



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**GEOREFERENCIA Y MONITOREO SATELITAL DE
TIANGUIS Y MERCADOS SOBRE RUEDAS DE LA CIUDAD
DE MÉXICO**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A

DANTON IVAN BAZALDUA MORQUECHO

ASESOR DE INFORME

M.I. JUVENTINO CUELLAR GONZÁLEZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx, 2022

“No se puede enseñar nada a un hombre, sólo se le puede ayudar a descubrirse a sí mismo”

-Galileo Galilei

Agradezco a la Subsecretaria de Programas de Alcaldías y Reordenamiento de la Vía Pública de la Secretaria de Gobierno de la Ciudad de México. En especial agradecimiento póstumo al Subsecretario Avelino Méndez Rangel por todo el apoyo brindado para la realización de este y más trabajos. “Hasta siempre Profe”

A mi Madre y Abuela por ser siempre mi inspiración. Por ser mi coraje, valentía e irreverencia. Por último, sin ser menos importante a todos mis colegas, compañeros y amigos que me han acompañado en esta aventura llamada vida.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVOS GENERALES	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	8
3.1. ANTECEDENTES	9
3.2. LA PERCEPCIÓN REMOTA COMO MÉTODO Y SOLUCIÓN A PROBLEMÁTICAS COMUNES	9
4. LA PERCEPCIÓN REMOTA A TRAVÉS DE LA HISTORIA	11
5. MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN O PERCEPCIÓN REMOTA	15
5.1. LA PERCEPCIÓN REMOTA EN ZONAS URBANAS	19
5.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA O CONTEXTO DE LA PARTICIPACIÓN PROFESIONAL	24
6. METODOLOGÍA EMPLEADA EN ZONAS DE INTERÉS	25
7. ZONAS DE ESTUDIO	25
8. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	28
9. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	36
10. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	38
11. CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS	58

1. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han evolucionado de manera exponencial en los últimos veinte años, particularmente en la industria espacial a nivel global. El uso de satélites de comunicaciones, satélites de percepción remota y monitoreo atmosférico, así como radiotelescopios, han permitido al ser humano no solo solucionar problemas que afectan al mundo sino también a entender lo que sucede fuera de él. La colaboración internacional, el esfuerzo de múltiples gobiernos y la industria privada han sido fundamentales para el desarrollo tecnológico y para el uso pacífico del espacio ultraterrestre. Actualmente existen órganos reguladores especializados en telecomunicaciones, usos y funciones del espacio exterior, tales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación.

Gracias a la colaboración internacional y la regulación de múltiples consejos de la Naciones Unidas, estas aportaciones han podido ayudar a muchos países que no poseen el desarrollo tecnológico o de infraestructura para monitorear los límites de su geopolítica. Uno de estos casos es el de México, que, si bien actualmente posee un satélite de comunicaciones, el Morelos 3, no posee satélites de percepción remota que cubran toda su superficie, razón por la cual mucha de la información satelital que utilizamos es proveniente de satélites como: LandSAT, Sentinel o SPOT. Los cuales son satélites de percepción remota de acceso libre.

En 2017 México fue devastado por dos de los sismos más intensos de las últimas décadas, provocando daños materiales incalculables, además de la pérdida de cientos de vidas humanas, si bien aún no existe alguna metodología o herramienta que pueda predecir los sismos, el uso de imágenes satelitales para detectar zonas de afectación se ha convertido en una herramienta poderosa para analizar los efectos devastadores que tienen los fenómenos naturales tales como sismos, inundaciones, tsunamis o erupciones volcánicas; esta información ayuda a generar estrategias de acción y reacción para mitigar los daños colaterales de dichos fenómenos naturales. México, como miembro de las Naciones Unidas, tiene acuerdos de colaboración internacional que le permiten acceder a programas y fondos

de desastres naturales internacionales, así como a información de estudios relevantes de los mismos. Una de estas estrategias de colaboración e intercambio de información satelital es la Carta Internacional de Desastres, la cual gracias a la infraestructura satelital del programa SENTINEL de la Agencia Espacial Europea (ESA) y la colaboración de la Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior ha sido una herramienta fundamental para monitorear las consecuencias de los desastres naturales, uno de esos ejemplos es el programa Advanced Rapid Imaging and Analysis (ARIA) de la NASA.

La propuesta de este trabajo es el empleo de imágenes de sensores satelitales que corresponden a la constelación de SENTINEL-2A, centrando la investigación en las características que nos brinda esta constelación satelital con sus 13 bandas multiespectrales e infrarrojo de onda corta del año 2020. Mediante el análisis espectral en infrarrojo de corto alcance para la detección de mercados sobre ruedas y tianguis en la Ciudad de México.

A principios del primer trimestre del año 2020 un suceso inédito ocurrió en todo el Mundo, surgió una epidemia global causada por el virus SARS- CoV 2, la cual se extendió a través de todas las fronteras del mundo, causando la pérdida de millones de vidas humanas y una crisis económica global sin precedentes. México no fue la excepción, particularmente la Ciudad de México y la zona metropolitana fueron las áreas más afectadas en cuanto a contagios y mortandad en el país. Debido a la gran sobrepoblación que existe en estos territorios, la propagación del virus fue exponencial sumado a las múltiples problemáticas sociales y una mala cadena de suministro en la Ciudad de México.

El comercio informal durante décadas ha sido la manera de subsanar la errante cadena de suministros de alimentación en la Ciudad de México, concentrándose en la Central de Abastos, esto sumado a la sobrepoblación y el bajo crecimiento económico en muchas zonas de la Ciudad ha generado que el comercio informal haya crecido desproporcionadamente los últimos años.

Tianguis y Mercados sobre ruedas han sido la solución de miles de personas en la Ciudad de México, no sólo para poder comprar suministros frescos y a bajos costos, sino para poder generar ingresos extra, creando toda una economía para miles de personas en la ciudad.

La propuesta de este trabajo de investigación es el empleo de imágenes satelitales de SENTINEL-2A, centrando la investigación en sus bandas multiespectrales 3, 4 y 8, las cuales conforman en su combinación imágenes en infrarrojo de corto alcance, con las que se detectarán mercados sobre ruedas y tianguis en la Ciudad de México. Con la detección y cuantificación podremos, no solo podemos obtener sus dimensiones sino también cuantificar un aproximado de oferentes en cada uno de ellos y buscar soluciones reales para generar una cadena de suministros más robusta y mejor regulada.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Generales

Emplear el método de percepción remota con imágenes multiespectrales de SENTINEL-2A y analizar en infrarrojo de corto alcance la superficie de la Ciudad de México para la detección de Mercados sobre Ruedas y Tianguis.

2.2 Objetivos Específicos

Analizar, detectar y dimensionar los Tianguis y Mercados sobre Ruedas de la Ciudad de México utilizando bases de datos oficiales e imágenes satelitales del año 2020.

3. Descripción de la empresa

La Secretaría de Gobierno de la Ciudad de México es la encargada de las relaciones con órganos y poderes públicos, locales y federales, a través de cuatro Subsecretarías atiende las demandas de las y los habitantes de la Ciudad de México para contribuir a que tengan una mejor calidad de vida mediante el uso del diálogo y la negociación. La Subsecretaría de Programas de Alcaldías y Reordenamiento en Vía Pública, encargada de la relación con las 16 alcaldías de la Ciudad de México, enfocada al ordenamiento del comercio en vía pública además de otras dependencias gubernamentales como la Secretaría de Desarrollo Económico de la Ciudad de México, son las instancias encargadas de la regulación, monitoreo, reordenamiento y reubicación del comercio informal, mercados sobre ruedas y tianguis en la Ciudad⁸. (Secretaria de Gobierno, 2018)

La Coordinación Jurídica, en su área de proyectos de tecnologías de la Subsecretaría de programas de alcaldías y reordenamiento de la vía pública de la Ciudad de México determino que existen grandes problemáticas en cuanto a comercio en vía pública y ordenamiento se refiere. La aglomeración descontrolada de personas en pequeños espacios buscando comprar sus víveres y suministros en estos Tianguis y su crecimiento descontrolado ha generado problemas de aumento en la inseguridad y narcotráfico. Así como recientemente problemas asociados a incrementos a contagios de SARS-CoV-2 en las distintas alcaldías que conforman la Ciudad de México, concentradas, principalmente, en sitios de interés donde existen cifras altas de densidad poblacional, comercio informal y problemas a la vialidad. Sin embargo, para buscar resolver estas problemáticas existen criterios y procedimientos técnicos, jurídicos y administrativos que se utilizan para analizar la viabilidad de los proyectos, muchas veces mal ejecutados. Generando problemáticas sociales importantes, tales como la expansión descontrolada de la mancha urbana y falta de servicios públicos

Mediante el uso de satélites de percepción remota, así como imágenes satelitales y drones, se analizan las superficies que se encuentran afectadas por el comercio informal y se analizan posibles soluciones para generar estrategias de reordenamiento y recuperación de espacios

públicos. Por otro lado, este método también se ha utilizado otros rubros, por ejemplo, en detección de asentamientos humanos en zonas de conservación.

3.1. Antecedentes

Existen pocos antecedentes sobre reubicaciones importantes de tianguis o mercados sobre ruedas en la Ciudad de México, una de ellas fue lograda con el gobierno local de la Ciudad México (2018-2024). El 19 de junio de 2019, el tianguis que se encontraba en la Unidad Habitacional de Santa Cruz Meyehualco, cerca de cinco mil oferentes fueron reubicados en cuatro puntos nuevos y acondicionados adecuadamente, en colaboración con la Alcaldía Iztapalapa y distintos órganos de gobierno de la Ciudad de México, sin embargo, este solo es uno de los muchos tianguis de grandes dimensiones que existen en la Ciudad.⁹ (Secretaría de Gobierno, 2019)

Durante la revisión y análisis de datos recabados, se descubrió que existe una correlación directa entre las alcaldías de mayor sobrepoblación con las que mayor comercio informal, delincuencia y bajo crecimiento económico. Generando como precedente un punto de partida en la siguiente investigación.

3.2. La percepción remota como método y solución a problemáticas comunes

La teledetección o Percepción Remota es el proceso de detectar y monitorear las características físicas de un área, midiendo su radiación reflejada y emitida a distancia (generalmente desde un satélite o una aeronave), cámaras especiales recolectan imágenes de detección remota, que ayudan a los investigadores a "percibir " objetos en la superficie de la Tierra, algunos ejemplos son:

Las cámaras de los satélites y los aviones toman imágenes de extensas áreas de la superficie de la Tierra, lo que permite percibir mucho más de lo que se puede ver cuando se está en el suelo; los sistemas de sonar de los barcos se pueden utilizar para crear imágenes del fondo del océano sin necesidad de viajar al mismo. Del mismo modo, las cámaras de los satélites se pueden utilizar para capturar imágenes de los cambios de temperatura en los océanos.

Algunos usos específicos de las imágenes de la Tierra obtenidas por teledetección incluyen:

- Los grandes incendios forestales que se pueden detectar y mapear desde el espacio, lo que permite a los guardabosques ver un área mucho más grande que la que podrían ver estando a nivel del suelo.
- Seguimiento de las nubes para ayudar a predecir el clima u observar los volcanes en erupción y ayudar a observar las tormentas de polvo.
- Seguimiento del crecimiento de una ciudad y cambios en las tierras agrícolas o los bosques durante varios años o décadas
- Descubrimiento y mapeo de la topografía accidentada del fondo del océano¹⁰. (USGS, 2007)
- La fotografía aérea mediante satélites de teledetección o aeronaves, a menudo llamada fotografía de "color falso" porque muestra la escena en colores que el ojo humano normalmente no ve, se utiliza ampliamente para la interpretación de los recursos naturales, pues la bruma atmosférica no interfiere con la adquisición de la imagen. La vegetación viva casi siempre se asocia con tonos rojos, los rojos muy intensos indican una vegetación densa y de crecimiento vigoroso, a medida que disminuye el vigor de la planta, la vegetación aparece como tonos más claros de rojo y rosa, varios tonos de verde y posiblemente bronceados. Los suelos desnudos aparecen como tonos de blanco, azul o verde, en la mayoría de las regiones agrícolas.

- En general, los tonos más oscuros de cada color indican un suelo más húmedo, las características artificiales aparecen en tonos que se relacionan con los materiales con los que están hechas. Las carreteras asfaltadas, por ejemplo, son de color azul oscuro o negro; los caminos de grava o de tierra son colores más claros según su composición; y los caminos de concreto limpio son de tono claro. Los colores de los edificios dependen igualmente de los materiales con los que fueron construidos.
- El agua aparece en tonos de azul, que varían desde casi negro (agua limpia) hasta un azul muy pálido (altas cantidades de sedimento). El color de las aguas muy poco profundas suele estar determinado por el material presente en el fondo del agua. Por ejemplo, un arroyo muy poco profundo con un fondo arenoso aparecerá blanco debido al alto nivel de reflexión de la arena¹¹. (USGS, 2008)

4. La Percepción Remota a través de la Historia

Actualmente el reordenamiento territorial y la recuperación de espacios públicos son algunos de los aspectos más importantes para los gobiernos debido a que tienen que mantener un buen aprovechamiento y manejo de sus espacios públicos, tales como parques, vialidades y centros recreativos. Sin embargo, la falta de implementación de estrategias y planeaciones que ayudan a predecir como se comportara el desarrollo y la expansión de las grandes Ciudades ha generado un gran deterioro de los servicios públicos, ocasionando grandes deficiencias y falta de servicios para sus ciudadanos.

A finales de los años 60's, cuando los primeros hombres pudieron no solo orbitar fuera de la tierra, sino llegar a la Luna también. La importancia de mirar del cielo hacia la tierra no solo se convirtió en un logro, sino en una necesidad, los satélites de observación de la tierra comenzaron a jugar un rol fundamental en la industria espacial y militar entre las grandes Naciones. En 1972 fue puesto en órbita el satélite LANDSAT-1, en la Figura 1, se muestra el diagrama del primer satélite de observación de la tierra y estaba equipado con un nuevo tipo de sensor, un escáner multiespectral (MSS)². (European Space Agency , 2005)

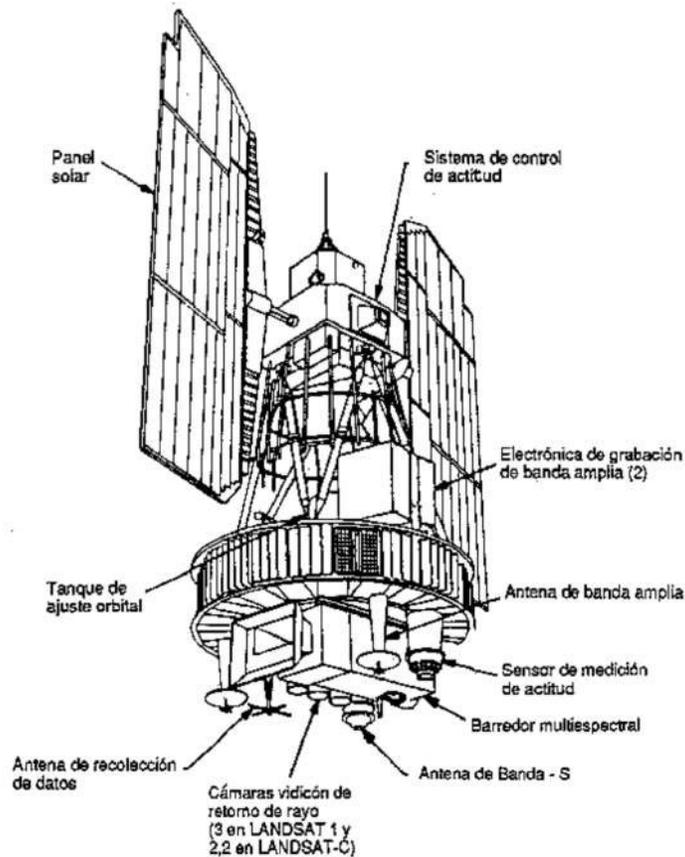


Figura 1: Esquema LANDSAT -1
<https://www.fao.org/3/t0355s/T0355S05.htm>

Las imágenes satelitales han ofrecido una valiosa fuente de información sobre la superficie de la Tierra con una resolución satisfactoria desde el lanzamiento del LANDSAT-1 en 1972. Los LANDSAT-2, LANDSAT-3 fueron lanzados en 1975 y 1978 respectivamente, LANDSAT-1 fue puesto fuera de comisión en 1978 después del mal funcionamiento de un sensor y los LANDSAT-2 y LANDSAT-3 fueron puestos fuera de comunicación en 1983. Estos satélites tenían básicamente los mismos parámetros orbitales y transportan los mismos sensores. Ambos vehículos espaciales estaban en órbitas helio-sincrónicas en polar cercano (ángulo de inclinación de cerca de 99°) con períodos de 103 minutos. Los satélites realizan 14 revoluciones por día con distancias de 2875 km entre las rutas, cada satélite proporcionaba cobertura de casi toda la tierra cada 18 días⁶. (FAO, 2006)

