBTIS 233 la temperatura disminuyó de 39 a 37 °C.

Para el día 31 de enero, al iniciar en Plaza Ámbar y hasta el Parque 5 de mayo la temperatura varió entre 35 a los 37 °C. Ya en el centro de la ciudad la temperatura ascendió hasta los 41 °C, manteniéndose así hasta el final del muestreo (Figura 49).

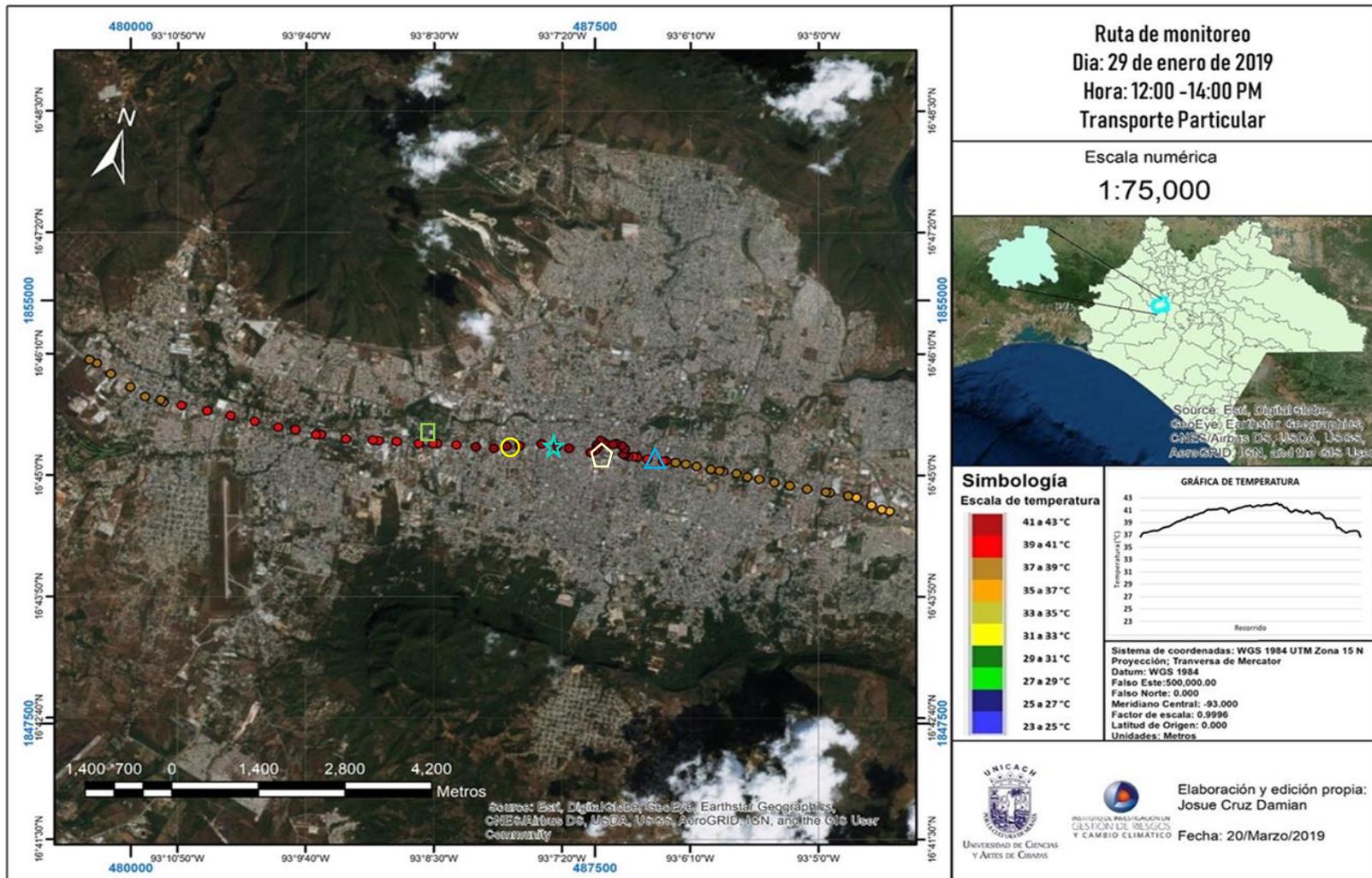


Figura 48. Mapa del recorrido del día 29 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

