

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CORONAVIRUS EN LAS ACTIVIDADES  
HUMANAS NOCTURNAS DE WUHAN USANDO IMÁGENES SATELITALES  
NOCTURNA DE LOS AÑOS 2019 Y 2020**

NSIMBA MICHAEL MBENGI

Proyecto de Título presentado al  
Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática  
Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles

En cumplimiento del requisito parcial

Para obtener el título de

**Ingeniero Geomático**

Escrito bajo la orientación del profesor

Dr.-Ing. Guido Martin Staub

Aprobado por la comisión

M.Sc. Carolina Bouniot

José Cornejo

**Los Ángeles**

ABRIL, 2021

## RESUMEN

A finales de diciembre de 2019, las autoridades sanitarias de Wuhan detectaron varios casos de neumonía de causa desconocida (Covid-19). La mayoría de estos pacientes tenían vínculos con el mercado de mariscos de Huanan. El 23 de enero con al menos 800 casos y 25 muertes por Covid-19, las autoridades de Wuhan decidieron decretar cuarentena en toda ciudad. Eso llevó a las cancelaciones y/o restricciones en las actividades humanas que inclusive se pueden observar cambios en las luces nocturnas a partir de las imágenes satélites. Las imágenes satelitales nocturnas sirven para descifrar patrones de uso de energía, transporte, migración y otras actividades económicas y sociales. El presente proyecto tuvo como finalidad evaluar el impacto del coronavirus en las actividades nocturnas de Wuhan. La metodología consistió en el uso de las imágenes satelitales Nasa Black Marble de 500 metros de resolución espacial de un periodo de octubre a diciembre de 2019 y enero a junio de 2020, e imagen de Landsat 8 de agosto de 2020. Se calculó el NDVI y posteriormente se fusionó con las imágenes Nasa Black Marble usando el índice NDUI con el propósito de generar imágenes satelitales nocturnas de 30 metros de resolución (*Nasa Black Marble HD*) que reflejara las características naturales y artificiales de la ciudad de Wuhan durante la noche. Después se calculó el porcentaje de pérdida y recuperación de la radiancia nocturna durante y después de la cuarentena. Los resultados obtenidos indican que durante y después de la cuarentena hubo cambios en las luces nocturnas de Wuhan, un decrecimiento de 10,3% de radiancia nocturna durante la cuarentena y una recuperación de 10% después de la cuarenta con respecto a la cuarentena.

Palabra claves: **Wuhan, Covid-19, Luces Nocturnas, Imagen Satelital Nocturna, Nasa Black Marble HD**

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia y amigos que siempre me apoyaron.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso por la salud, sabiduría e inteligencia que siempre me proporcionó. Especial agradecimiento al Profesor Guido Staub por guiarme en esta longa jornada, a cada profesor de la universidad que me entregaron herramientas en mi formación académica y a los compañeros que directa e indirectamente contribuyeron para mi formación académica.



## Índice

1	Antecedentes Generales .....	1
1.1	Introducción .....	1
2	Objetivos .....	2
2.1	Objetivo general .....	2
2.2	Objetivos específicos .....	2
3	Marco teórico.....	3
3.1	Coronavirus (SARS-CoV-2).....	3
3.2	Medidas de prevención .....	3
3.3	Los números de casos y muertes por Coronavirus en Hubei. ....	3
3.4	Índice de los factores que cambiaron en China debido las alteraciones en las actividades humanas. ....	4
3.4.1	Tasa de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principales y ganancias totales de China. ....	4
3.4.2	Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo del año 2020.....	5
3.4.3	Datos de consumo de electricidad de China .....	6
3.4.4	Cantidad de personas que usaron el aeropuerto internacional de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020. ....	7
3.4.5	Cantidad total de carga del Puerto de contenedores de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020. ....	7
3.5	Percepción remota .....	8
3.6	Nasa Black Marble (VNP46A2) .....	9
3.6.1	Características del producto.....	10
3.6.2	Generación <i>Nasa Black Marble</i> y promedio de valores de radiancia .....	11
3.7	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) .....	11
3.8	Índice urbano de diferencia normalizada (NDUI).....	12
4	Desarrollo del proyecto .....	12

4.1	Área de estudio.....	12
4.1.1	Ciudad de Wuhan.....	12
4.1.2	Aeropuerto.....	14
4.1.3	Puerto de contenedor (Yangluo).....	15
4.1.4	Distrito de negocios (Wuhan CBD).....	16
4.1.1	Distrito Residencial (Zhangjia Bay).....	16
4.1.2	Distrito de Wuchang Qu.....	17
4.2	Selección y adquisición de las imágenes.....	18
4.3	Procesamiento de las imágenes.....	18
4.3.1	Correcciones atmosféricas.....	18
4.3.2	Generación del Producto <i>Nasa Black Marble (HD)</i> .....	19
5	Resultados.....	27
5.1	Imagen Nasa Black Marble HD de la ciudad de Wuhan.....	27
5.2	El área de las zonas de estudios.....	28
5.3	Producto nasa Black Marble HD de las zonas de estudio.....	29
5.3.1	Aeropuerto.....	29
5.3.2	Puerto de contenedor.....	31
5.3.3	Distrito de negocios.....	33
5.3.4	Distrito de Wuchang Qu.....	36
5.3.5	Distrito residencial.....	38
6	Análisis de los resultados.....	41
7	Conclusión.....	45
8	Referencias.....	46
9	Anexos.....	50