LANDSAT fue una de las principales fuentes de información de imágenes satelitales, sin embargo, en el año 2014 el primer satélite de la constelación SENTINEL de la European Space Agency (ESA), como parte del programa espacial COPERNICUS, fue puesto en órbita dándole inicio a una nueva era de satélites de observación de la tierra, SENTINEL-1A, como se muestra en la Figura 2 y SENTINEL 1-B son satélites gemelos en órbita polar diseñados para proporcionar datos espaciales para garantizar el monitoreo del medio ambiente, la seguridad, así como el crecimiento urbano y fenómenos socioeconómicos a nivel global⁴. (European Space Agency, 2015)

Esta constelación de satélites opera día y noche, mediante radares de apertura sintética (SAR) detecta la superficie permitiendo obtener imágenes en todas las condiciones climáticas. Funciona en un modo de operación libre de conflictos preprogramado que permite alcanzar una alta confiabilidad del servicio y crear archivos de datos consistentes a largo plazo, para ser utilizados en la aplicación basada en series de tiempo largas³. (European Space Agency , 2012)

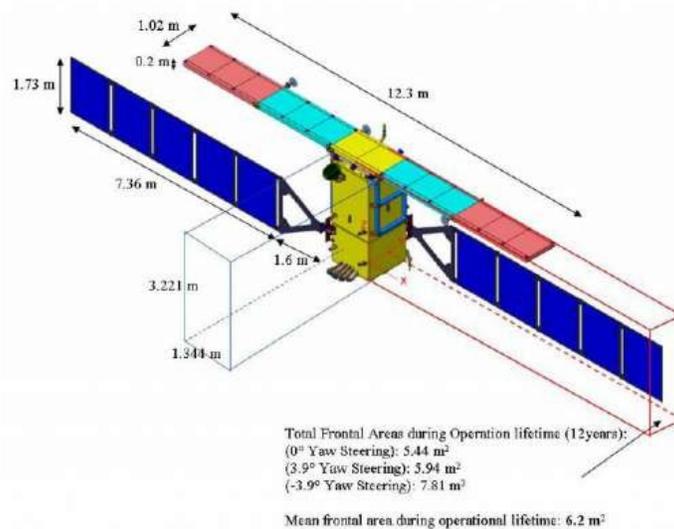


Figura 2: Esquema SENTINEL -1
<https://spaceflight101.com/copernicus/sentinel-1/>

La misión Copernicus Sentinel-2, fue lanzada desde el Puerto espacial de Kourou en la Guayana France en el año 2015, como se muestra en la Figura 3. Comprende una constelación de dos satélites en órbita polar colocados en la misma órbita sincrónica con el sol, en fase de 180 ° entre sí, su objetivo es monitorear la variabilidad en las condiciones de la superficie

terrestre y su amplia franja (290 km) y alto tiempo de revisión (10 días en el ecuador con un satélite y 5 días con 2 satélites en condiciones sin nubes, lo que da como resultado 2-3 días en latitudes medias) apoyará el seguimiento de los cambios en la superficie de la Tierra. Sentinel-2 proporciona una descripción de alto nivel de los objetivos de la misión, la descripción del satélite y el segmento terrestre. Gracias a sus sensores multiespectrales de 13 bandas espectrales, que cubren desde el espectro visible al infrarrojo cercano en diferentes resoluciones espaciales con una resolución máxima de 10 m por píxel⁵. (European Space Agency, 2012)

Una de las tareas importantes para los satélites es vigilar los cambios en bosques y selvas, así como el ritmo de deforestación y reforestación, por otro lado, las áreas afectadas por incendios forestales y otros fenómenos naturales como el paso de ciclones o terremotos. Así mismo, la información de Sentinel-2 es una fuente de información abierta la cual brinda información valiosa para tomar decisiones oportunas sobre cómo gestionar, proteger y salvaguardar nuestros valiosos recursos forestales.



Figura 3: Esquema SENTINEL -2

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description>

Los avances tecnológicos han permitido generar avances significativos en la teledetección, mediante radares y sensores multiespectrales los cuales ahora no solo pueden caracterizar la superficie, sino generar modelos predictivos y en tercera dimensión, gracias a estos avances tecnológicos muchos gobiernos alrededor del mundo han podido dar paso y seguimiento a

los cambios en su territorio, buscando generar cambios más significativos en temas de cambio climático y urbanismo.

5. Métodos de Teledetección o Percepción Remota

La Teledetección o Percepción Remota es la medición de la energía electromagnética reflejada o emitida por objetos, sin entrar en contacto con ellos. Esta energía electromagnética, viaja por el espacio en diferentes longitudes de onda, mediante la reflectancia y la incidencia de radiación electromagnética en la superficie de la tierra, cuando la radiación electromagnética incide sobre un objeto, ocurren las siguientes fases:

- Reflexión
- Transmisión
- Absorción

Cuando la radiación incide en la mayoría de los objetos, se pueden producir más de una de las fases anteriores, algunas longitudes de onda pueden ser reflejadas, algunas transmitidas y otras absorbidas. Por ejemplo, una planta verde, su color está determinado porque la clorofila en sus hojas absorbe la mayor parte de la radiación en las longitudes de onda del azul y el rojo, y refleja principalmente las longitudes de onda verde. La energía reflejada en las longitudes de onda verde es percibida por el ojo humano como el color verde parte de la energía lumínica es también transmitida a través de las hojas como se muestra en la Figura 4.

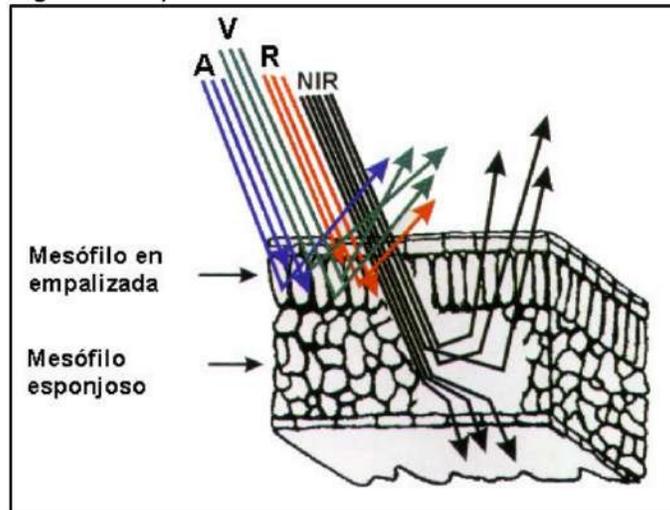


Figura 4: Esquema Reflectancia de Onda
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-percepcion-remota.pdf>

Cada objeto o superficie refleja un único espectro de longitudes de onda, las diferencias entre el espectro reflejado es la base para distinguir un objeto de otro. Actualmente el uso de la teledetección de cultivos agrícolas se utiliza para monitorear el estado de salud de los cultivos mediante su reflectancia y así saber si están aptos o libres de plaga para el consumo humano. Las plantas en crecimiento saludable reflejan más luz verde que plantas enfermas, marrones o amarillas. En otras palabras, plantas enfermas producen distintas respuestas espectrales o patrones característicos de radiación reflejada. Una vez que identificamos las diferencias en las respuestas espectrales entre plantas sanas y enfermas, por ejemplo, podríamos percibir sólo algunas longitudes de onda para determinar la salud del cultivo o las condiciones del suelo en donde crece. Actualmente existen varios métodos para detectar imágenes de la superficie de la tierra, los más comunes son el uso de aeronaves, drones y satélites de percepción remota. (von Martini, 2011)

Los Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS), también denominados drones, vehículos aéreos no tripulados (UAV) o aviones pilotados por control remoto (RPA), tienen un largo historial de uso militar que refleja su potencial reconocido desde hace mucho tiempo en temas bélicos. Las misiones de reconocimiento militar de la superficie de la tierra con plataformas aéreas no tripuladas ocurrieron tan pronto como se desarrollaron aparatos fotográficos adecuados.

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) desarrolló aviones no tripulados para muestreo atmosférico a gran altitud durante el programa "Mini-Sniffer" de los años 1970. En la década de 1990 marcó los primeros pasos hacia el desarrollo de protocolos y capacidades para el empleo de UAS apoyando la investigación científica, sin embargo, el potencial militar acrecentó el avance tecnológico de los vehículos no tripulados, que posteriormente no solo podrían tender sensores ópticos sino también incluso armas de destrucción masiva.

Actualmente el uso de vehículos no tripulados con sensores ópticos es ya algo común y tiene costos accesibles, permitiendo utilizar sus herramientas para soluciones de áreas comunes como la agricultura, medición de contaminantes e incluso modelado en 3D, sin embargo, para casos más específicos también nos permite observar pequeñas secciones de superficie de la tierra, comparada con el rango de observación de los satélites convencionales de percepción remota y poder obtener datos valiosos casi en tiempo real.

En el caso de uso de satélites, existen varias tecnologías que permiten obtener distinta información de la superficie. Existen dos grandes ramificaciones de satélites de percepción remota, los de sensores Activos y los de sensores Pasivos. Los criterios entre los que se diferencia un sensor Pasivo de un sensor Activo es la forma de recibir la energía procedente de la superficie.

Los sensores pasivos: son aquellos que pueden registrar información a través de la energía emitida o reflejada de la superficie terrestre, es decir, el sensor actúa como receptor del

espectro electromagnético reflejado siendo el origen de esta energía una fuente ajena al sensor.

Los sensores activos: son aquellos que pueden registrar información a través de la energía que se refleja a través del sensor que actúa como radar, es decir mandando una señal esperando ser interceptada por otra, en este caso por la radiación electromagnética de la superficie.

En la Figura 5 se presenta una clasificación de sensores pasivos y activos, sin embargo, para este trabajo de investigación solo nos enfocaremos en la rama de sensores pasivos de imagen y cámaras multiespectrales.

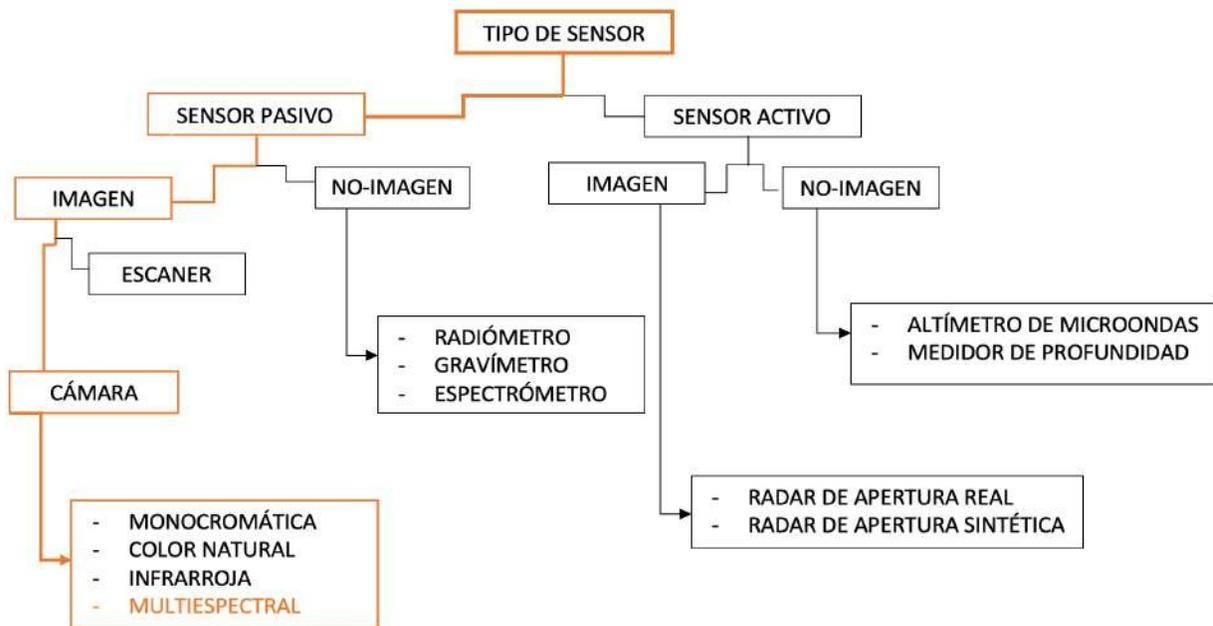


Figura 5: Clasificación de sensores ópticos

5.1. La percepción remota en zonas Urbanas

Los paisajes urbanos se componen de un conjunto complejo de materiales (hormigón, asfalto, metal, plástico, tejas, vidrio, agua, césped, arbustos, árboles y suelo) utilizados para construir edificios, casas, complejos comerciales, mercados, calles, parques, etc.

El objetivo de estas construcciones es con suerte mejorar la calidad de vida de los habitantes de un lugar en particular, sin embargo en muchos casos la urbanización está evolucionando desmesuradamente y a menudo sin un desarrollo planificado. Esta falta de planificación ha generado que grandes ciudades estén llegando al colapso y la Ciudad de México es un claro ejemplo de ello.

Actualmente los gobiernos requieren información actualizada de sus territorios, no solo para el monitoreo continuo de su superficie, sino también para la planeación inteligente y sustentable de sus ciudades, para ello requiere información urbana detallada para:

a) Legislación y regulación de la expansión urbana

- Regulaciones para mejorar la calidad de vida en áreas urbanizadas
- Modelado predictivo de crecimiento urbano
- Asentamientos irregulares y áreas protegidas

b) Legislación y regulación de comercio por parte del Estado

- Regulación del comercio formal e informal
- Estrategia de rescate, reubicación y rehabilitación de espacio públicos

c) Departamentos de transporte y vialidad

- Estrategias y diseño inteligente de vías y alternativas de transporte
- Modelado predictivo de crecimiento de la demanda de transporte

d) Servicios Públicos

- Diseño inteligente para el suministro de servicios del Estado (electricidad, agua, drenaje).

e) Gestión de riesgos y Protección Civil

- Estrategias para la mitigación de riesgos y catástrofes causadas por desastres naturales y Modelo predictivo de crecimiento urbano.

La regulación de la expansión territorial urbana como se menciona en el Diario Oficial de la Federación del 28 de Noviembre de 2016: “LEY GENERAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO URBANO” en todo el territorio Mexicano en su Artículo Primero menciona:

La presente Ley es de orden público e interés social y de observancia general en todo el territorio nacional.

Las disposiciones de esta Ley tienen por objeto:

I. Fijar las normas básicas e instrumentos de gestión de observancia general para ordenar el uso del territorio y los asentamientos humanos en el país, con pleno respeto a los derechos humanos, así como el cumplimiento de las obligaciones que tiene el Estado para promoverlos, respetarlos, protegerlos y garantizarles plenamente;

II. Establecer la concurrencia de la Federación, de las entidades federativas, los municipios y las demarcaciones territoriales para la planeación, ordenación y regulación de los asentamientos humanos en el territorio nacional;

III. Fijar los criterios para que, en el ámbito de sus respectivas competencias exista una efectiva congruencia, coordinación y participación entre la Federación, las entidades federativas, los municipios y las demarcaciones territoriales para la planeación de la fundación, crecimiento, mejoramiento, consolidación y conservación de los centros de

población y asentamientos humanos, garantizando en todo momento la protección y el acceso equitativo a los espacios públicos.

IV. Definir los principios para determinar las provisiones, reservas, usos del suelo y destinos de áreas y predios que regulan la propiedad en los centros de población (Camara de Diputados del Honorable Congreso de la Union , 2020)

Por otro lado, existen casos particulares en la CDMX llamados asentamientos irregulares que irrumpen con los principios de ordenamiento territorial, los cuales se encuentran en su mayoría sobre vía pública o suelo de conservación, como se muestra en la Figura 6.