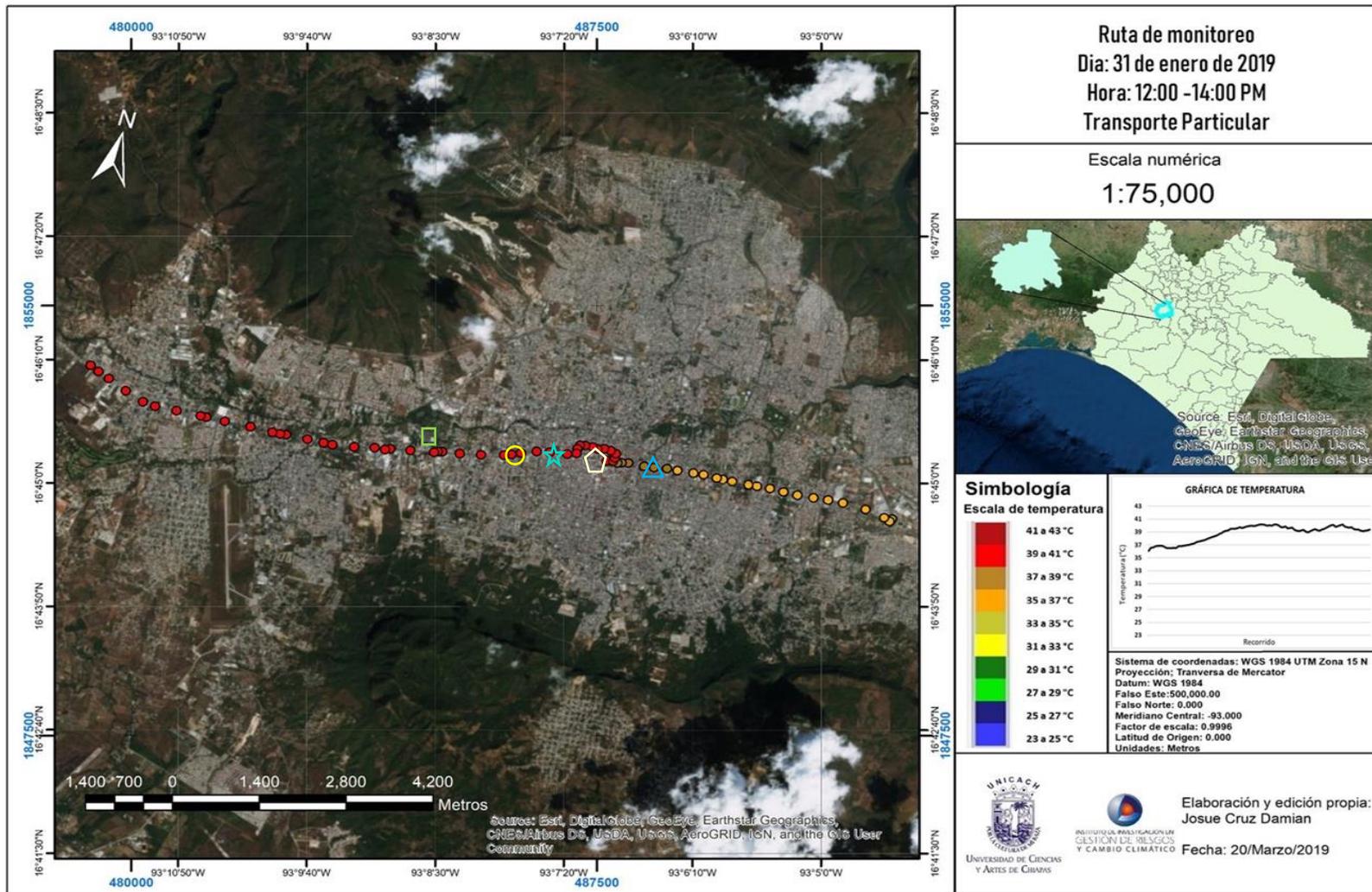


Figura 49. Mapa del recorrido del día 31 de enero. Se señala el Parque 5 de Mayo (▲), Parque Central (△), Parque de la Marimba (★), Parque Morelos (○), y el Parque Caña Hueca (□).