## Lista de Tablas

Tabla 1: Características del producto Nasa Black Marble.....	10
Tabla 2: Sensor y fecha, tiempo de adquisición de las imágenes Landsat-8 e Imágenes satelital nocturna.....	18
Tabla 3: Parámetros de proyección UTM.....	21
Tabla 4: Radiancia nocturna de Wuhan correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	27
Tabla 5: El área de las zonas de estudios.....	28
Tabla 6: Radiancia nocturna de Aeropuerto correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena .....	30
Tabla 7: Radiancia nocturna de Puerto de contenedores correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.....	32
Tabla 8: Radiancia nocturna Distrito central de negocio correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.....	35
Tabla 9: Radiancia nocturna de Distrito de Wuchang Qu correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.....	37
Tabla 10: Radiancia nocturna de Distrito residencial correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.....	39
Tabla 11: Radiancia de las zonas de estudios .....	42

## Lista de Figuras

Ilustración 1: Los números de casos y muertes de Coronavirus en Hubei. ....	4
Ilustración 2: Tasa de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principal y ganancias totales del año 2020. ....	5
Ilustración 3: Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consume del año 2020. ....	6
Ilustración 4: Datos de consumo de electricidad (enero 2019 hasta noviembre de 2020)..	6
Ilustración 5: Cantidad de personas que usaron el aeropuerto internacional de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020.....	7
Ilustración 6: Cantidad total de carga del Puerto de contenedores de Wuhan desde Diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020.....	8
Ilustración 7: Esquema de la percepción remota pasiva y activa. ....	9
Ilustración 8: Producto Nasa Black Marble (VNP46A2) de Wuhan.....	10
Ilustración 9: Esquema de generación del Producto Nasa Black Marble. ....	11
Ilustración 10: Imagen satelital de la ciudad de Wuhan.....	13
Ilustración 11: A) Aeropuerto de Wuhan.....	14
Ilustración 12: Puerto de contenedores de Wuhan Vista satelital..	15
Ilustración 13: Distrito de negocios.....	16
Ilustración 14: Distrito Residencial (Zhangjia Bay) vista Satelital.....	17
Ilustración 15: Distrito de Wuchang.....	17
Ilustración 16: Imágenes de Landsat-8. A) Banda roja. B) Banda infrarrojo cercano. C) Imagen NDVI. ....	20
Ilustración 17: Aplicación del método de Remuestreo. A) Imagen satelital nocturna 500 x500m. B) Parámetros de procesamiento. C) Imagen satelital nocturna de 30x30m.....	21
Ilustración 18: Valores de promedio de radiancia nocturna. ....	22
Ilustración 19: Zonas de estudios. A) Aeropuerto de Wuhan. B) Puerto de contenedores. C) Distrito Central de Negocios. D) Distrito de Wuchang Qu. E) Distrito residencial (Zhangjia Bay).....	23
Ilustración 20: Imagen satelital nocturna normalizada.....	24
Ilustración 21: Integración de la imagen NDVI e Imagen satelital nocturna para formar el Producto Nasa Black Marble HD.....	25
Ilustración 22:A) Número de intervalo y clases. B) Producto Nasa Black Marble HD (30m) en color falso.....	26
Ilustración 23: Radiancia nocturna de Wuhan correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	28



Ilustración 24: Aeropuerto. A) Octubre 2019. B) Noviembre 2019. C) Diciembre 2019. D) Enero 2020 E) Febrero 2020. F) Marzo 2020. G) Abril 2020. H) Mayo 2020. I) Junio 2020. ....	30
Ilustración 25: Radiancia nocturna de Aeropuerto correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	31
Ilustración 26: Puerto de contenedores. A) Octubre 2019. B) Noviembre 2019. C) Diciembre 2019.D) Enero 2020. E) Febrero 2020. F) Marzo 2020. G) Abril 2020. H) Mayo 2020. I) Junio 2020. ....	32
Ilustración 27: Radiancia nocturna de Puerto de contenedores correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	33
Ilustración 28: Distrito Central de Negocio. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. Junio 2020. ....	34
Ilustración 29: Radiancia nocturna de Distrito de negocios correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	35
Ilustración 30: Distrito Wuchang Qu. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. Junio 2020. ....	37
Ilustración 31: Radiancia nocturna de Distrito de Wuchang qu correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	38
Ilustración 32: Distrito Residencial. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. Junio 2020. ....	39
Ilustración 33: Radiancia nocturna de Distrito residencial correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena. ....	40
Ilustración 34: Radiancia de las zonas de estudios. ....	41

## **Lista de Símbolos, Nomenclatura o Abreviaciones**

AVMA: American Veterinary Medical Association

BRDF: Bidirectional reflectance distribution function

CAAC: Civil Aviation Administration of China

CBD: Central Business District

CDC: Centro para el Control y Prevención de Enfermedades.