DELEGACIÓN	No. ASENTAMIENTOS (2010)	No. VIVIENDAS (2009)*	SUP. (Ha) (2010)	% RESPECTO DEL TOTAL (sup)	ANTIGÜEDAD PROMEDIO AL 2012
Álvaro Obregón	14	1,451	18.23	0.6	13
Cuajimalpa de Morelos	68	5,499	255.97	9.1	18
Gustavo a. Madero	16	949	28.56	1.0	14
Iztapalapa	38	1,139	54.24	1.9	12
La Magdalena Contreras	16	1,055	25.33	0.9	15
Milpa alta	122	4,790	403.18	14.3	11
Tláhuac	93	6,589	428.20	15.2	9
Tlalpan	186	11,654	980.74	34.8	15
Xochimilco	314	17,577	625.78	22.2	11
TOTAL	867	50,703	2,819.23	100	13.1

Figura 6: Clasificación de asentamientos irregulares

*Estudio sobre el ordenamiento, control y tratamiento integral de los Asentamientos Humanos Irregulares, ubicados en suelo de conservación del Distrito Federal, PAOT, 2010. con información de 2009.

La Procuraduría Ambiental del Ordenamiento Territorial (PAOT) de la CDMX publicó imágenes comparativas de un asentamiento irregular llamado “El zapote” en las inmediaciones de las Alcaldías Tláhuac e Iztapalapa. Donde se puede apreciar claramente el aumento de viviendas irregulares en la zona en el año 2015. Sin embargo, se realizará un comparativo con imágenes de 2016 con imágenes tomadas con dron como se muestra en la Figura 7.

Asentamiento humano irregular denominado El Zapote, Delegación de Iztapalapa y Tláhuac.



Figura 7: Imagen satelital 2015 vs Imagen de Dron 2016
(PAOT-SMA,20106)

Gracias a las imágenes proporcionadas por SENTINEL 2-A y al procesamiento de bandas multiespectrales se generó un análisis basado en Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad y calidad de la vegetación con base en la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético, sin embargo, también es utilizado para detectar estructuras o cuerpos dentro de superficies con vegetación. Según datos de la European Space Agency, el NDVI normaliza la dispersión de las hojas verdes en longitudes de onda del infrarrojo cercano con absorción de clorofila en longitudes de onda rojas.

En la Figura 8 se observan los rangos de valores del NDVI que son desde -1 a 1, donde los valores negativos de NDVI (valores cercanos a -1) corresponden al agua, los valores cercanos a cero (-0,1 a 0,1) generalmente corresponden a áreas áridas de roca, arena o nieve, los valores bajos y positivos representan arbustos y pastizales (aproximadamente 0,2 a 0,4), mientras que los valores altos indican bosques lluviosos templados y tropicales (valores cercanos a 1). Es un buen indicador de la vegetación verde viva y saludable;

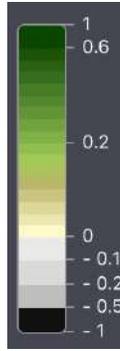


Figura 8: Escala de valores NDVI
Sentinel Hub Browser

Puede percatarse el aumento de cuerpos y manchas en la superficie que no corresponden con vegetación cercanos a 1 y sus valores se inclinan más hacia 0 con la cual puede suponer que son manchas de las fronteras y áreas de las viviendas irregulares que se han incrementado del año 2017 al 2021.



Figura 9: Imagen de SENTINEL-2A en NDVI
7/01/2017
Sentinel Hub Browser



Figura 10: Imagen de SENTINEL-2A en NDVI
26/01/2021
Sentinel Hub Browser

Una de las problemáticas que ha caracterizado a la Ciudad de México es el comercio informal que existe en todo su territorio, siendo para muchos de sus ciudadanos la única forma de sustento, según estimaciones existen cerca de 1 millón de comerciantes informales en toda la ciudad, es decir, casi el 10% de la población en general se dedica al comercio informal. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2015 por esta actividad, de cada 100 pesos generados de Producto Interno Bruto (PIB) casi 24 pesos fueron producto de los

trabajadores informales, actualmente no existe una regulación general del comercio informal en la CDMX.

5.2. Definición del problema o contexto de la participación profesional:

La principal problemática que se abordara en este trabajo de investigación es el comercio informal en la vía pública de la Ciudad de México y sus efectos colaterales en la emergencia sanitaria por SARS-CoV-2. A inicios del año 2020 la epidemia por SARS-CoV-2 alcanzó escalas globales, generando una crisis sanitaria sin precedente en tiempos modernos, México no fue la excepción, para Julio del 2020 la Secretaría de Salud indicó más de 424 mil contagios por SARS-CoV-2 y 46 mil fallecidos, posicionando a México dentro de los 10 países con mayor contagio en el mundo.

Siendo la Ciudad de México el territorio más afectado por la crisis sanitaria de contagios por SARS-CoV-2 y teniendo una cadena de suministros y víveres insuficiente e ineficiente. Más de un tercio de la población de la Ciudad de México centra su consumo en productos provenientes de los tianguis y mercados sobre ruedas que abundan en todo el territorio de la ciudad, por ellos estos centros de comercio se han convertido en sitios de alto contagio, sin embargo, la mayoría de estos mercados y tianguis no están regulados o monitoreados por el Gobierno de la Ciudad de México.

El objetivo y la participación profesional de este proyecto fue el uso de imágenes satelitales de SENTINEL 2-A, procesadas mediante una combinación de bandas multiespectrales, generando imágenes en color falso de infrarrojo cercano, usando las bandas 8, 4 y 3. Con esta información satelital se buscará detectar en la superficie de la Ciudad de México mercados sobre ruedas y tianguis de grandes dimensiones, dadas las características de la información satelital, solo se podrán detectar estos fenómenos socioeconómicos si alcanzan un área superior a 100 m².

6. Metodología Empleada en zonas de Interés

La metodología que se siguió para este trabajo de investigación consistió en varias etapas de análisis.

- Delimitación de imágenes satelitales que corresponden a la superficie de la Ciudad de México y sus 16 alcaldías.
- Análisis de registros oficiales de Comercio en Vía Pública y bases de datos de la Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO) y de las 16 Alcaldías de la Ciudad de México.
- Análisis de registros y bases de datos de la Secretaría de Gobierno (SECGOB) y de las 16 Alcaldías de la Ciudad de México.
- Análisis de imágenes satelitales SENTINEL 2-A mediante procesamiento de infrarrojo cercano
- Georreferenciación e integración de bases de datos de gobierno e imágenes satelitales.
- Visitas a campo para comprobación de resultados.

7. Zonas de estudio

Las zonas de interés del estudio donde se llevó a cabo el análisis fue todo el territorio que abarca la superficie de la Ciudad de México, el cual cuenta con aproximadamente 1,485 km², Según datos del INEGI (2015), cuenta con 8,918,653 habitantes. Concentrados en su mayoría en 6 alcaldías de la Ciudad.

Como se muestra en la Figura 11, cerca del 62% de la población en general de la Ciudad de México se concentra en las siguientes Alcaldías:

- Iztapalapa 20%
- Gustavo A. Madero 13%
- Álvaro Obregón 8%
- Tlalpan 8%
- Coyoacán 7%
- Cuauhtémoc 5%

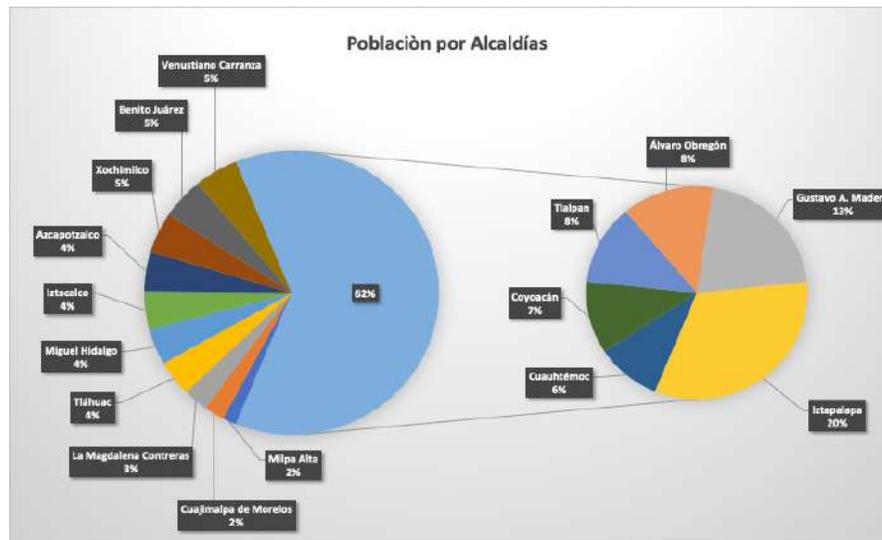


Figura 11: Gráfica de Distribución de Población de la CDMX INEGI (2015)

Considerando que estos eventos asociados a mercados sobre ruedas y tianguis son cíclicos, es decir que es un fenómeno repetitivo, dada la naturaleza de operación de los Tianguis, todos estos mercados sobre ruedas y tianguis cuentan con un cronograma de operación a pesar de su rotación, incluso en las mismas zonas de trabajo, todos y cada uno de sus horarios cada semana se repiten. Esta definición ayudó para la selección de la base de datos de imágenes satelitales de SENTINEL-2A, siendo esta una de las más completas de acceso libre que existe, además de la calidad máxima de resolución de 10 m por píxel se ajusta lo suficiente para hacer un análisis en infrarrojo de corto alcance eficiente para los fines de esta investigación. Posteriormente se analizaron los 1,485 km² de superficie de la Ciudad de México con imágenes satelitales, por cada día de la semana en infrarrojo de corto alcance, buscando patrones en su superficie de los distintos tianguis y mercados sobre ruedas que

abundan en la ciudad, para finalizar mediante software especializado estimar sus dimensiones superficiales, así como sus capacidades como se muestra en la Figura 12.

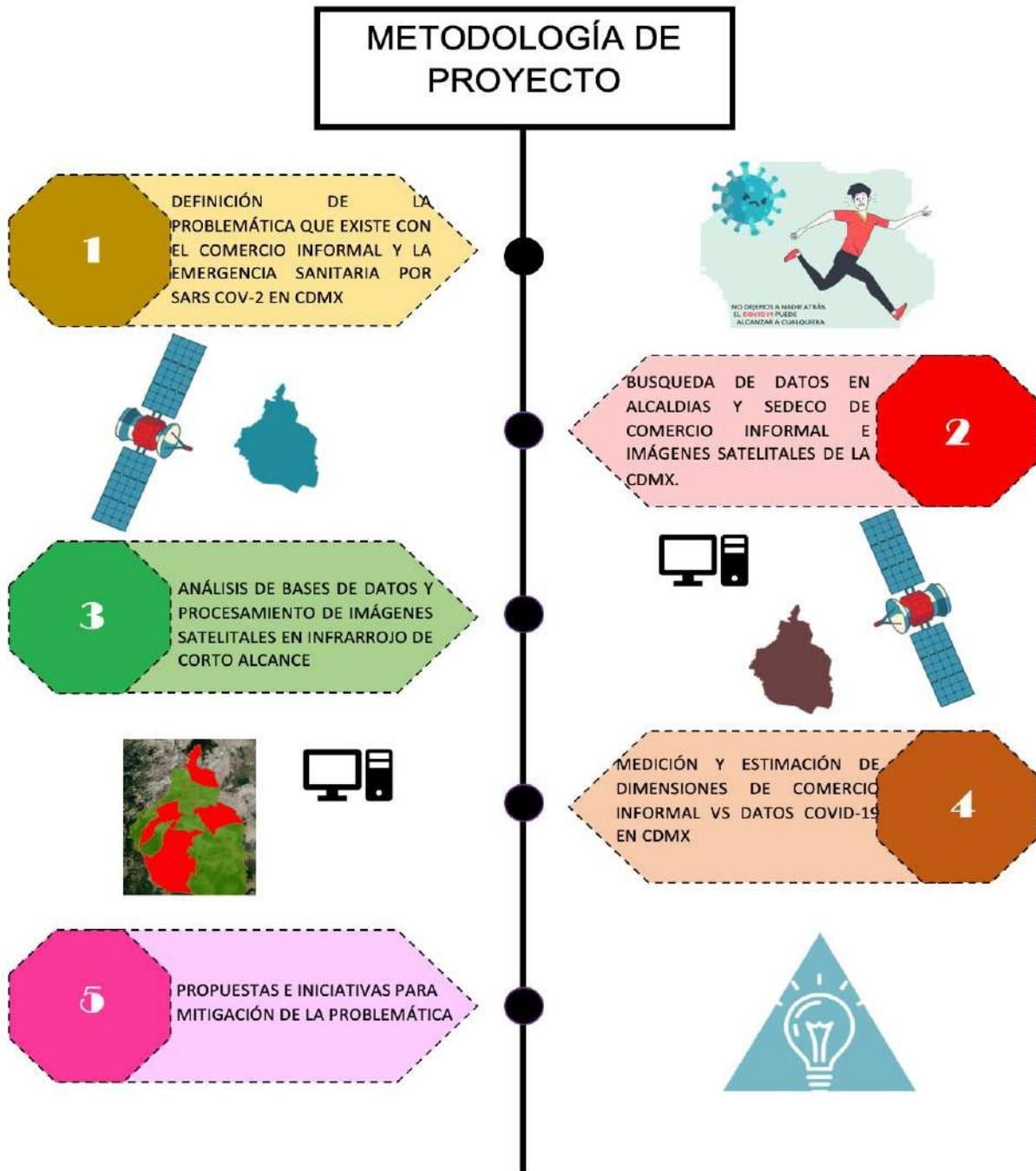


Figura 12: Metodología aplicada al trabajo de Investigación

8. Desarrollo de la Investigación

La Ciudad de México, considerada una de las ciudades más grandes y sobrepobladas del mundo, funge como el centro económico, político y social del País. Gracias a la información satelital de SENTINEL 2-A se obtuvieron imágenes de alta resolución de la superficie de la ciudad, con al menos una semana de anterioridad con las cuales podrán monitorear distintos fenómenos que ocurren, generando información valiosa para la toma de decisiones de múltiples dependencias.

Las imágenes Multiespectrales del Satélite SENTINEL 2-A, cubren 13 bandas espectrales que van de los (443–2190 μm), con un ancho de franja de 290 km y variantes de resolución espacial dependiendo de la frecuencia de cada sensor. Estos van de los 10 m por pixel (cuatro bandas visible e infrarroja cercana), 20 m por pixel (seis bandas infrarrojas de borde rojo y onda corta) y 60 m por Pixel (tres bandas de corrección atmosférica), como se muestra en la Figura 13.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Figura 13: Clasificación de Bandas SENTINEL- 2^a
<https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>

De la Figura 14 a Figura 25, se muestran tomas de SENTINEL- 2A correspondientes a la Ciudad de México del día 22 de diciembre del 2020 en las 13 bandas espectrales que posee el Satélite, con las cuales podremos analizar la información variando sus parámetros y objetivos de detección. Todas las imágenes consultadas y procesadas fueron descargadas de Sentinel EO Browser.



Figura 14: Banda 01 SENTINEL- 2A
(0.442 μm -60 m/pixel)
Sentinel EO Browser.



Figura 15: Banda 0 SENTINEL- 2A
0.490 μm -10 m/pixel)
Sentinel EO Browser.