Como se puede observar, durante la campaña de monitoreo las condiciones meteorológicas con la presencia de frentes fríos y sistemas anticiclónicos provocaban un ascenso o descenso de la temperatura dentro de los vehículos o durante la caminata, aunque también los días en los cuales se presentaba algún tipo de evento social (marchas o protestas), las rutas se debían modificar debido al tráfico que estas generaban.

Una vez obtenidos los valores promedio de cada uno de los diferentes tipos de movilidad por semana se procedió a realizar el cálculo del índice ASV para cada tipo de movilidad.

9.4.5 Determinación del Índice ASV

Como se planteó en la metodología, el cálculo del índice ASV es el de sustituir las variables en la fórmula desarrollada por Nikolopoulo (2004). A continuación, se presentan la tabla con los valores ASV promediados para cada día en el cual se realizó el muestreo:

Tabla 4. Promedio de índice ASV por día

Tipo de movilidad	Fecha	Promedio de Temperatura. (°C)	Promedio de Humedad Relativa (%)	Promedio Radiación Solar (W/m ²)	Promedio Velocidad del Viento (m/s)	Promedio de ASV
Movilidad 1	07/01/2019	35	45	761	1	0.96
	08/01/2019	33	48	453	5	0.40
	09/01/2019	30	51	276	5	0.14
	10/01/2019	32	50	668	7	0.51
	11/01/2019	34	43	742	1	0.84
	12/01/2019	34	49	738	2	0.93
	13/01/2019	33	48	756	1	0.94
Movilidad 2	14/01/2019	28	53	317	3	0.20
	15/01/2019	28	57	727	5	0.58

	16/01/2019	0	0	0	0	-2.08
	17/01/2019	31	48	751	4	0.66
	18/01/2019	31	45	768	1	0.77
	19/01/2019	32	44	722	1	0.75
	20/01/2019	25	51	664	6	0.21
Movilidad 3	21/01/2019	33	38	787	1	0.78
	22/01/2019	32	41	777	2	0.71
	23/01/2019	35	42	765	2	0.91
	24/01/2019	29	56	627	6	0.49
	25/01/2019	30	55	540	5	0.43
	26/01/2019	30	52	789	1	0.84
	27/01/2019	31	52	684	8	0.45
Movilidad 4	28/01/2019	37	35	791	2	0.94
	29/01/2019	40	33	802	3	0.99
	30/01/2019	37	35	774	1	0.96
	31/01/2019	39	35	781	1	1.04
	01/02/2019	40	31	788	2	1.03
	02/02/2019	37	39	792	1	1.01
	03/02/2019	37	38	792	1	1.02

Una vez obtenidos los valores promedios de cada día, se puede obtener un índice ASV para cada uno, esto a su vez se promedia para obtener un índice final por cada tipo de movilidad como se muestra en la tabla siguiente

Tabla 5. Índice ASV

TIPO MOVILIDAD	INDICE ASV
MOVILIDAD 1	0.67
MOVILIDAD 2	0.53
MOVILIDAD 3	0.62
MOVILIDAD 4	1

De forma general en la campaña de monitoreo realizada, se pudo observar que, durante el ingreso de sistemas frontales, la temperatura interna de los vehículos y la caminata tenían un descenso de las mismas, y conforme el sistema se desplazaba se recuperaban los valores de temperatura entre 1 a 3 °C. Para el caso de los días con presencia estabilidad dentro de la ciudad por la influencia de sistemas anticiclónicos, la recuperación en los índices de temperatura se notaba con un ascenso conforme el sistema frontal se alejaba y daba entrada a la presencia de días de condiciones estables. Ochoa et al. (2009) considera que los valores entre -0.5 a 0.5 representan una temperatura de confort aceptable, en este sentido, el índice ASV de la tabla 5 muestra que todos los tipos de movilidad sobrepasan a la temperatura de confort térmico,