CEC: China Electricity Council.

DW: Deutsche Welle

EOG: Grupo de Observaciones de la Tierra

MERS: Middle East Respiratory Syndrome

NASA: La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

NBS: National Bureau of Statistics of China.

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NDUI: El Índice Urbano de Diferencia Normalizada

NIR: Near Infrared

OLI: Operational Land Imager

OMS: Organización Mundial de la Salud

RFA: Radio Free Asia

SARS: Severe Acute Respiratory Syndrome

SNPP: Suomi National Polar-Orbiting Partnership

SWIR: Short-wave infrared

TEU: Twenty-foot Equivalent Unit

TOA: Top of Atmosphere

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos

VIIRS: Visible Infrared Imaging Radiometer Suite



# 1 Antecedentes Generales

## 1.1 Introducción

En el mes de diciembre de 2019, un brote de casos de una neumonía grave (COVID-19) se inició en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, en China. Los primeros estudios epidemiológicos demostraron que la enfermedad se expandía a una tasa muy elevada y que afectaba más los adultos entre los 30 y 79 años, con una tasa de mortalidad global del 2,3% (Wu y McGoogan, 2019). Los primeros casos detectado se trataban de personas que trabajaban o frecuentaban el *Huanan Seafood Wholesale Market*, un mercado de comidas de mar, que también ofrecía otros tipos de carne, incluyendo la de los animales silvestres, que suelen consumirse por la población local (Khan et al., 2020).

El 23 de enero con al menos 800 casos y 25 muertes por Covid-19, las autoridades de Wuhan decidieron decretar cuarentena en toda ciudad, que llevó las cancelaciones y/o restricciones en las actividades humanas, tales como: viajes, negocios, entretenimiento etc., obligando las personas a quedarse en sus hogares (Berlinger et al., 2020).

El 11 de marzo de 2020 la OMS decretó el Covid-19 como una pandemia mundial, por la alta cantidad de personas infectadas (118 000) y muertes (4291) que había causado alrededor del mundo (114 países), (OMS, 2020). El 18 de marzo de 2020 no se registró ningún caso de transmisión local en Wuhan, esto apenas fue posible debido a las restricciones impuesta por el gobierno chino durante la cuarentena (Xinhua, 2020).

El 8 de abril de 2020 después del control en la propagación del brote, las autoridades de China levantaron la cuarentena para la ciudad de Wuhan después de 76 días de restricciones en las actividades, en esta fecha (8 de Abril) la ciudad de Wuhan registraba 50,340 total de números de casos, con 46,471 recuperados y 3869 muertes (OMS, 2020). La cuarentena causó cambios significativos en las actividades humanas estos cambios se pueden observar analizando las luces artificiales nocturnas de lugares de mucha concentración de personas y servicios, tales como: **Aeropuerto, Distrito de Negocio, Distrito Residencial, Puertos etc.** (Carlowicz, 2020).

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto del coronavirus en las actividades humanas nocturnas de Wuhan usando imágenes satelitales nocturna de los años 2019 y 2020.

### 2.2 Objetivos específicos

- Identificar a través de las imágenes *Nasa Black Marble HD* las variaciones de las luces nocturnas de Wuhan de octubre a diciembre de 2019 y enero a Junio de 2020.
- Comparar la radiancia nocturna promedio de las zonas de estudio de Wuhan de octubre a diciembre de 2019 y enero a Junio de 2020.
- Analizar las variaciones que hubo en las luces nocturnas de la ciudad de Wuhan antes, durante y después de la cuarentena.



### 3 Marco teórico

#### 3.1 Coronavirus (SARS-CoV-2)

Los coronavirus son virus que suelen afectar sólo a los animales. Pero algunos de los coronavirus tienen la capacidad de transmitirse de los animales a los humanos. El virus SARS-CoV-2 es un tipo de coronavirus que afecta a los humanos y fue descubierto por primera vez en diciembre de 2019 en China, específicamente en la ciudad de Wuhan (CDC, 2020).

#### 3.2 Medidas de prevención

Para reducir la diseminación del virus y así evitar un colapso en las unidades hospitalarias, el CDC (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades) aconseja el distanciamiento social de 2 metros, principalmente con aquellas personas con signos de la enfermedad pues las principales formas de contagio es por medio de contacto directo con otras personas, gotas salivares, secreciones nasales etc. (Guo et al., 2020; Cuong et al., 2020).

#### 3.3 Los números de casos y muertes por Coronavirus en Hubei.

La ilustración 2 muestra el monitoreo del número de casos y muertes por coronavirus en Hubei, donde las barras amarillas muestran el número total de casos confirmados y la línea negra muestra el número total de muertes. Se empezó a recopilar los datos el 23 de enero, cuando el recuento de casos de muerte era de 17. Febrero fue el mes que los números de casos y muertes por coronavirus en la Provincia de Hubei obedecían a un crecimiento exponencial, se diagnosticaba más de 1000 casos diarios y las muertes superaban los dos dígitos. Para el 10 de marzo, el número de casos nuevos reportados por día se había reducido a menos de 20, lo que sugiere que el brote se había controlado en gran medida en la región. En los primeros días de abril los números de casos diarios se redujeron a casi cero y los números de muerte se redujeron a 1 dígito, lo que permitió el levantamiento de la cuarentena el día 8 de abril de 2020 (Johns Hopkins University, 2020).