Figura 16: Banda 03 SENTINEL- 2A
(0.560 μm -10 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

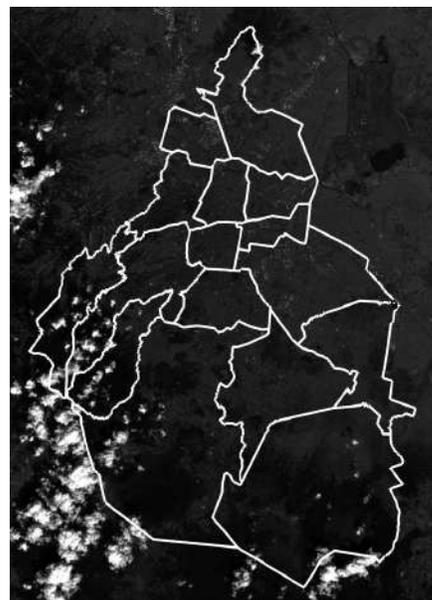


Figura 17: Banda 04 SENTINEL- 2A
(0.442 μm -60 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

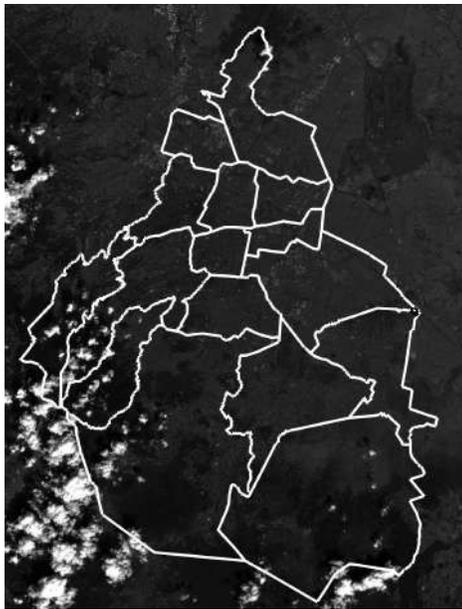


Figura 18: Banda 05 SENTINEL- 2A
(0.705 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

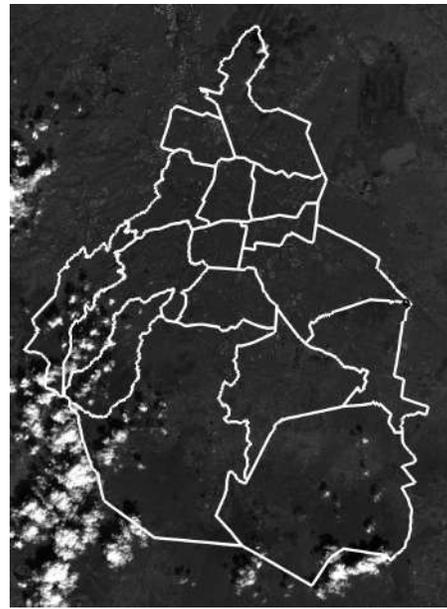


Figura 19: Banda 06 SENTINEL- 2A
(0.740 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

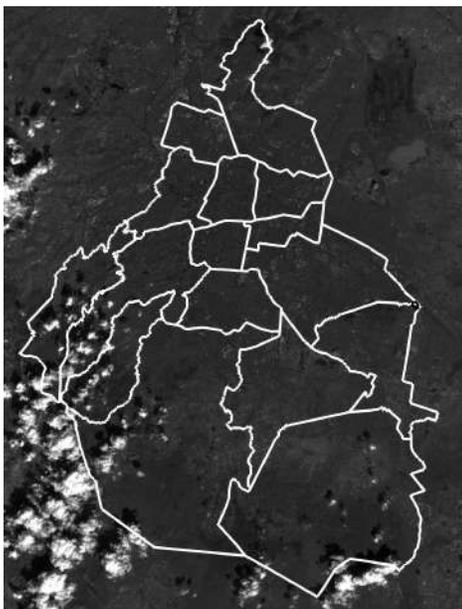


Figura 20: Banda 07 SENTINEL- 2A
(0.783 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

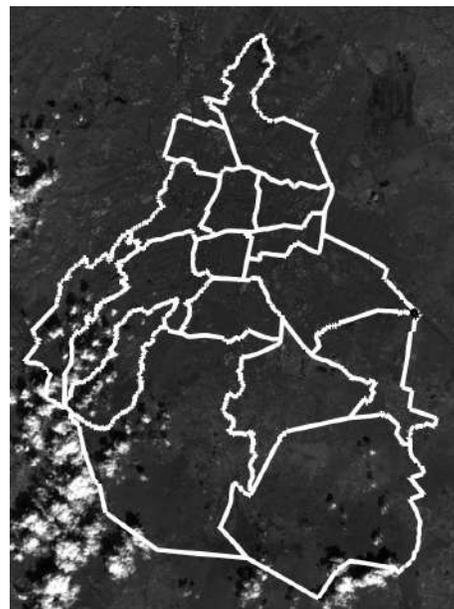


Figura 21: Banda 08 SENTINEL- 2A
(0.842 μm -10 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

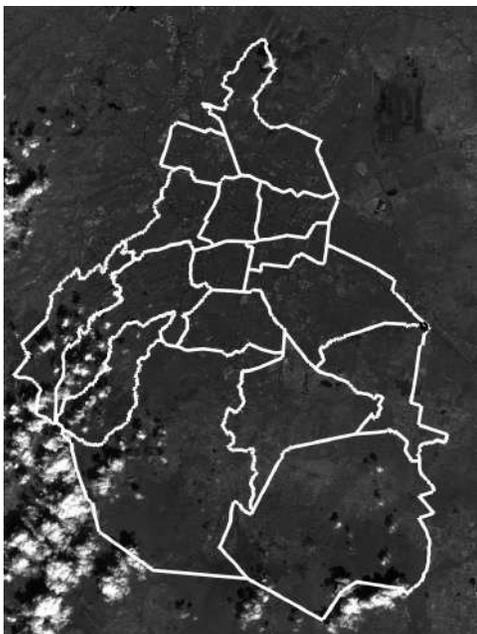


Figura 22: Banda 08A SENTINEL- 2A
(0.865 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

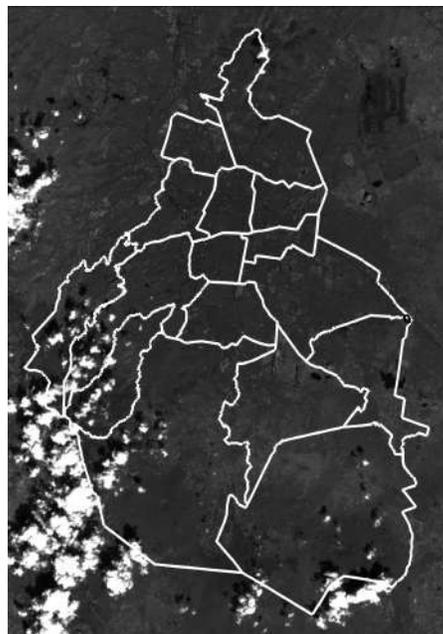


Figura 23: Banda 09 SENTINEL- 2A
(0.945 μm -60 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

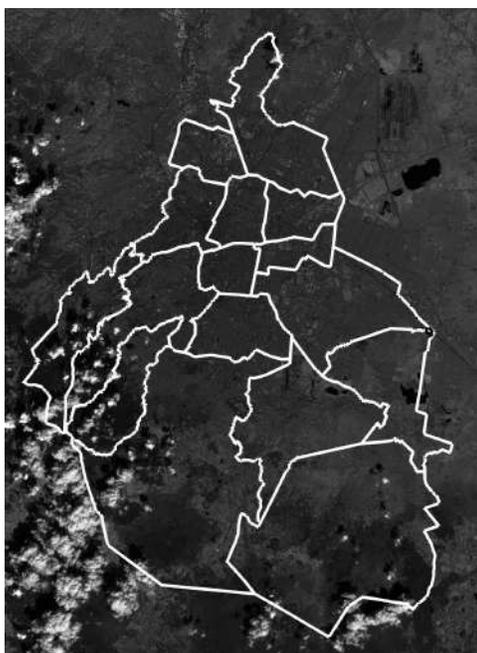


Figura 24: Banda 11 SENTINEL- 2A
(1.610 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

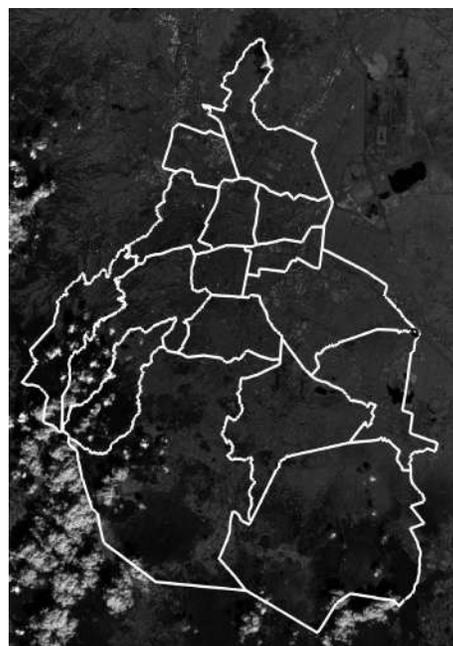


Figura 25: Banda 12 SENTINEL- 2A
(2.190 μm -20 m/pixel)
Sentinel EO Browser.

Según datos de la ESA, el compuesto de color verdadero (True Color) utiliza bandas espectrales de SENTINEL 2-A, visible roja (B04), verde (B03) y azul (B02) en los canales de color rojo, verde y azul correspondientes, lo que da como resultado un resultado de color natural o RGB, que es una buena representación del color natural de la Tierra como lo percibirían los humanos naturalmente. El índice normalizado de vegetación (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) ayuda a la cuantificación de la vegetación verde y su estado de salud, basado en la reflexión de onda que emiten. NDVI adopta valores entre -1 y +1. Los valores negativos (entre 0 y -1) corresponden a agua, los valores cercanos (entre -0.1 y +0.1) suelen indicar zonas sin vegetación como rocas arena o nieve, los valores positivos mínimos normalmente corresponden con arbustos y campos cubiertos de hierba (entre +0.2 y +0.4), en tanto que cifras más elevadas describen los bosques templados y las selvas tropicales (valores cercanos a +1), el compuesto de NDVI está basado en la siguiente operación de bandas espectrales.

$$NDVI = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)}$$

En la Figura 26 se muestran tomas de SENTINEL- 2ª de la Ciudad de México del día 22 de diciembre del 2020 en True Color, comparada con la (Figura 27) del mismo momento procesada en NDVI.



Figura 26: SENTINEL- 2A **Color Real**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.



Figura 27: SENTINEL- 2A **NDVI**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.

El índice normalizado de humedad (NDMI, Normalized Difference Moisture Index) se emplea para determinar el contenido de agua de la vegetación y para monitorizar zonas áridas, el NDMI adopta valores entre -1 y +1, los valores negativos (cerca de -1) corresponden a suelo seco, los valores alrededor de cero (de -0.2 a +0.4), como se muestra en la Figura 28, suelen indicar estrés hídrico o humedad, los valores positivos más altos representan cubiertas vegetales elevadas y sin estrés hídrico (aproximadamente desde +0.4 hasta +1).

El compuesto de NDVI está basado en la siguiente operación de bandas espectrales.

$$NDMI = \frac{(B08A - B11)}{(B08A + B11)}$$



Figura 28: Escala de valores NDMI
Sentinel Hub Browser

Las medidas tomadas en el infrarrojo de onda corta (SWIR, Short Wave Infra Red) de SENTINEL 2-A, son SWIR (B12), NIR (B08A) y Rojo (B04) y se utilizan para estimar la cantidad de agua presente en la vegetación y en el suelo, también para distinguir los tipos de nubes (nubes de agua frente a nubes de hielo), la nieve y el hielo, todos los cuales aparecen blancos en luz visible. La vegetación adopta tonalidades de verde en esta composición, mientras que los suelos secos y las zonas urbanas tienen tonos pardos, y el agua se ve negra.

El terreno recién quemado refleja con intensidad las bandas del infrarrojo de onda corta, lo que hace útil esta composición para cartografiar los daños debidos a incendios. Cada tipo de

roca refleja de un modo distinto la luz infrarroja de onda corta, lo que permite elaborar mapas geológicos comparando la luz SWIR reflejada.

En la Figura 29 se muestran imágenes de SENTINEL- 2A la Ciudad de México del día 22 de diciembre del 2020 procesada en NDMI, comparada con la Figura 30 del mismo momento procesada con SWIR.

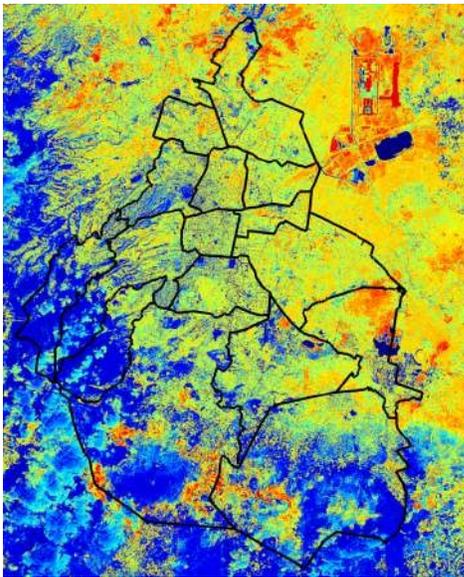


Figura 29: SENTINEL- 2A **NDMI**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.

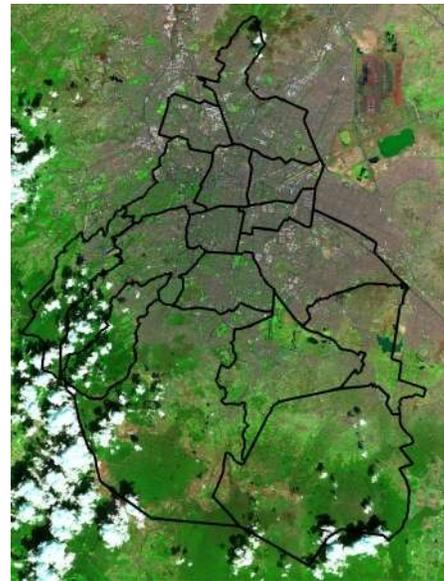


Figura 30: SENTINEL- 2A **SWIR**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.

False Color (Urban) utiliza bandas espectrales de SENTINEL 2-A, SWIR (B12), SWIR (B11) y Rojo (B04). Esta composición se utiliza para visualizar mejor las zonas urbanizadas, la vegetación queda representada en tonos de verde, mientras que el terreno urbanizado aparece en blancos, grises y morados, el suelo, la arena y los minerales se revelan en toda una variedad de colores, la nieve y el hielo se muestran en azul oscuro, mientras que el agua se ve negra o azul, las zonas inundadas se ven en azul muy oscuro, casi negro.

Esta composición resulta útil para detectar incendios forestales y calderas volcánicas, que se reflejan en tonos rojos y amarillos, el índice normalizado de nieve (NDSI, Normalised Difference Snow Index) de Sentinel-2 permite distinguir entre nubes y nieve, porque la nieve

absorbe en el infrarrojo de onda corta, pero refleja en el visible y en el infrarrojo, mientras que las nubes suelen reflejar todas estas bandas, la cubierta de nieve se muestra en un azul claro llamativo.

$$NDSI = \frac{(B03 - B11)}{(B03 + B11)}$$

En la Figura 31 se muestran imágenes de SENTINEL- 2A de la Ciudad de México del día 22 de Diciembre del 2020 procesada en False Color (Urban), comparada con la Figura 32 del mismo momento procesada con NDSI.



Figura 31: SENTINEL- 2A **False Color Urban**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.



Figura 32: SENTINEL- 2A **NDSI**
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.

Una composición en color falso (False Color) recurre al menos a una imagen obtenida en longitudes de onda no visibles, es frecuente la composición en color falso que utiliza las bandas del infrarrojo cercano (B08), el rojo (B04) y el verde (B03) (una banda es una región del espectro electromagnético; los sensores satelitales obtienen imágenes de la Tierra en múltiples bandas).

Estas composiciones en color falso se suelen emplear para diagnosticar la densidad y la salud de la vegetación, ya que las plantas reflejan las bandas infrarroja y verde, mientras que absorben el color rojo, las ciudades y el suelo desnudo aparecen grises o en tonos pardos, mientras que el agua se muestra azul o negra.

En la Figura 33 se muestran tomas de SENTINEL- 2ª de la Ciudad de México del día 22 de Diciembre del 2020 procesada en False Color (Urban).



Figura 33: SENTINEL- 2A False Color
22 de diciembre del 2020
Sentinel EO Browser.

9. Características especiales para el análisis de la información

Se han podido identificar y validar como Tianguis en múltiples recorridos por la Ciudad de México, recabando datos de campo y mediante la detección de patrones en la superficie con imágenes satelitales, se puede evaluar el comportamiento cíclico con el que se comportan. Para fines prácticos se concluyó que se podrían analizar imágenes satelitales de cualquier fecha del año, mientras que se preservaran ordenadamente los días de la semana ya que dadas las características del satélite y el clima pueden afectar la información obtenida.

En los recorridos en campo, se hizo la verificación con coordenadas y geoposicionamiento para validar la información oficial y poderla comparar más adelante mediante el análisis de las imágenes multiespectrales. En la Figura 34 se muestra una brigada interinstitucional del gobierno de la Ciudad de México en un recorrido de revisión en el Tianguis de Santo Tomas Ajusco, el cual estaba validando la oferta.