10. CONCLUSIONES

- Por medio de la metodología aplicada en la investigación, fue posible completar la campaña de monitoreo a través del REMOTH, el uso de este dispositivo permitió obtener los datos de temperatura y humedad con un bajo costo, permitiendo hacer la estimación del Índice ASV para determinar la exposición térmica por movilidad. El cálculo de este pudo realizarse debido a que los datos de temperatura y humedad se obtuvieron durante la campaña de monitoreo, mientras que los datos de la velocidad del viento y radiación fue a través de la estación meteorológica instalada en Palacio Municipal de la Ciudad.
- El uso del dispositivo permitió obtener los datos de temperatura y humedad necesarios de forma rápida y precisa, gracias a su fácil manejo y transporte.
- Una de las limitantes que se puede encontrar del dispositivo es que se debe realizar una calibración de los sensores para saber si estos funcionan adecuadamente, y ver la calidad de los mismos antes de hacer las mediciones, utilizando algún otro dispositivo que tenga un uso comercial o este calibrado nos ayude a estandarizar los parámetros y los sensores tengan el funcionamiento óptimo en las mediciones.
- Los resultados obtenidos durante los muestreos para cada semana por tipo de movilidad nos dan una idea de cómo los sistemas frontales y las condiciones anticiclónicas (estables), juegan un papel importante en la distribución de la temperatura. Como se muestran en los gráficos de las variables medidas durante la campaña de monitoreo, los sistemas frontales, ayudan a la disminución de la temperatura entre 2 a 4 °C durante su paso debido a que traen consigo vientos, nubosidad e incluso lloviznas; mientras los días con condiciones estables las temperaturas aumentaban entre 1 a 2.5 °C durante la caminata y de 3 a 4 °C al interior de los vehículos.
- Como se observa en los mapas, la Zona Centro de la ciudad presenta una mayor temperatura con respecto en los alrededores en todos los días, debido a que existe poca vegetación, y una alta concentración de vehículos entre las 12:00 y 14:00 pm, provocando que las temperaturas aumenten, exponiendo a la población a sufrir ciertas afectaciones por el calor, algunas de estas son el estrés, deshidratación, fatiga (si se camina por la calle y existen altas temperaturas) o golpes de calor.

- Durante la campaña de monitoreo, de los 28 días de muestreo el día 16 de enero no se realizó la toma de datos debido que uno de los pines correspondientes a la tarjeta microSD se desconectó por lo que hubo una pérdida de datos para ese día, por tanto, el total de muestreo fue del 96%.
- De los tipos de movilidad estudiados, se observó que la ruta 53 y ruta 01 del transporte público, presentan los mayores índices de confort térmico (0.67 y 0.62 respectivamente) debido a que son unos de los medios de transporte público más usados de la ciudad. Los índices de confort registrados para estos dos tipos de movilidad se deben a diversos factores externos como las condiciones meteorológicas (frentes fríos o sistemas anticiclónicos), tráfico, cierre de vialidades por diversas, entre otros, y factores internos, como la cantidad de personas que abordaban las unidades y si estas contaban con un buen sistema de ventilación dentro de ellas. El promedio de personas que se mantenían en la Ruta 53 era de 10 a 13 personas y de 45 pasajeros en la Ruta 01. Para el caso de la movilidad dos (caminata) se registró el menor índice de confort con un 0.53. Entre los factores que pueden modificar las sensaciones de calor o no se encuentran las condiciones meteorológicas que se presenten durante el día, la cantidad de personas que puede haber durante el recorrido, la vegetación que se encuentre sobre la avenida, y la condición física de cada persona. Por otra parte para la movilidad cuatro (vehículo particular) el resultado del índice de confort fue de 1, siendo el más alto de los cuatro tipos de movilidad, lo cual concuerda con la Real Automóvil Club de Cataluña (2015) quien menciona que los vehículos pueden desarrollar temperaturas de hasta 55°C en el interior si la temperatura exterior es de 35°C debido a diversos factores externos.
- En la actualidad, la mancha urbana de la ciudad Tuxtla Gutiérrez continúa creciendo, por ende, el aumento en la demanda de transporte público, vehículos particulares, modificación en el uso del suelo, cambiándolo por pavimento o concreto lo que intensifica el aumento de la temperatura. Algunos de los puntos en los cuales las temperaturas aumentaban son: para la movilidad 1 en Colonia Las Palmas, parada de Chedraui Oriente, Parque 5 de mayo, Barrio San Roque, Zona Centro (sobre la primera segunda sur) y Plaza Cristal; para la movilidad 2: Parque Central, sobre Boulevard Belisario Domínguez a la altura de (Nissan Poniente) y Plaza Cristal; para la movilidad 3: Plaza Poliforum, Chedraui Oriente, Parque 5 de mayo, Parque Central, Plaza Cristal y

Plaza Cristal. Estos puntos son en los que se presentaba mayor tráfico vehicular o una mayor cantidad de personas aglomeradas en las paradas, además de ser zonas con poca vegetación.