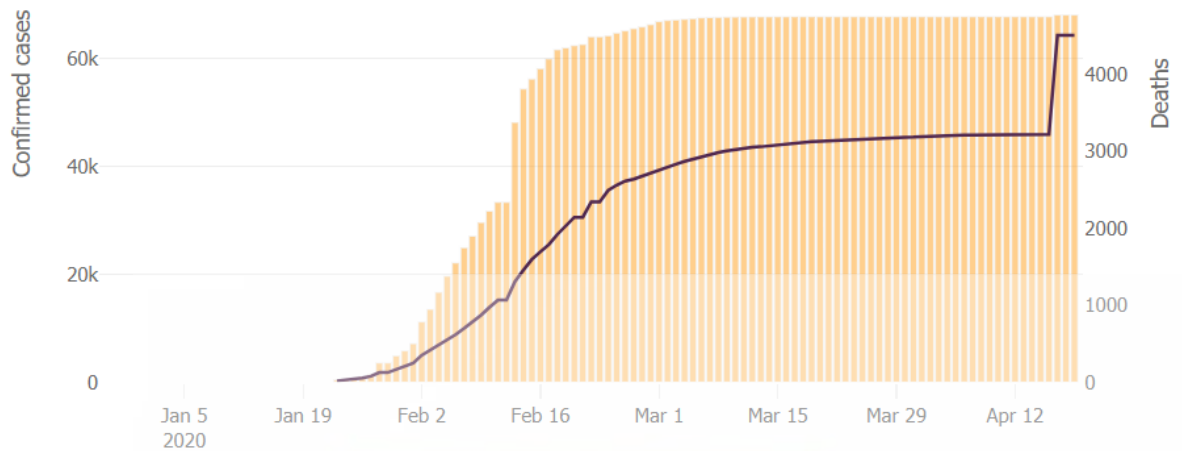


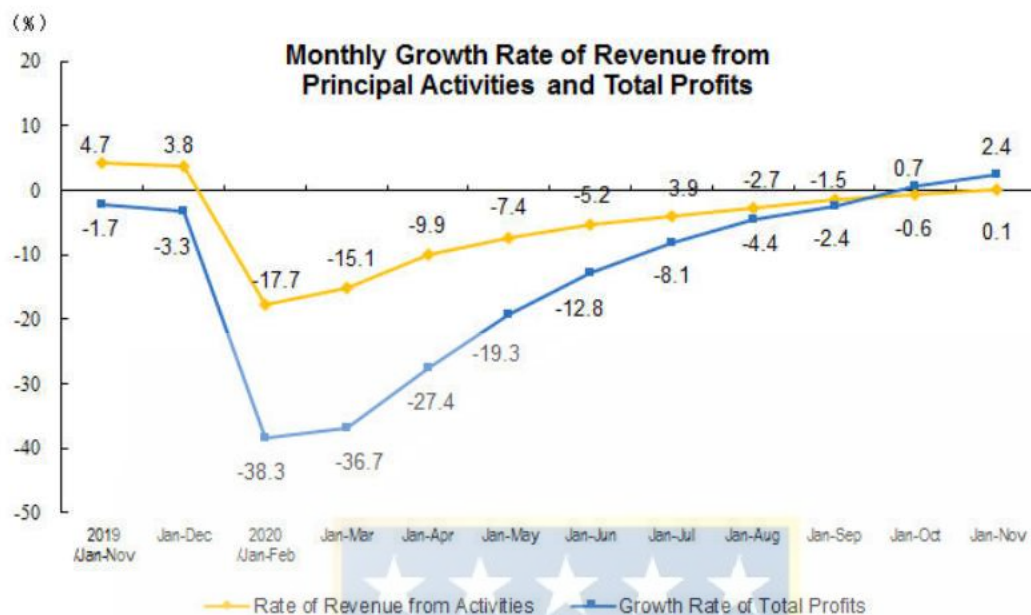
Ilustración 1: Los números de casos y muertes de Coronavirus en Hubei. Fuente: Johns Hopkins University, 2020.

### 3.4 Índice de los factores que cambiaron en China debido las alteraciones en las actividades humanas.

El brote del COVID-19 no solo amenaza la vida y la seguridad de las personas, sino que también tiene un impacto significativo en el desarrollo económico de China. A continuación se muestra índices de sectores económico importantes que cambiaron debido el brote del COVID-19.