Figura 34: Tianguis Santo Tomas Ajusco
21 de julio del 2020

Para esta investigación se utilizaron imágenes satelitales con un porcentaje menor al 5% de nubosidad en la zona, debido a que de tener uno con mayor porcentaje de nubosidad implicaría un mayor riesgo de error en procesamiento, generando cambios significativos en los parámetros de la superficie de la ciudad, tales como temperatura, humedad, y vegetación que influyen en el análisis en Infrarrojo y la reflectancia de la radiación electromagnética en los sensores, así como la visibilidad en las zonas de interés.

En las Figuras 35 y 36 se muestran imágenes (False Color) que contemplan la superficie de la Ciudad de México en la cual se muestra una comparativa del porcentaje de visibilidad, donde se pueden apreciar las diferencias de nubosidades entre ambas figuras, así como la reflectancia del infrarrojo en su intensidad, la que describe un cambio de temperatura debido a la humedad.

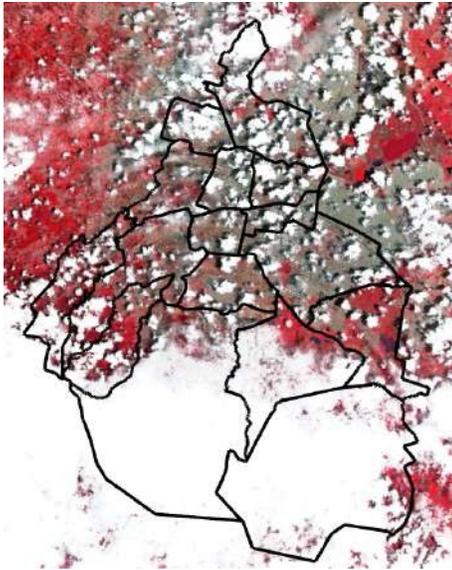


Figura 35: SENTINEL- 2A False Color
29 de Agosto del 2020,17:18;34 UTC
Nubosidad: 54.3 %
Sentinel EO Browser.



Figura 36: SENTINEL- 2A False Color
23 de Octubre del 2020,17:18;32 UTC
Nubosidad: 3.4 %
Sentinel EO Browser.

10. Desarrollo del experimento

Mediante el análisis de imágenes espectrales de SENTINEL 2A, se utilizaron varias combinaciones de las bandas espectrales, generando diferentes índices:

- Normalized Difference Moisture Index (NDMI)
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- Normalized Difference Snow Index (NDSI)
- False Color (SWIR)

Con las cuales se analizó la combinación de las bandas para poder analizar la superficie de la Ciudad de México desde múltiples enfoques, humedad, vegetación y temperatura. Buscando obtener patrones en la superficie que nos permitieran localizar patrones lineales con alta probabilidad de ser algún mercado sobre ruedas o tianguis desplegado sobre alguna avenida, sin embargo, tanto con NDVI, NMDI y NDSI, no fue posible distinguir mayor

diferencia en la superficie.

Por otro lado, las imágenes (FALSE COLOR) basadas SWIR pudieron localizar de manera más precisa estos patrones mayores a 125 metros en la superficie con mejor aproximación y mejorando la probabilidad de ser un Tianguis. Mediante la combinación de las bandas espectrales de SENTINEL 2A infrarrojo cercano (B08), el rojo (B04) y el verde (B03), se pudo generar una imagen de alta resolución como se muestra en la Figura 37.

Imágenes del 28 de Septiembre del 2020

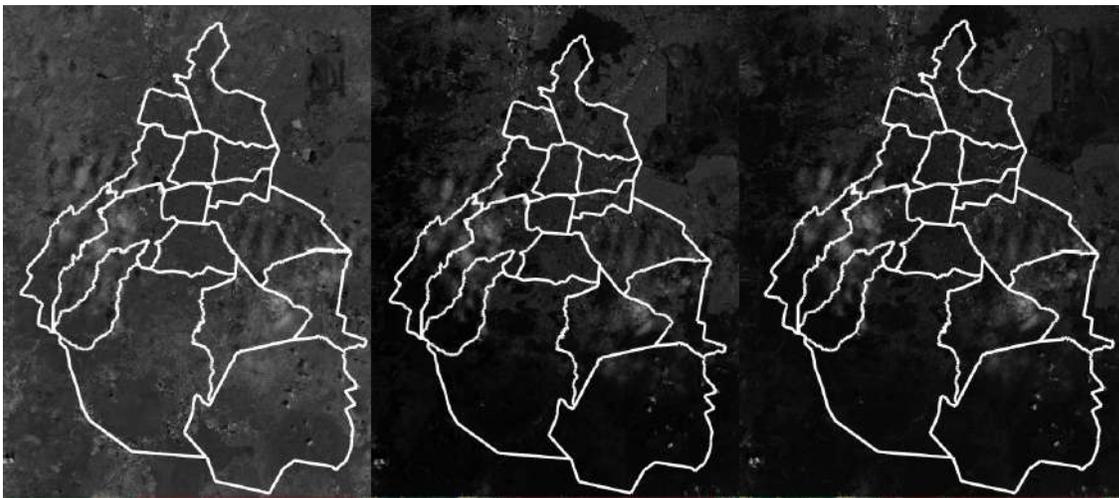


Figura 37: SENTINEL- 2A **Banda 8,4,3**
28 de Septiembre del 2020,17:18:32 UTC
Nubosidad: 3.4 %
Sentinel EO Browser.

Mediante 32 segmentos de imágenes satelitales en infrarrojo de corto alcance se reconstruyó el área total de la Ciudad de México. Cada una de las imágenes es aproximadamente 12,053 Hectáreas. Realizando este proceso por cada día de la semana para poder cubrir la superficie total de la Ciudad de México. Con una resolución espacial de 10 m/Píxel mediante software especializado como se muestra en la Figura 38.



Figura 38: SENTINEL- 2A **Banda 8,4,3 Procesada**
 28 de Septiembre del 2020,17:18:32 UTC
 Nubosidad: 3.4 %
 Sentinel EO Browser.

La Figura 39 contempla una sección territorial entre las Alcaldías Xochimilco e Iztapalapa, la cual está gravemente afectada por el comercio informal, particularmente los días domingo. El Tianguis que se encuentra en Av. De las Torres esquina Canal de Chalco es uno de los más extensos al sur de la Ciudad de México con una longitud de casi 2 Km y un área 80,200 m² . Se estima cerca 3000 oferentes que venden sus productos y lo visitan más de 10,000 personas de toda la Ciudad.

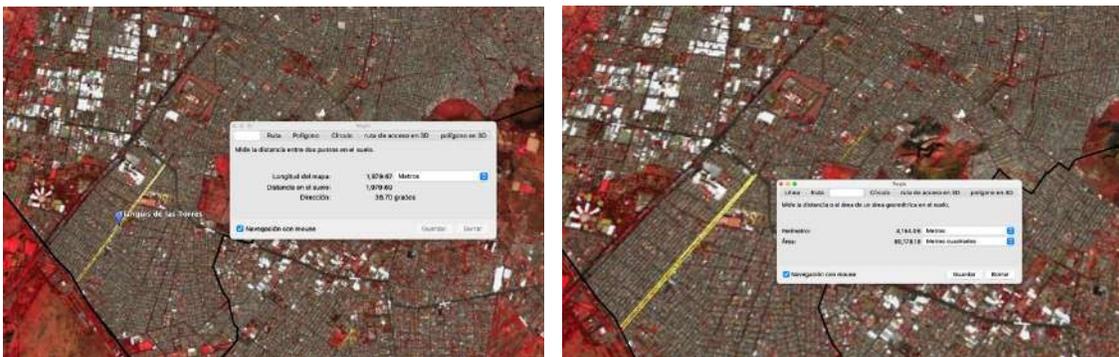


Figura 39: Imagen basada en segmentos del Tianguis de las Torres, Alcaldía Iztapalapa en **FALSE COLOR**
 Domingo 22 de Noviembre del 2020,17:18:32 UTC
 Nubosidad: 3.4 %
 Sentinel EO Browser.

Como parte de las consideraciones de cómo se comportan estos eventos, los tianguis y operan diariamente y de manera cíclica en distintos puntos de la Ciudad, esto vuelve muy variante su distribución alrededor de las alcaldías. La siguiente reconstrucción de imágenes satelitales basadas en **FALSE COLOR** fueron seccionadas en distintos días de la semana para poder tener un muestreo individual por día y por alcaldía como se muestra en de las Figuras 40 a la 46.

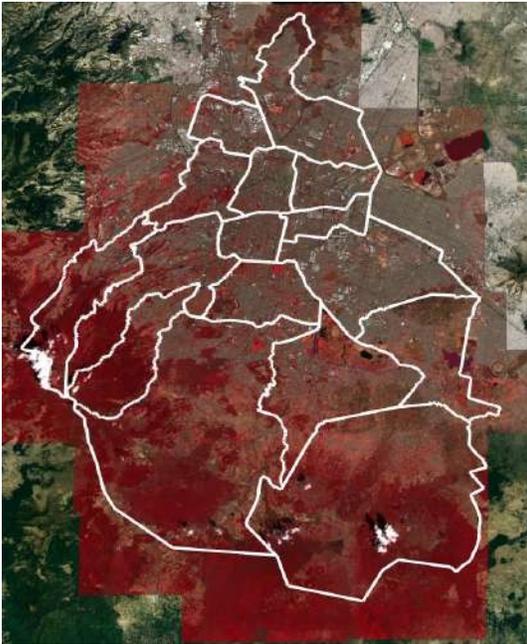


Figura 40: SENTINEL- 2A **False Color**
Lunes 27 de Enero del 2020,17:18;22 UTC
Nubosidad: 1.3 %
Sentinel EO Browser.

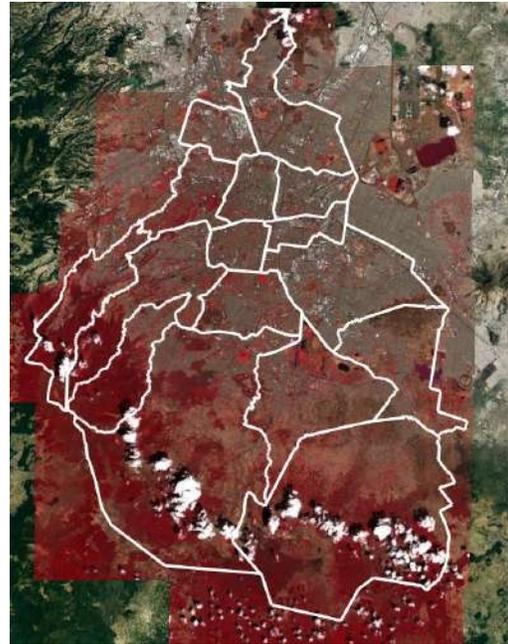


Figura 41: SENTINEL- 2A **False Color**
Martes 11 de Febrero del 2020,17:18;22 UTC
Nubosidad: 0.2 %
Sentinel EO Browser.

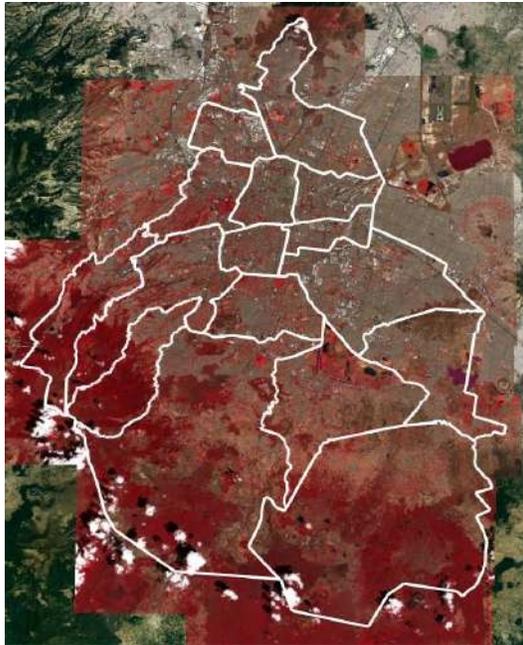


Figura 42: SENTINEL- 2A **False Color**
Miércoles 26 de Febrero del 2020,17:18;26 UTC
Nubosidad: 3.7 %
Sentinel EO Browser.

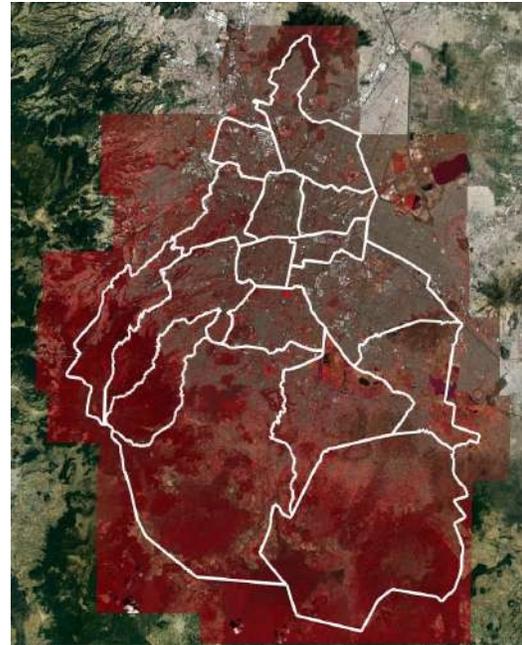


Figura 43: SENTINEL- 2A **False Color**
Jueves 13 de Marzo del 2020,17:18;22 UTC
Nubosidad: 1.4 %
Sentinel EO Browser.

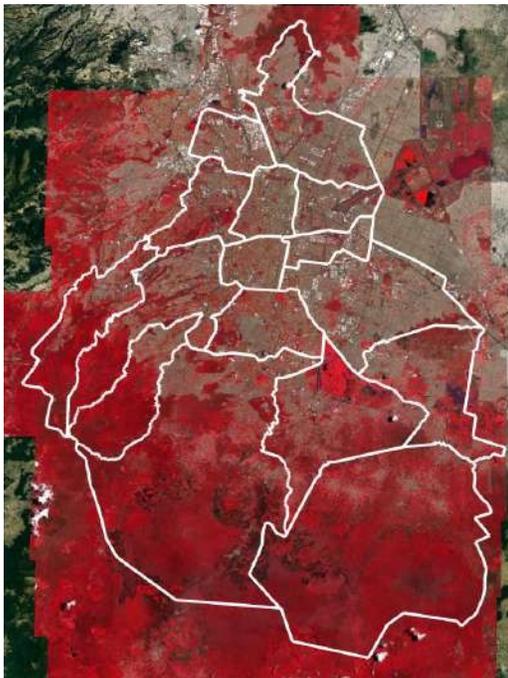


Figura 44: SENTINEL- 2A **False Color**
Viernes 10 de Julio del 2020,17:18;33 UTC
Nubosidad: 8.4 %
Sentinel EO Browser.



Figura 45: SENTINEL- 2A **False Color**
Sábado 7 de Noviembre del 2020,17:18;33 UTC
Nubosidad: 6.2 %
Sentinel EO Browser.

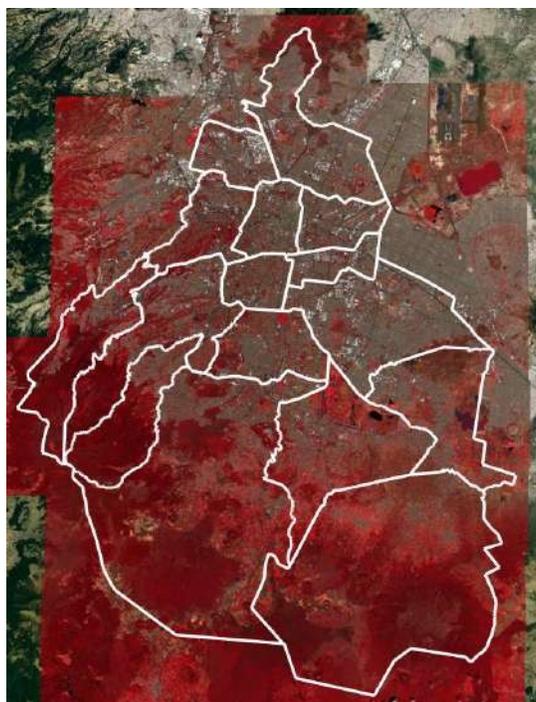


Figura 46: SENTINEL- 2A **False Color**
Domingo 22 de Noviembre del 2020,17:18;29 UTC
Nubosidad: 0.3 %
Sentinel EO Browser.