- Como se puede apreciar en las mediciones, durante el recorrido las zonas con mayor vegetación (como los parques urbanos) ayudan en la disminución de la temperatura (alrededor de 1 a 4 °C) haciendo más comfortable para transitar en esas áreas.

11. RECOMENDACIONES

- Extender la campaña de monitoreo durante un año para tener una base de datos sólida de información.
- Producir más dispositivos, calibrarlos y realizar las mediciones a la misma hora, lugar para observar el comportamiento del índice de confort térmico el mismo día en cada una de los diferentes tipos de movilidad estudiados.
- Reubicar el REMOTH dentro del vehículo particular para no alterar los datos de la medición y sean los más exacto.
- Optimizar y complementar el REMOTH con otros sensores, como radiación solar, luz ultravioleta, un módulo o sensores de calidad del aire para mejorar la instrumentación del dispositivo.
- Promover el cuidado y mantener los parques urbanos dentro de la ciudad, ya que ayudan a regular la temperatura y humedad en sus alrededores y sobre las calles o avenidas que se encuentren cercanas a estos.

12. BIBLIOGRAFIA

- ADAFRUIT. (2005). *Adafruit BME280 Humidity + Barometric Pressure + Temperature Sensor Breakout*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-bme280-humidity-barometric-pressure-temperature-sensor-breakout/downloads>
- ADATA Technology Co., Ltd. (2001). *Banco de alimentación PT100*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2020, de <https://www.adata.com/es/feature/312>
- Águila, S. A. (2007). *Procedimiento de Evaluacion de Riesgos Ergonomicos y Psicologicas*. Recuperado el 29 de 01 de 2021, de <https://w3.ual.es/GruposInv/Prevencion/evaluacion/procedimiento/descargacompleta.pdf>
- Casillas Higuera, A., Garcia Cueto, R., Camacho, O., y Gozalez Navarro F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor Mediante Modelado Dinamico en Mexicali, B.C. 25. Mexicali, Baja California, México. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000100015
- Castrejon. (2018). *Representacion de una ICU*. UNAM, Ciudad de Mexico.
- CEIEG. (2012). *Perfiles Municipales (Tuxtla Gutiérrez)*. Obtenido de <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>
- CICEANA. (2009). *Saber mas... Ubanización*. Ciudad de Mexico, México. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/12604153/saber-mas-urbanizacion-ciceana-ac>
- CONAGUA. (2019). *Centro Hidrometeorológico Regional "Tuxtla Gutiérrez, Chiapas"*. Recuperado el Marzo de 2019, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/centro-hidrometeorologico-tuxtla-gutierrez-chiapas>
- CONAPO. (2012). *Sistema Urbano Nacional*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de <http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1539/1/images/PartesIaV.pdf>

- CONUEE. (Abril de 2018). *Movilidad Urbana Sostenible*. Ciudad de México, México. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/313972/movilidadurbanasostenible.pdf>
- Cordova. (2011). *Impacto de las Islas Termicas o Islas de Calor Urbano, en el ambiente y la salud humana. Analisis estacional comparativo: Caracas, Octubre -2009, Marzo - 2010*. (Vol. XXVII). Caracas, Venezuela: Terra Nueva Etapa.
- EPA. (2009). *Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, Environmental Protection Agency. U.S. : Environmental Protection Agency.
- Ganazhapa, B. O. (2016). *Arduino. Guía Practica*. Recuperado el 10 de 2020, de http://rclibros.es/wp-content/uploads/2016/04/capitulo_9788494305597.pdf
- Geiger, R. (1965). *The climate near the ground*. Massachussets, EE.UU.
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos Basicos de Instrumentación y Control*. Santa Elena, Ecuador. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%3%A1sico+de+instrumentaci%3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
- Herrero, I. (2019). *Arduino Nano V 3.0*. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.iberobotics.com/producto/arduino-nano-v3-0-atmega328-5v>
- Howard. (1818). *The Climate of London. ll*. London.
- INEGI. (2010). *Censo de Poblacion y Vivienda*. México. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- INEGI. (2015). *Censos y Conteo de Poblacion y Vivienda*. Ciudad de México. Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- INSHT. (2019). *Notas Practicas. Confort Térmico*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Recuperado el 27 de Marzo de 2019