#### 3.4.1 Tasa de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principales y ganancias totales de China.

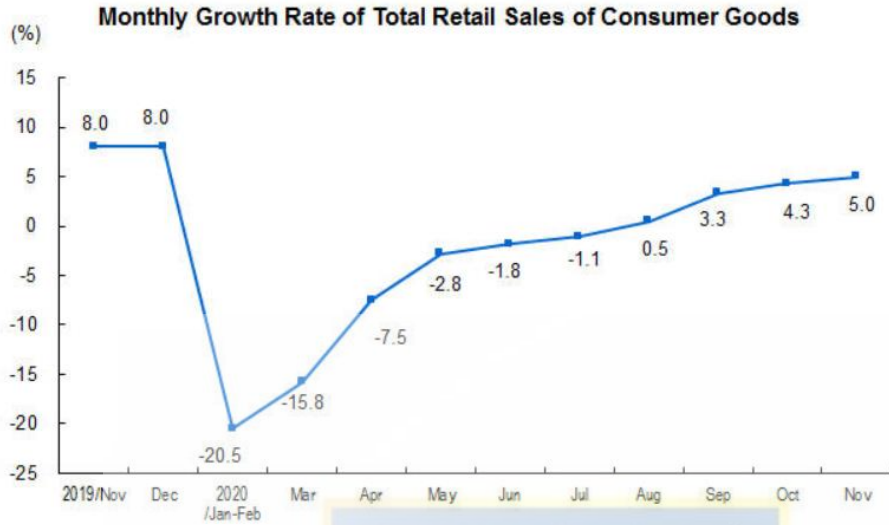
Estos índices se generaron considerando las empresas de las siguientes ramas: minería, electricidad, gas, agua, empresas estatales, empresas por acciones y privadas. La ilustración 3 muestra que de enero a noviembre de 2019 la tasa de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principal y ganancias totales fueron de 4.7 % y -1.7% respectivamente. De Enero 2020 a Febrero las tasas de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principal y ganancias totales fueron de -17.7% y -38.3% respectivamente. Y de enero de 2020 a junio las tasas de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principal y ganancias totales fueron -5.2% y -12.8% respectivamente (NBS, 2020).



**Ilustración 2: Tasa de crecimiento mensual de los Ingreso de las actividades principal y ganancias totales del año 2020. Fuente: (NBS, 2020)**

### **3.4.2 Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo del año 2020**

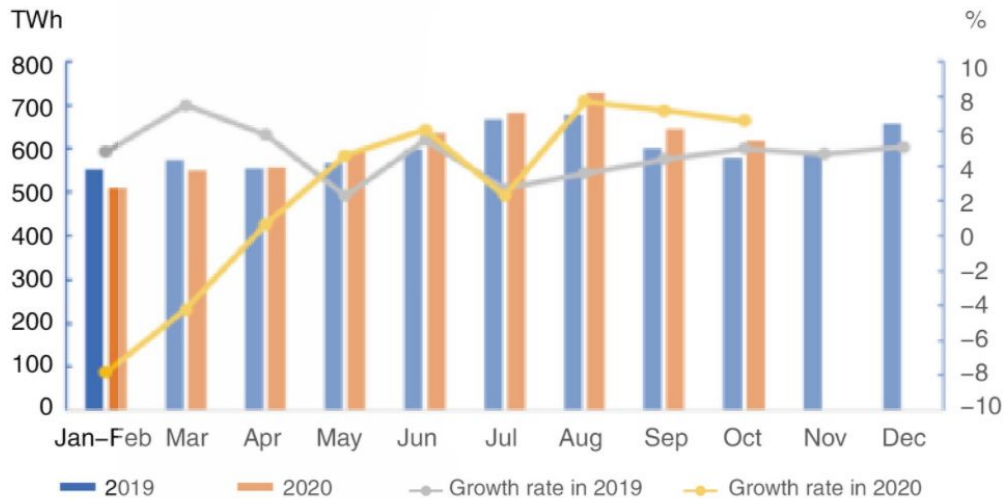
Este índice se generó basado en los siguientes bienes de consumos: alimentos, bebidas, electrodomésticos, automóviles, ropas, tabacos, muebles etc. (NBS, 2020). De Noviembre a Diciembre de 2019 la Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo fue de 8%. De Enero de 2020 a febrero la Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo fue de -20.5%. De Enero de 2020 a junio la Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo fue de -1.8% (NBS, 2020).



**Ilustración 3:** Tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo del año 2020. Fuente: (NBS, 2020).

### 3.4.3 Datos de consumo de electricidad de China

En noviembre y diciembre de 2019 la tasa de consumo de electricidad tuvo un crecimiento de aproximadamente 5.5% respecto al enero de 2019, en febrero 2020 la tasa de consumo de electricidad tuvo un decrecimiento de aproximadamente 8%, respecto al mes de enero de 2020. En Abril la tasa de consumo de electricidad tuvo un crecimiento de aproximadamente 2% respecto al mes de enero. Y en Junio tuvo un crecimiento de aproximadamente a 6.5% respecto al mes de enero (CEC, 2020).



**Ilustración 4:** Datos de consumo de electricidad (enero 2019 hasta noviembre de 2020). Fuente: (CEC, 2020).



### 3.4.4 Cantidad de personas que usaron el aeropuerto internacional de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020.

En Diciembre de 2019 cerca de 2.204.800 personas usaron el aeropuerto de Wuhan, en Enero 2020 cerca de 1.683.700 personas usaron el aeropuerto, un decrecimiento de 23.6% en los números de pasajeros. En Marzo cerca de 100.800 personas usaron el aeropuerto, un decrecimiento de 94% respecto al mes de enero. En junio cerca de 623.900 personas usaron el aeropuerto de Wuhan, un crecimiento de 16,2 % respecto al mes de marzo (CEICDATA, 2020).