Después de la reconstrucción de la imagen satelital, se procedió a la búsqueda y detección visual y superposición de imágenes satelitales de estos fenómenos socio económicos denominados tianguis y mercados sobre ruedas que abundan todos los días de la semana en las distintas alcaldías, gracias al procesamiento (en False color), que permite ver infrarrojo, muchos de los detalles de la superficie de la ciudad, se centran en las zonas de las **Alcaldías: Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalpan y Álvaro Obregón**, ya que son las que más mercados sobre ruedas y tianguis tienen en cuanto aferencia y dimensiones.

Todos los Tianguis geolocalizados y validados por la información oficial de la Secretaria de Gobierno de la Ciudad de México son marcados de azul y los que son geolocalizados pero no se encuentran en los registros oficiales de la Secretaria de Gobierno de la Ciudad de México, son marcados en verde.

Posteriormente son medidos tanto como en longitud como en área, lo cual ayudará a tener un estimado de cuantos comerciantes están operando en cada uno de los tianguis.

Mediante 3 clasificaciones se estarán catalogando los tianguis.

- Tianguis Mediano: 125 metros lineales – 900 metros lineales
- Tianguis Grande: 910 metros lineales- 2000 metros lineales
- Tianguis Masivo: 2100 metros lineales en adelante

Los Tianguis grandes y masivos se encuentra en la zona oriente de la ciudad de México, particularmente en la Alcaldía Iztapalapa y las zonas de fronteras entre la Ciudad de México y el Estado de México. Estos eventos se replican en toda el área metropolitana. Sin embargo, este análisis técnico solo contempla los límites territoriales de la Ciudad de México.

En la siguiente sección de imágenes se mostrará de manera general cómo se comportan los Tianguis en cada una de las alcaldías y sus distintos días de la semana. Todas las imágenes usadas fueron seleccionadas con índices menores al 5% de humedad para evitar errores de aproximación. Las Figuras 47 a la 50 muestran imágenes en FALSE COLOR del día lunes 27 de Enero del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días lunes.

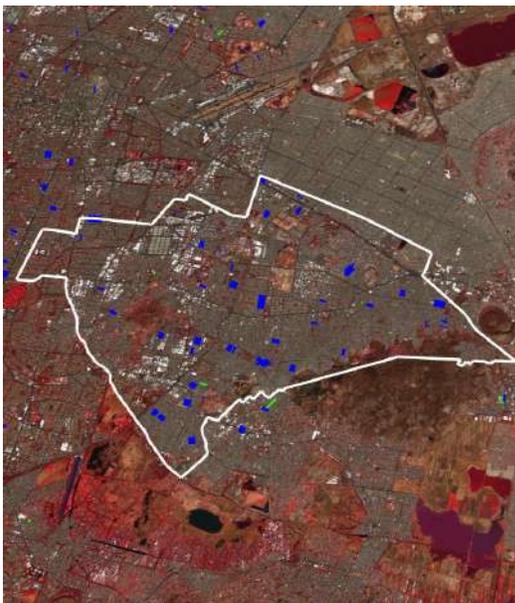


Figura 47: **Alcaldía Iztapalapa**
Tianguis Registrados: **52**
Ofertantes Aproximados: **8270**
Área Ocupada Aproximada: **45581 m²**
Sentinel EO Browser.

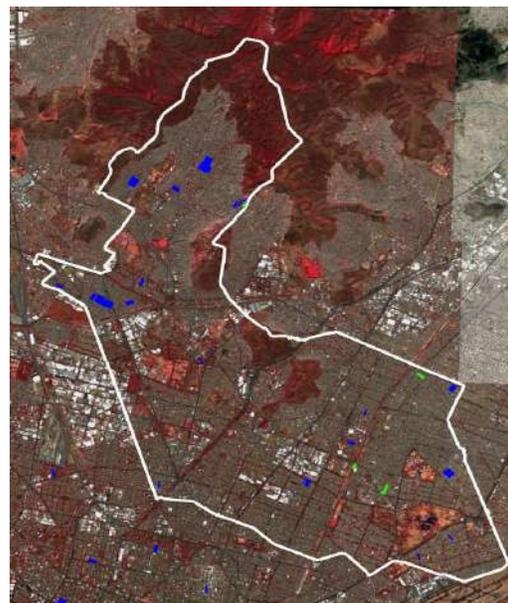


Figura 48: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
Tianguis Registrados: **23**
Ofertantes Aproximados: **5764**
Área Ocupada Aproximada: **31866 m²**
Sentinel EO Browser.

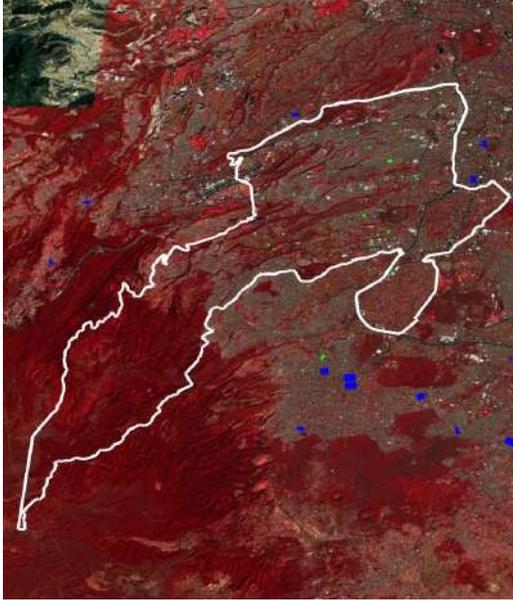


Figura 49: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **22**
 Oferentes Aproximados: **1407**
 Área Ocupada Aproximada: **7738 m²**
 Sentinel EO Browser.

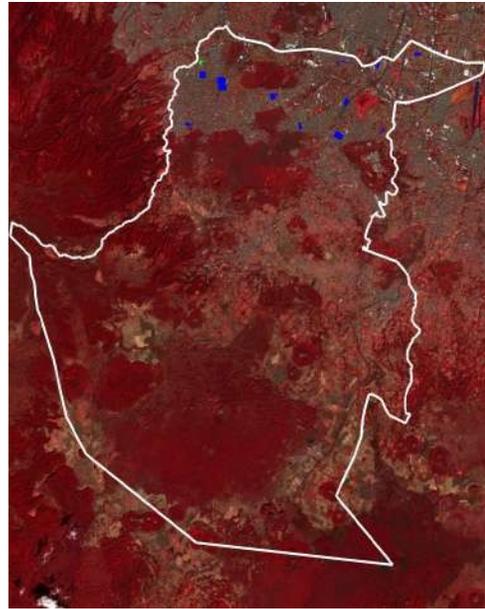


Figura 50: **Alcaldía Tlalpan**
 Tianguis Registrados: **15**
 Oferentes Aproximados: **6966**
 Área Ocupada Aproximada: **38612 m²**
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 51 a la 54 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Martes 11 de Febrero del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días martes.

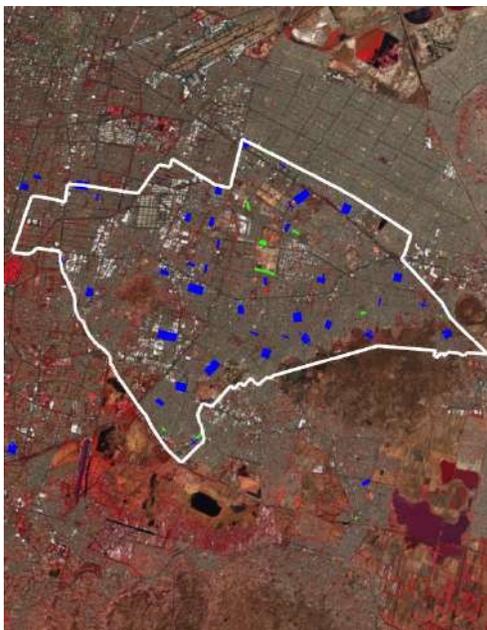
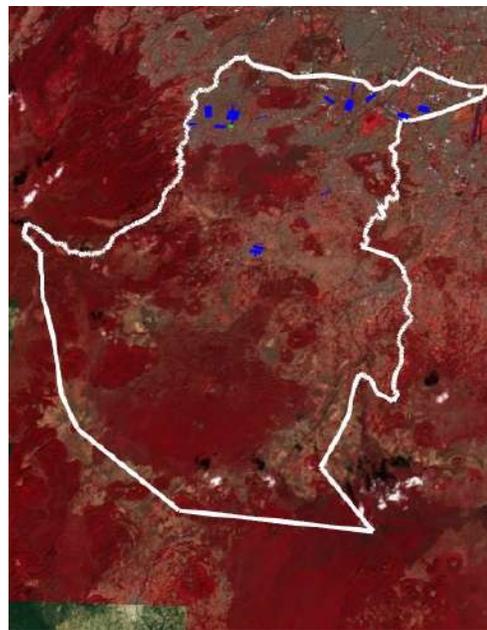


Figura 51: **Alcaldía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: **49**
 Oferentes Aproximados: **12228**
 Sentinel EO Browser.



Área Ocupada Aproximada: **67254 m²**

Sentinel EO Browser.

Figura 52: Alcaldía Tlalpan
Tianguis Registrados: **21**
Ofertes Aproximados: **1582**
Área Ocupada Aproximada: **8701 m²**

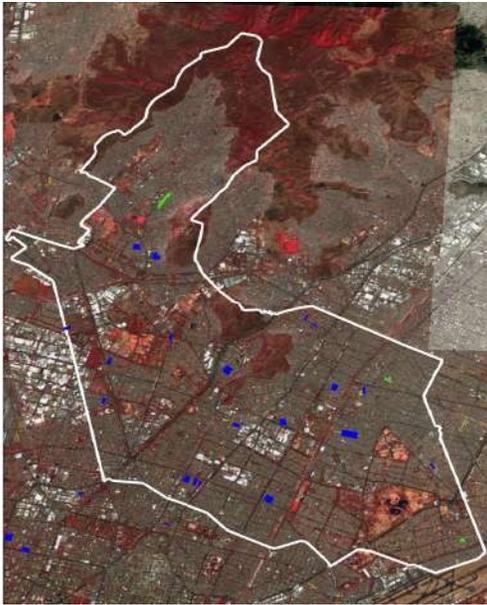


Figura 53: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
 Tianguis Registrados: **22**
 Oferentes Aproximados: **3942**
 Área Ocupada Aproximada: **21681 m²**
 Sentinel EO Browser.

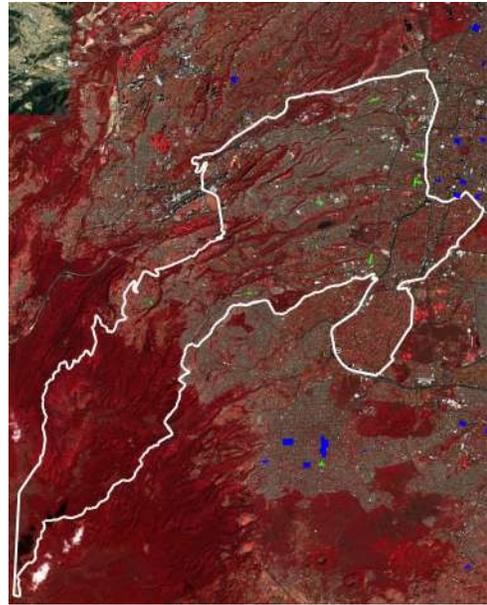
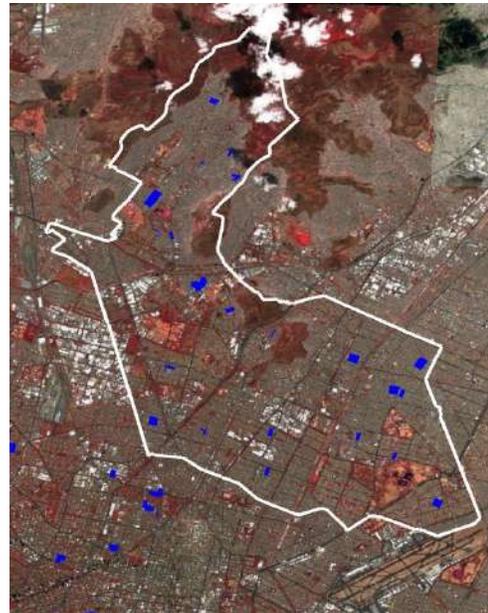


Figura 54: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **15**
 Oferentes Aproximados: **1212**
 Área Ocupada Aproximada: **6666 m²**
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 55 a la 58 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Miércoles 26 de Febrero del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días miércoles.



Figura 55: **Alcaldía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: **50**
 Oferentes Aproximados: **51128**
 Sentinel EO Browser.



Área Ocupada Aproximada: **283216 m²**

Sentinel EO Browser.

Figura 56: Alcaldía Gustavo A. Madero
Tianguis Registrados: **28**
Oferentes Aproximados: **8868**
Área Ocupada Aproximada: **48871 m²**

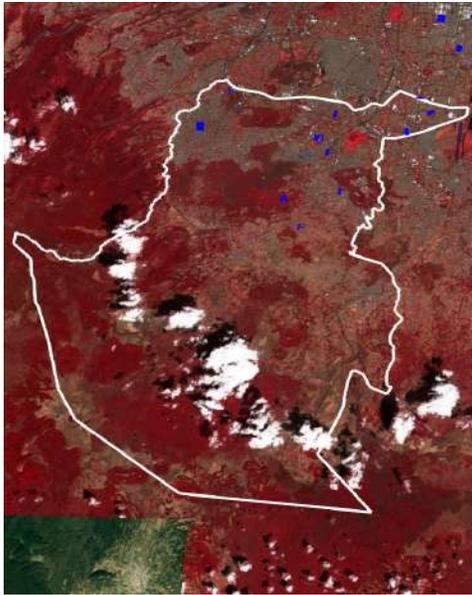


Figura 57: **Alcaldía Tlalpan**
 Tianguis Registrados: **11**
 Oferentes Aproximados: **1121**
 Área Ocupada Aproximada: **6165 m²**
 Sentinel EO Browser.

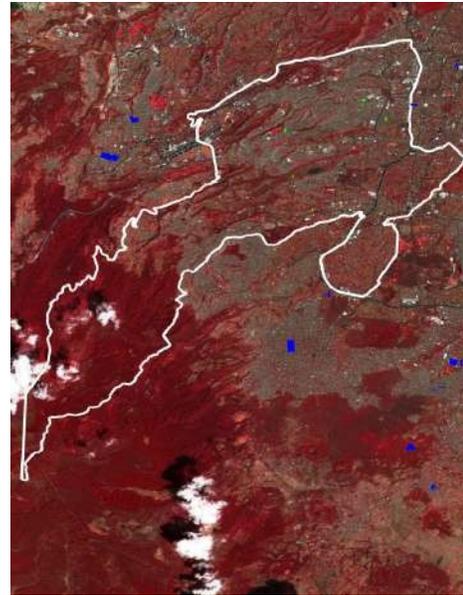


Figura 58: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **17**
 Oferentes Aproximados: **2463**
 Área Ocupada Aproximada: **13637 m²**
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 59 a la 62 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Jueves 12 de Marzo del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días jueves.

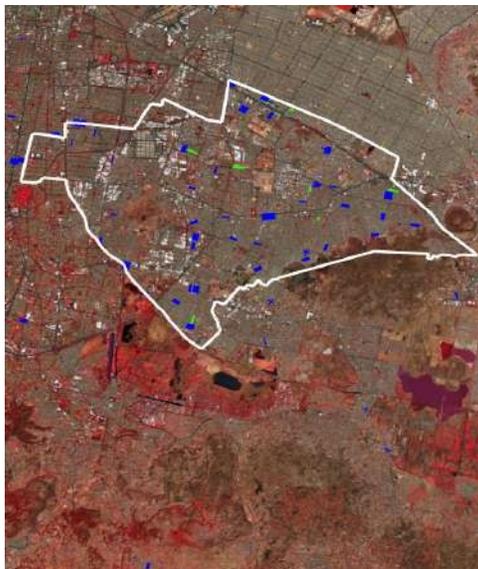


Figura 59: **Alcaldía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: **60**
 Oferentes Aproximados: **19989**
 Área Ocupada Aproximada: **110506 m²**
 Sentinel EO Browser.