- Jáuregui O., E. (1977). *Las investigaciones sobre clima urbano y contaminación del aire en la Republica Federal de Alemania*. Alemania.
- Lombardo, M. (1997). *Estudios Interdisciplinarios, metodologías e técnicas de análisis de clima urbano*. VI Encuentro de Geógrafos de América Latina, (pág. 298). Buenos Aires. Obtenido de <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal6/Teoriaymetodo/Metodologicos/734.pdf>
- Lopez, P. (2018). *El crecimiento poblacional en México, problema grave*. Recuperado el 24 de Julio de 2019, de <https://www.gaceta.unam.mx/el-crecimiento-poblacional-de-mexico-problema-grave/>
- Morales Mendez, Carlos Constantino, & Madrigal Uribe, Delfino, & Gonzalez Becerril, Lidia Alejandra. (2007). *Isla de Calor en Toluca México*. 14. (U. A. México, Ed.) Toluca, Estado de México., México: Ciencia Ergo Sum. Recuperado el 17 de 08 de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414308>
- Moreno, M. (1984). *"Las lluvias de Tacubaya"*. 1. (O. Astronómico, Ed.) México, Tacubaya. Recuperado el 22 de Julio de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n9/n9a3.pdf>
- Nikolopoulo, M., Lykoudis, S., & Kikira, M. (2004). *Modeli di comfort termico per gli spazo aperti, progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*. Grecia: CRES (Department of Buildings).
- Ochoa de la Torre, J., Marincic L., I., & Alpuche C., M. (2009). *Análisis del Confort climático para planeación de sitios turísticos*. Hermosillo, Sonora, México. Recuperado el 17 de 08 de 2020, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11586/03_PROCEEDINGS_M3_15_0025.pdf
- Oke , T. (1987). *Boundary layer climates*. (2). New York, U. S. Obtenido de https://www.academia.edu/16752781/T._R._Oke_-_Boundary_Layer_Climates_1988_.PDF

- ONSET. (2013). *HOBO Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger*.
Obtenido de <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-013/>
- Pérez Villatoro, C. E. (2015). *Modelacion Preliminar de la Isla de Calor Urbano de Tuxtla Gutierrez y sus Efectos al Indice de Confort Térmico*. Tesis de Licenciatura. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Periodico Oficial. (30 de Noviembre de 2011). *Programa de Ordenamiento de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutierrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Obtenido de <https://tuxtla.gob.mx/pg/muni/archivos/transparencia-fiscal/1-marco-regulatorio/6-2-programa-ordenamiento-zona-metrop-tuxtla.pdf>
- Real Automovil Club de Cataluña. (2015). *Efecto de la radiación solar en la temperatura interior del vehículo*. Zurich, Zuisa. Recuperado el 16 de 06 de 2020, de <http://s01.s3c.es/imag/doc/2015-08-06/estudio-sol-coche-racc.pdf>
- Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (Diciembre de 2010). *Cambios climaticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconomicas de la poblacion de Santiago de Chile*. *SciElo*. Recuperado el Noviembre de 2019, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-83582010000300005&script=sci_arttext#a5
- Tan J., Y. Zheng, X. Tang, C. Guo, L. Li, G. Song, X. Zhen, D. Yuan, A. J. Kalkstein, F. Li y H. Chen. (2010). *The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai*. (I. J. Biometeorol, Ed.) Shangai. doi:10.1007/s00484-009-0256-x (2010).
- Xicotencalt, N. (08 de Agosto de 2020). *Circulan aproximadamente 140 mil vehículos en Tuxtla*. *Cuarto Poder*, pág. 01.
- Zavaleta, P. M. (2018). *Urbanización y su relacion con el efecto de la isla de calor urbano en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México.