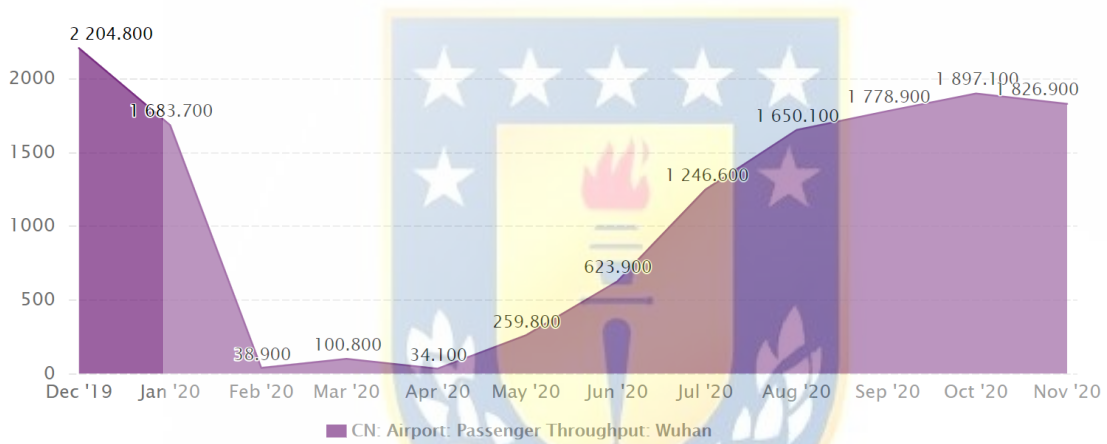
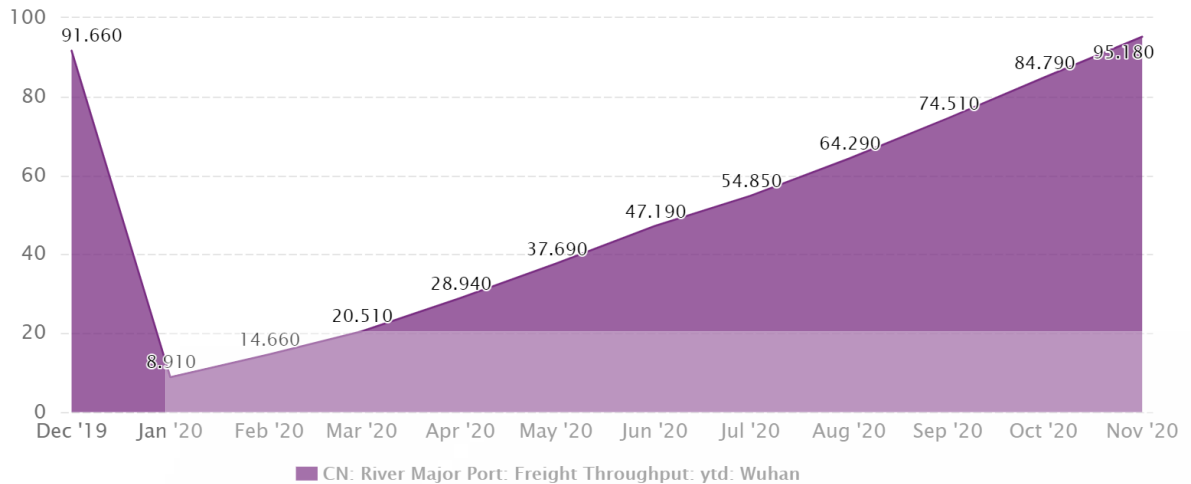


Ilustración 5: Cantidad de personas que usaron el aeropuerto internacional de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020. Fuente: (CEICDATA, 2020).

### 3.4.5 Cantidad total de carga del Puerto de contenedores de Wuhan durante el diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020.

En Diciembre de 2019 la cantidad total de carga del puerto de contenedores de Wuhan fue de 91.660 toneladas, en enero de 2020 fue de 8.910 toneladas, un decrecimiento de 90.3% respecto al mes de diciembre. Y en Mayo fue de 37.690 toneladas, o sea hubo un crecimiento de 61.1% con respecto al mes de febrero (CEICDATA, 2020).



**Ilustración 6:** Cantidad total de carga del Puerto de contenedores de Wuhan desde Diciembre de 2019 hasta Noviembre de 2020. Fuente: (CEICDATA, 2020).

### 3.5 Percepción remota

La percepción remota es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de los datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Reddy, 2008).

Los instrumentos de percepción remota son de dos tipos principales:

Los **sensores activos** proporcionan su propia fuente de energía para iluminar los objetos que observan. Un sensor activo emite radiación en la dirección del objetivo a investigar. El sensor luego detecta y mide la radiación que se refleja o se emite desde el objetivo (Nasa, 2021).

Los **sensores pasivos**, por otro lado, detectan la energía natural (radiación) que emite o refleja el objeto o la escena que se observa. La luz solar reflejada es la fuente de radiación más común medida por sensores pasivos (Nasa, 2021).