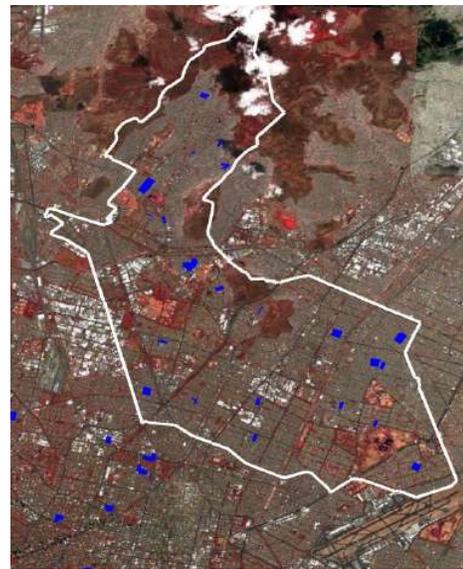


Figura 60: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
 Tianguis Registrados: **25**
 Oferentes Aproximados: **8263**
 Área Ocupada Aproximada: **45638 m²**
 Sentinel EO Browser.

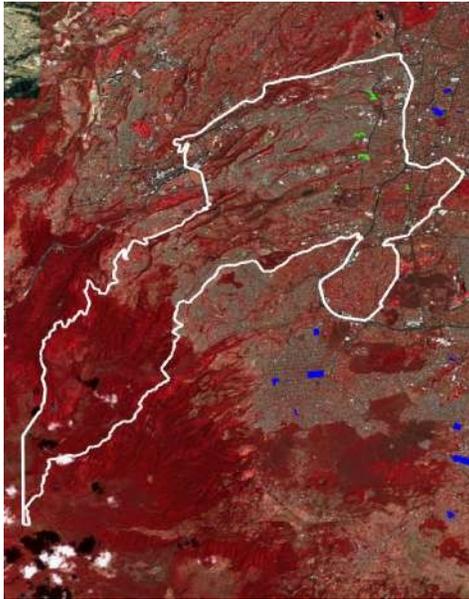


Figura 61: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: 17
 Oferentes Aproximados: 1924
 Área Ocupada Aproximada: 10582 m²
 Sentinel EO Browser.

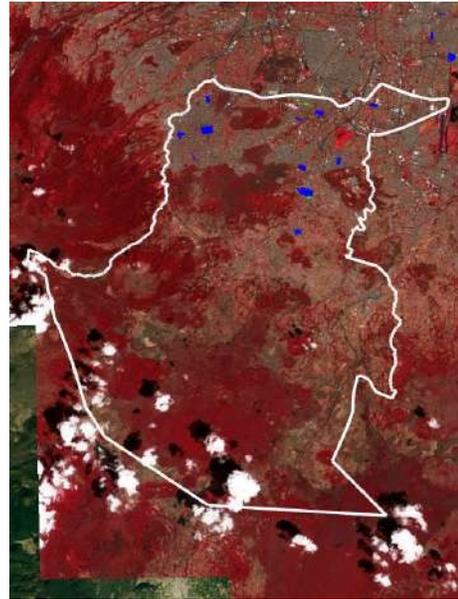


Figura 62: **Alcaldía Tlalpan**
 Tianguis Registrados: 17
 Oferentes Aproximados: 3844
 Área Ocupada Aproximada: 21261 m²
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 63 a la 66 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Viernes 10 de Julio del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días viernes.

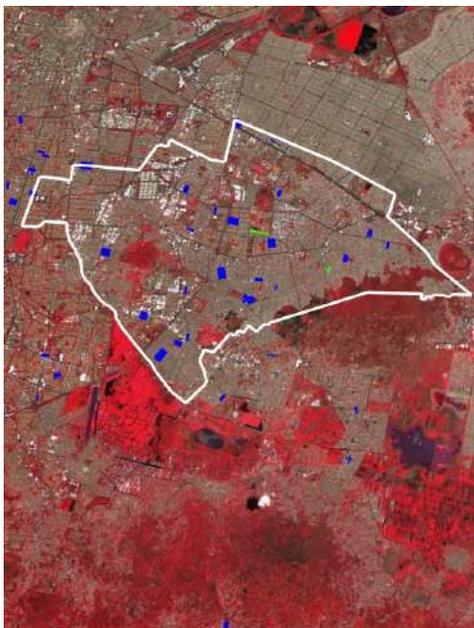


Figura 63: **Alcaldía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: 41
 Oferentes Aproximados: 17486
 Área Ocupada Aproximada: 92495 m²
 Sentinel EO Browser.

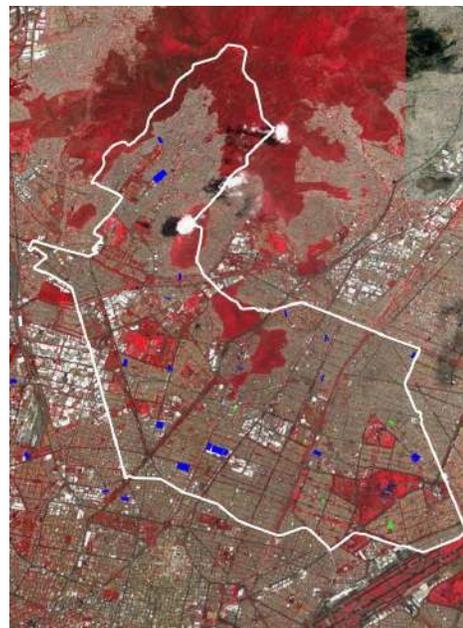


Figura 64: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
 Tianguis Registrados: 19
 Oferentes Aproximados: 4836
 Área Ocupada Aproximada: 26685 m²
 Sentinel EO Browser.

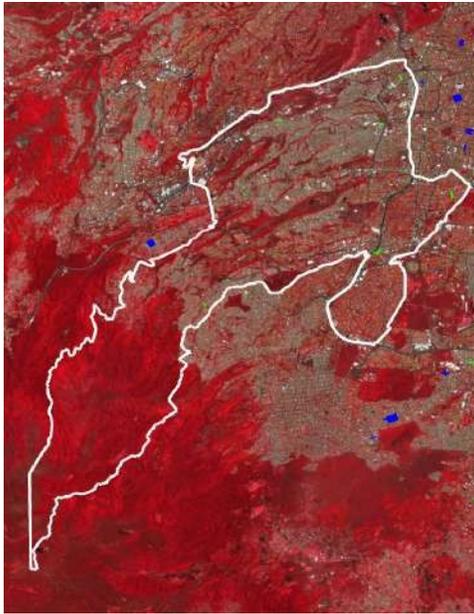


Figura 65: **Alcabía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **15**
 Oferentes Aproximados: **3369**
 Área Ocupada Aproximada: **18670 m²**
 Sentinel EO Browser.



Figura 66: **Alcabía Tlalpan**
 Tianguis Registrados: **13**
 Oferentes Aproximados: **973**
 Área Ocupada Aproximada: **5351 m²**
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 67 a la 70 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Sábado 7 de Noviembre del 2020 de las Alcabías con mayor número de Tianguis de los días sábados.

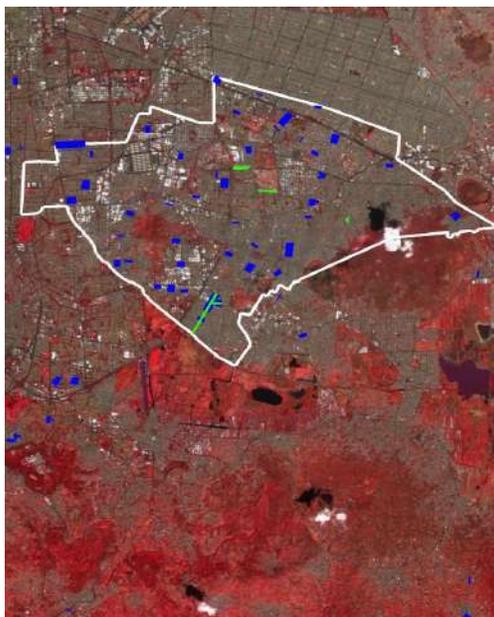
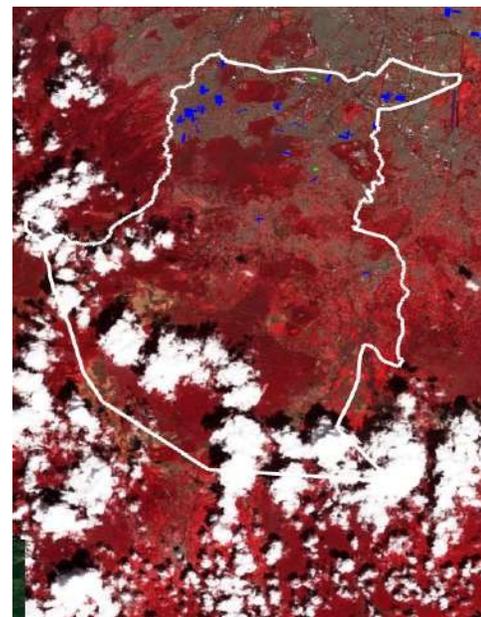


Figura 67: **Alcabía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: **64**
 Oferentes Aproximados: **38652**
 Área Ocupada Aproximada: **213692 m²**



Sentinel EO Browser.

Figura 68: **Alcaldía Tlalpan**
Tianguis Registrados: **26**
Ofertes Aproximados: **2368**
Área Ocupada Aproximada: **13063 m²**
Sentinel EO Browser.

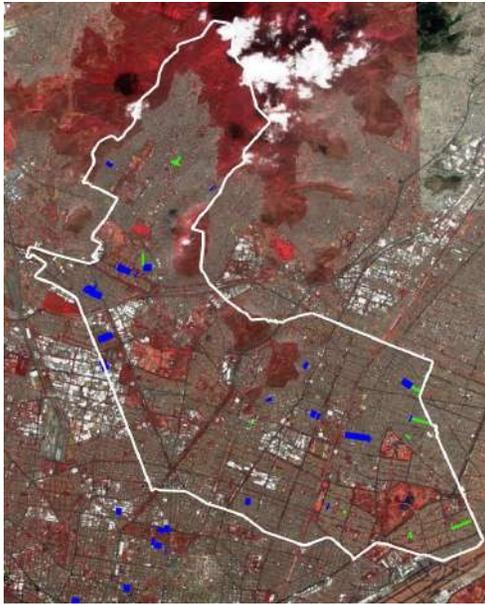


Figura 69: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
 Tianguis Registrados: **23**
 Oferentes Aproximados: **14578**
 Área Ocupada Aproximada: **13063 m²**
 Sentinel EO Browser.

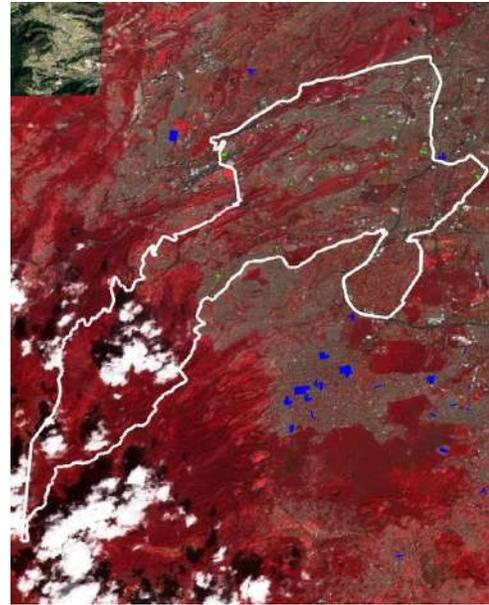


Figura 70: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **15**
 Oferentes Aproximados: **1949**
 Área Ocupada Aproximada: **10719 m²**
 Sentinel EO Browser.

Las Figuras 71 a la 74 muestran imágenes en FALSE COLOR del día Domingo 22 de Noviembre del 2020 de las Alcaldías con mayor número de Tianguis de los días domingo.

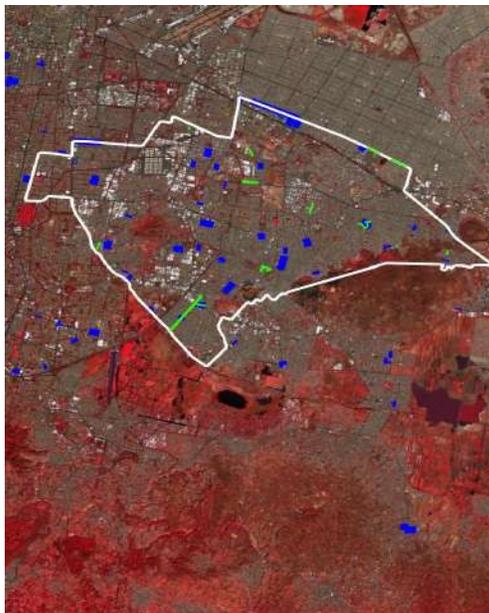


Figura 71: **Alcaldía Iztapalapa**
 Tianguis Registrados: **67**
 Oferentes Aproximados: **309721**
 Área Ocupada Aproximada: **297038 m²**
 Sentinel EO Browser.



Figura 72: **Alcaldía Tlalpan**
 Tianguis Registrados: **35**
 Oferentes Aproximados: **8679**
 Área Ocupada Aproximada: **48025 m²**
 Sentinel EO Browser.

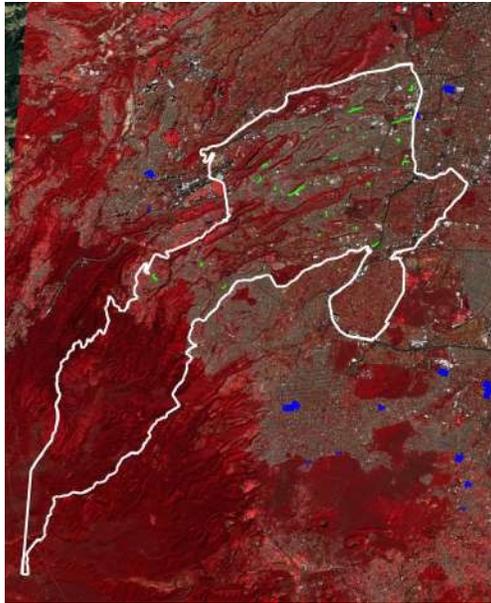


Figura 73: **Alcaldía Álvaro Obregón**
 Tianguis Registrados: **34**
 Oferentes Aproximados: **13995**
 Área Ocupada Aproximada: **77432 m²**
 Sentinel EO Browser.

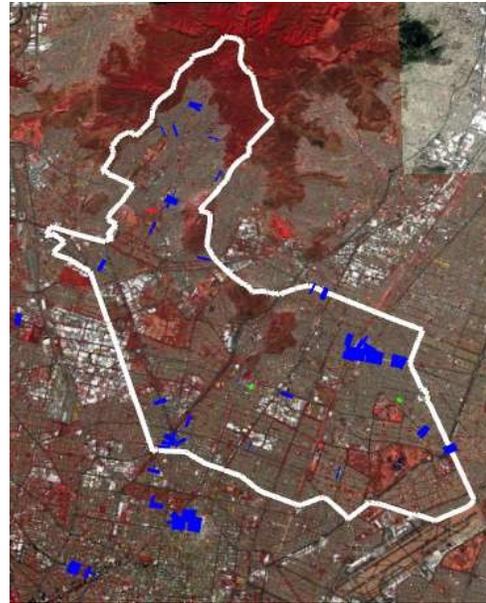


Figura 74: **Alcaldía Gustavo A. Madero**
 Tianguis Registrados: **28**
 Oferentes Aproximados: **21337**
 Área Ocupada Aproximada: **117661 m²**
 Sentinel EO Browser.

El crecimiento urbano descontrolado en la Ciudad de México ha sido causante de la aparición de Tianguis en toda la ciudad, debido a que la cadena de suministros se ha visto rebasada en gran parte de la ciudad. Particularmente en las Alcaldías con mayor población o densidad territorial como se muestra en la Figura 75 se muestra el número de habitantes por alcaldías del año 2015 en las que destacan Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón y Tlalpan con mayor densidad poblacional en la ciudad.

CLAVE	ALCALDÍA	PERSONAS
1	Iztapalapa	1827868
2	Gustavo A. Madero	1164477
3	Álvaro Obregón	749982
4	Tlalpan	677104
5	Coyoacán	608479
6	Cuauhtémoc	532553
7	Venustiano Carranza	427263
8	Benito Juárez	417416
9	Xochimilco	415933
10	Azcapotzalco	400161
11	Iztacalco	390348
12	Miguel Hidalgo	364439
13	Tláhuac	361593
14	La Magdalena Contreras	243886
15	Cuajimalpa de Morelos	199224
16	Milpa Alta	137927
		8918653

Figura 75: Densidad Poblacional del 2015 en la CDMX

Los Tianguis más grandes registrado en el 2020 se encontraron en la Alcaldía de Iztapalapa, colindando con los límites territoriales del Estado de México. En la Figura 76 se muestra el Tianguis más grande todos, el Tianguis “ El Salado”, con una longitud aproximada a 5100 m y un área aproximada a 78,700 m².

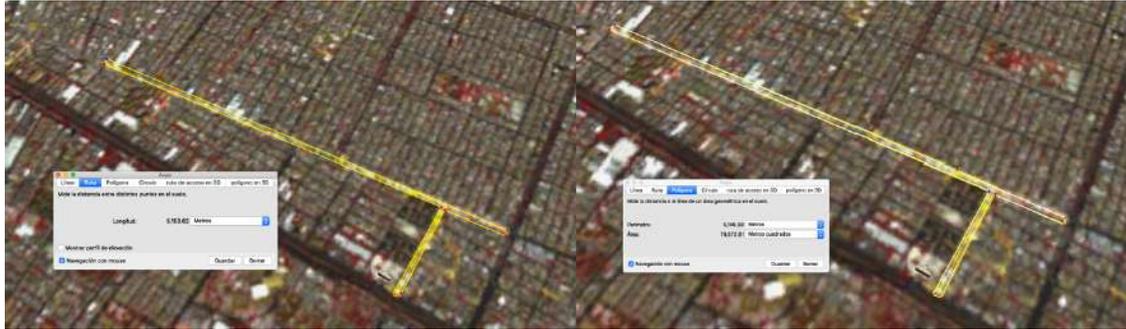


Figura 76: Tianguis “ El Salado” Alcaldía Iztapalapa
Domingo 22 de Noviembre de 2020
Sentinel EO Browser

Por otro lado, como se muestra en la Figura 77 se encuentra el Tianguis de “Las Torres” en la Alcaldía Iztapalapa y en la Figura 78, el Tianguis de “San Felipe” en la Alcaldía Gustavo A. Madero, los cuales rebasan los 2500 metros lineales y los 70,000 m².

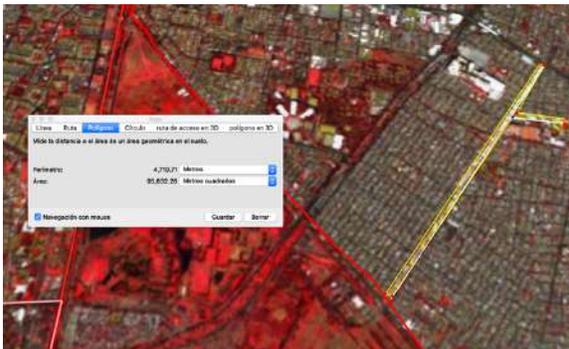


Figura 77: Tianguis “La Torres”
Domingo 22 de Noviembre de 2020
Sentinel EO Browser



Figura 78: Tianguis “ San Felipe ”
Domingo 22 de Noviembre de 2020
Sentinel EO Browser

Como se muestra en la Figuras 79 las alcaldías Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalpan y Álvaro Obregón representan el 49% de la población total de la Ciudad de México generando no solo una sobrepoblación en esas zonas también de altas tasas de contagios por SARS-CoV-2.

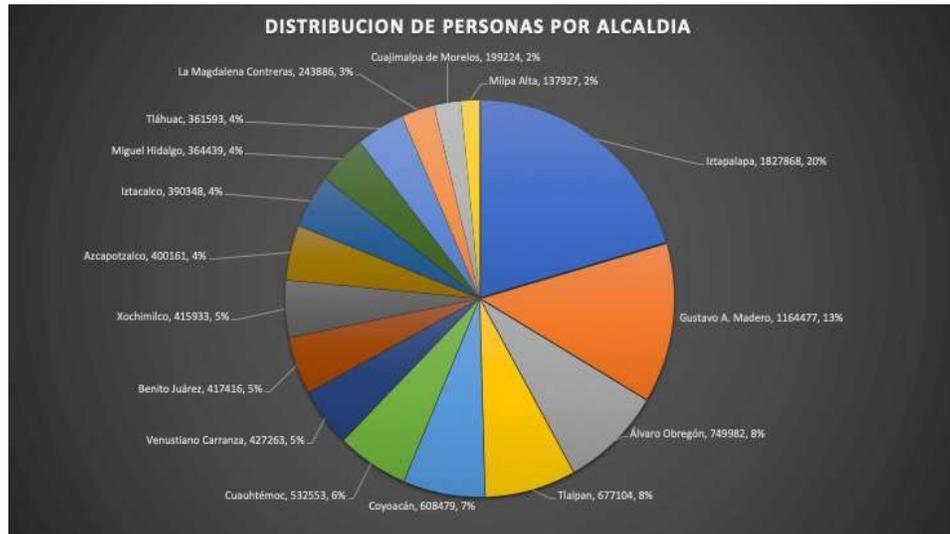


Figura 79: Distribución Poblacional del 2015 en la CDMX
INEGI

Datos oficiales de la Ciudad de México muestran desde que se suscitó el primer caso de SARS-CoV-2 en la Ciudad de México a la fecha del 24 de Diciembre del 2020. Las cuatro alcaldías con mayor número de colonias en alerta por contagios y casos activos de SARS-CoV-2 como se muestra en la Figura 80, fueron las alcaldías Iztapalapa, Gustavo A Madero, Álvaro Obregón y Tlalpan.

# ALCALDIA	COLONIAS EN ALERTA	CASOS ACTIVOS
1 Iztapalapa	195	3800
2 Gustavo A. Madero	168	3248
3 Álvaro Obregón	134	2664
4 Tlalpan	88	1875
5 Coyoacán	78	1790
6 Azcapotzalco	62	1001
7 Cuauhtémoc	61	1664
8 Venustiano Carranza	60	1382
9 Miguel Hidalgo	52	938
10 Xochimilco	51	1555
11 Iztacalco	47	1103
12 Tláhuac	47	1764
13 Benito Juárez	43	766
14 La Magdalena Contreras	43	1372
15 Cuajimalpa de Morelos	20	412
16 Milpa Alta	11	681
	1160	26015

Datos del 24 de Diciembre del 2020

Figura 80: Clasificación de contagios por Alcaldías
<https://datos.cdmx.gob.mx/>

11. Conclusiones

Una vez finalizado el análisis de toda la superficie conurbana de la Ciudad de México, se procesaron 234 imágenes de los Satélites Sentinel 2A en forma de parches cuadrangulares, abarcando un área aproximada de 129 Km² cada una.

De las 16 alcaldías que conforman la Ciudad de México, cuatro de ellas son las que presentaron una mayor tasa de incremento en contagios por SARS-CoV-2 en la Ciudad: Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalpan y Álvaro Obregón.

Como se muestra en la Figura 81 comparando los datos y estadísticos previos muestran que existe una correlación directa entre el aumento de densidad poblacional y el aumento de densidad de comercio informal, por ello se infiere que existe una relación directamente proporcional entre la sobrepoblación y el número de Tianguis en la Ciudad México, siendo esto consecuencia de la deficiencia en la cadena de suministro de víveres y alimentos en esas zonas sumado a la expansión continua de la mancha urbana. Por otro lado, en consecuencia, las alcaldías con mayor densidad poblacional poseen la mayor densidad de casos de SARS-CoV-2 al igual que las colonias con mayor alerta de contagios.



Figura 81: Grafica de Análisis de mayor incidencia
 Basada en datos de <https://datos.cdmx.gob.mx/>

Sin embargo, a través del tiempo los Tianguis se han convertido en una actividad económica para miles de los habitantes capitalinos, siendo fuente de empleo para miles de familias, particularmente más con sobrepoblación.

La Alcaldía Iztapalapa es el ejemplo de ellos, siendo la alcaldía con mayor densidad poblacional de la Ciudad de México según datos de INEGI con 1,827,868 personas, 383 tianguis y hasta el 24 de Diciembre del 2020 con 195 Colonias en Alerta por SARS-CoV-2 como se muestra en la Figura 82.

Muchos de estos Tianguis pueden extenderse por varios kilómetros, llegando a albergar hasta 10,000 comerciantes cada uno de ellos, convirtiéndose también en focos masivos de infección para la ciudadanía.

ALCALDIA	POBLACION (EN MILES)	CASOS ACTIVOS (CIENTOS)	NUMERO DE TIANGUIS	COLONIAS EN ALERTA
IZTAPALAPA	1827.868	380	383	195
GUSTAVO A .MADERO	1164.477	324.8	166	168
ALVARO OBREGON	749.982	266.4	137	134
TLALPAN	677.104	187.5	146	88

Figura 82: Grafica de concentración de datos generales
<https://datos.cdmx.gob.mx/>

Sin embargo, por las características técnicas que poseen los satélites Sentinel 2A no son suficientes para detectar estos eventos con gran resolución, generando una efectividad cuestionable debido a la resolución espacial que tiene como máximo de 10 m/Píxel.

Por ello cualquier Tianguis menor a 120 metros es difícil de detectarlo con eficacia a simple vista. Sin embargo, gracias a los datos oficiales aportados por las dependencias gubernamentales es posible generar un estimado de cuántos Tianguis menores a 120 metros existen en la Ciudad, así como los oferentes que tiene cada uno de estos tianguis menores. En la Figura 83 se muestran los datos de Tianguis detectados por satélites que cuentan con extensiones mayores a 120 metros comparado con los tianguis registrados en las bases gubernamentales. Las barras azules representan los Tianguis **Registrados** y además geolocalizados vía satélite mientras que las barras verdes representan los Tianguis **No Registrados**, pero si geolocalizados vía satélite. Mostrando una efectividad mayor al 90% como se muestra en la Figura 84.

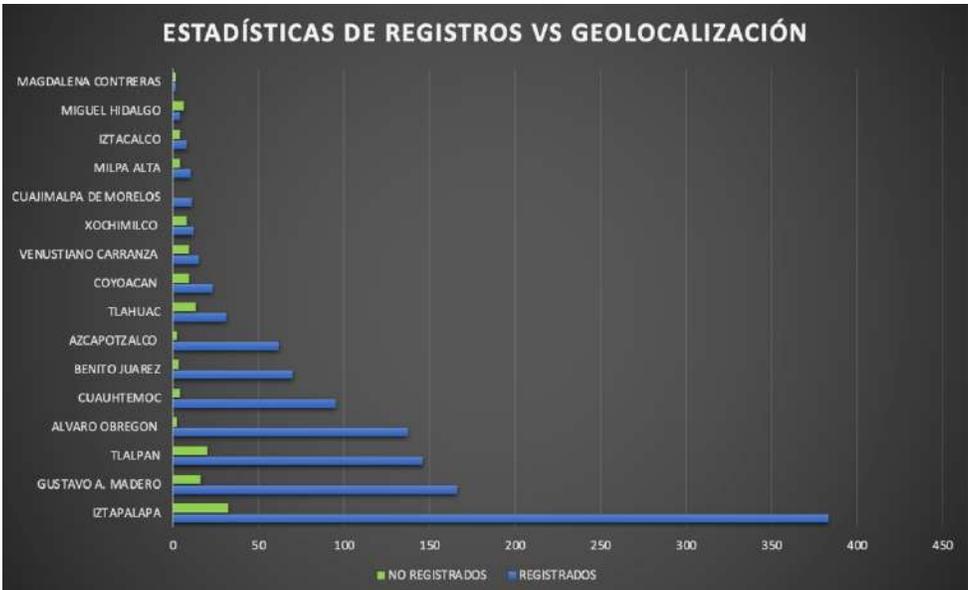


Figura 83: Estadística de Tianguis Registrados

Como se puede observar, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Tlalpan y Álvaro Obregón continúan siendo las alcaldías con mayor incidencia, incluso en Tianguis no registrados. Sin embargo, por falta de atribuciones Jurídicas dentro de la Secretaria de Gobierno, no se pudieron corroborar los Tianguis No registrados con datos de campo.

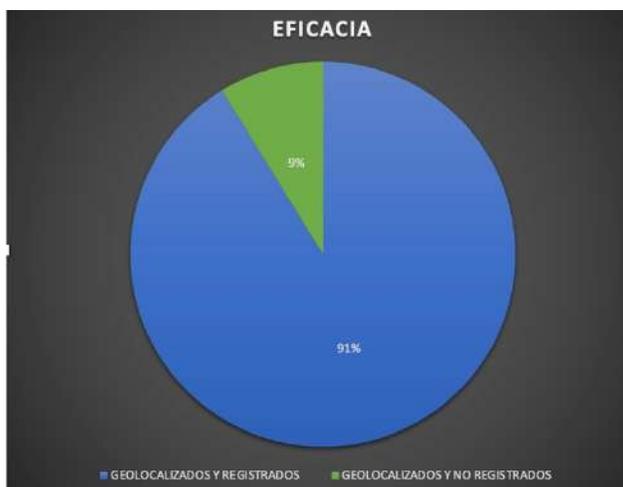


Figura 84: Eficacia de Tianguis Registrados

Como se mencionó al inicio de este trabajo, las limitantes tecnológicas que posee el satélite Sentinel 2A, impiden tener un modelo con mayor efectividad en esta problemática debido a las características y requerimientos en su solución. Sin embargo, esta metodología puede ser implementada para otro tipo de problemáticas como el monitoreo del crecimiento de la manchar urbana en zonas naturales de conservación o la contaminación de cuerpos de agua.

Por otra parte, deja abierta la puerta para replicar la metodología con otro tipo de satélites de observación de nueva generación gubernamentales tales como el satélite NI-SAR de la NASA y la ISRO que será puesto en órbita en 2023. El cual podrá tomar imágenes en banda L y banda S de un máximo de 3m/píxel de resolución espacial. A su vez las compañías privadas como Worldview y Planet Labs con sus picosatélites con resoluciones de hasta 50 cm/píxel. Concluyendo que los resultados y la efectividad de esta metodología pueden aplicados y ser mejorados si se usan satélites de mayor resolución espacial.

REFERENCIAS

1. Camara de Diputados del Honorable Congreso de la Union . (2020). LEY GENERAL DE ASENTAMIENTOS HUMANOS, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO URBANO. *Diario Oficial de la Federacion* .
2. CDMX, G. d. (2020-2021). *Casos activos de Covid-19 en Ciudad de México a nivel colonia*. Recuperado el febrero de 2021, de <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/covid-19-sinave-ciudad-de-mexico-a-nivel-colonia>
3. European Space Agency . (2005). *ESA*. Obtenido de ESA: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMZQYD3GXF_0.html
4. European Space Agency . (Marzo de 2012). *ESA*. Obtenido de Sentinel-1: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/S1_SP-1322_1.pdf
5. European Space Agency. (2012). *ESA*. Obtenido de ESA: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>
6. European Space Agency. (2015). *ESA*. Obtenido de ESA: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/El_programa_Copernico
7. FAO. (2006). *FAO*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/t0355s/T0355S05.htm>
8. México, G. d. (2020-2021). *Casos activos de Covid-19 en Ciudad de México a nivel colonia*. Recuperado el febrero de 2021, de <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/covid-19-sinave-ciudad-de-mexico-a-nivel-colonia>
9. Secretaria de Gobierno. (Diciembre de 2018). *Secretaria de Gobierno*. Obtenido de Secretaria de Gobierno: <https://www.secgob.cdmx.gob.mx/secretaria/acerca-de>
10. Secretaria de Gobierno. (18 de Junio de 2019). *Gobierno de la Ciudad de México e Iztapalapa acuerdan con tianguistas de Santa Cruz Meyehualco su reubicación definitiva*. Obtenido de Secretaria de Gobierno: <https://secgob.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/gobierno-de-la-ciudad-de-mexico-e-iztapalapa-acuerdan-con-tianguistas-de-santa-cruz-meyehualco-su-reubicacion-definitiva>
11. USGS. (2007). *USGS*. Obtenido de USGS: https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
12. USGS. (2008). *Understanding Color-Infrared*. Obtenido de USGS: https://www.usgs.gov/faqs/what-do-different-colors-a-color-infrared-aerial-photograph-represent?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
13. von Martini, A. B. (2011). *Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi*. Obtenido de Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi.: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-percepcion-remota.pdf>