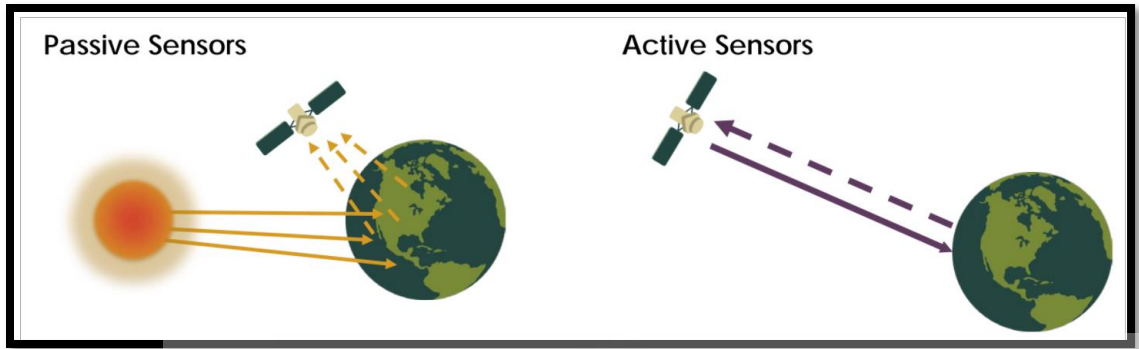
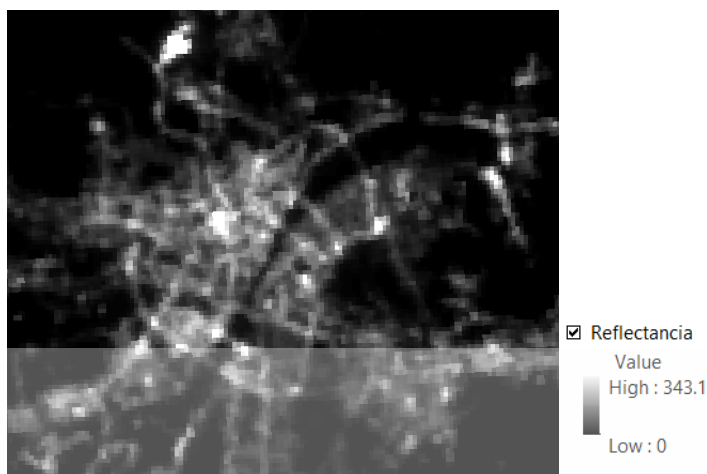


Ilustración 7: Esquema de la percepción remota pasiva y activa. Fuente: Nasa, 2021

### 3.6 Nasa Black Marble (VNP46A2)

Los detectores de banda diurna / nocturna (DNB) que forman parte del conjunto de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS) de Suomi-NPP son pioneros en una nueva generación de productos satelitales que brindan medición global de la luz visible nocturna y del infrarrojo cercano, que son adecuados para estudios científicos y climáticos de la Tierra. La sensibilidad del sensor VIIRS DNB de detectar luces nocturnas en condiciones de poca luz ha permitido la generación de nuevas imágenes satelitales nocturnas (*Nasa Black Marble*) de calidad científica, debido a una resolución y calibración significativamente mejoradas en comparación con las imágenes de luces nocturnas del Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa (DMSP). Estos avances han permitido un mejor seguimiento tanto de la magnitud como de la firma de los fenómenos nocturnos y las fuentes antropogénicas de emisiones de luz. El producto *Nasa Black Marble* se ha utilizado para el mapeo global de patrones de actividad humana, como el rastreo de embarcaciones y embarcaciones pesqueras, quema de gas natural residual, además de su aplicación a esfuerzos humanitarios, como la evaluación de cambios demográficos asociados con conflictos y mapeo del empobrecimiento. El algoritmo para la generación de *Nasa Black Marble* produce imágenes sin nubes que se han corregido para efectos atmosféricos, de terreno, BRDF lunares, térmicos y de efecto de luz difusa (NASA, s.f).



**Ilustración 8: Producto Nasa Black Marble (VNP46A2) de Wuhan. Fuente: Elaboración propia**

### 3.6.1 Características del producto

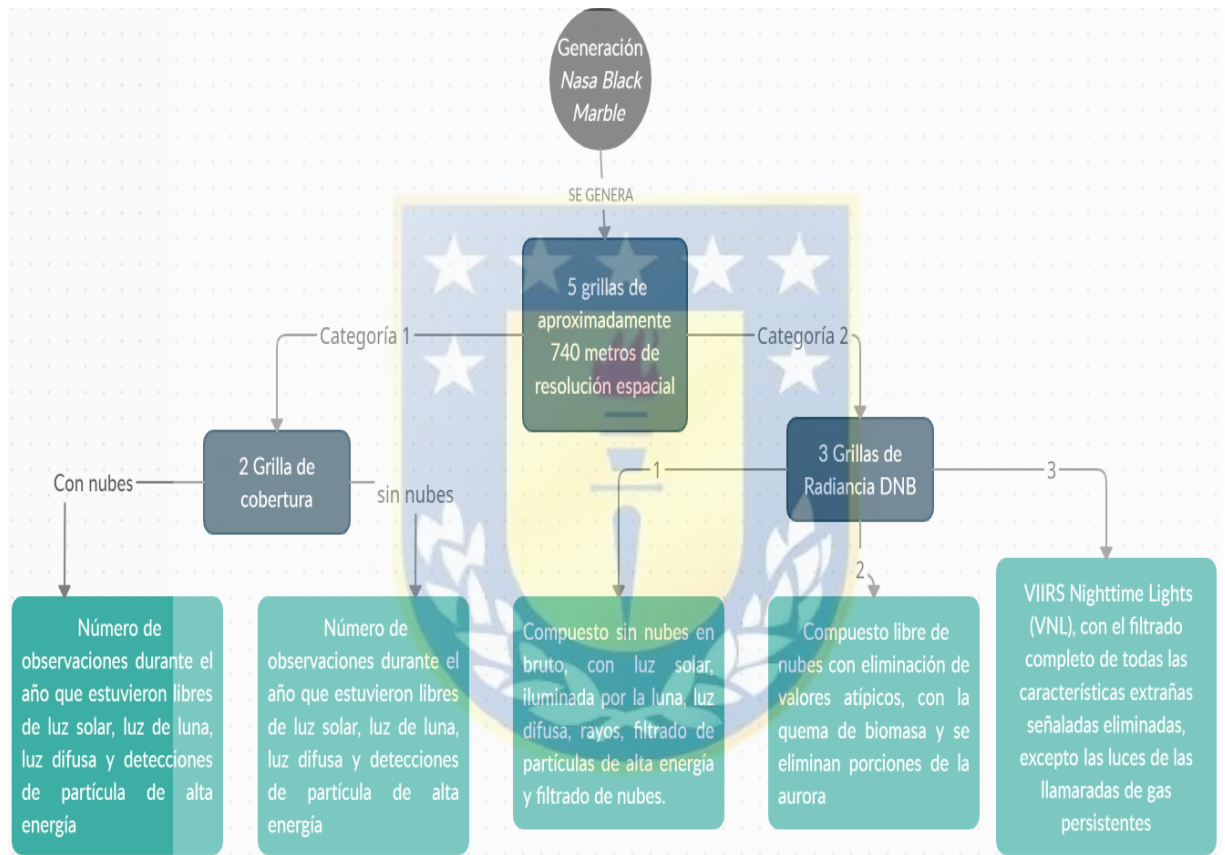
El producto *Nasa Black Marble (500 m)* se procesa diariamente dentro de las 3-5 horas posteriores a la adquisición. Esto permite tanto usos casi en tiempo real como aplicaciones de monitoreo a largo plazo (Nasa, s.f).

**Tabla 1: Características del producto Nasa Black Marble. Fuente: Nasa, s.f**

<b>Nombre</b>	<b>Nasa Black Marble (VNP46A2)</b>
<b>Plataforma</b>	Suomi NPP
<b>Instrumento</b>	VIIRS
<b>Resolución espacial</b>	500 m
<b>Resolución temporal</b>	Diario
<b>Banda</b>	Diurna/nocturna

### 3.6.2 Generación *Nasa Black Marble* y promedio de valores de radiancia

Los procedimientos para generar luces nocturnas VIIRS implican una serie de pasos de filtrado para excluir los diversos estilos de características extrañas, seguido de un promedio de los valores de radiancia. Como se puede observar en el diagrama abajo (Elvidge, 2017).



**Ilustración 9:** Esquema de generación del Producto Nasa Black Marble. Fuente: Elvidge, 2017

### 3.7 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Es un índice usado para cuantificar el verdor de la vegetación y es importante para entender la densidad de la vegetación y analizar los cambios en la salud de las plantas (USGS, s.f). El NDVI se calcula como una relación entre los valores de banda roja (R) e infrarrojo cercano (NIR) y se expresa por la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

### 3.8 Índice urbano de diferencia normalizada (NDUI)

Es el índice que resulta de la combinación entre el índice NDVI e Imágenes satelitales nocturnas, este índice sirve para mostrar la intensidad de luz nocturna bien cómo distinguir las áreas urbanas construidas no solo de las áreas con vegetación, sino también de las tierras desnudas y el agua durante el periodo nocturno (Zhang et al., 2015).

$$NDUI = \frac{NTL_n - NDVI}{NTL_n + NDVI} \quad (2)$$

Dónde:

$NTL_n$  = Es la imagen satelital de banda nocturna VNP46

## 4 Desarrollo del proyecto

### 4.1 Área de estudio

#### 4.1.1 Ciudad de Wuhan

Wuhan, está localizado en la provincia de Hubei, China. Tiene una área de 8.494 kilómetros cuadrados y 13 distritos, que son Caidian, Dongxihu, Hannan, Hanyang, Hongshan, Huangpi Jiang'an, Jianghan, Qiaokou, Wuchang, Qingshan, Jiangxia, y Xinzhou. Wuhan posee dos ríos (Yangtze y Hanshui) que atraviesa la ciudad y la divide en tres partes, Wuchang, Hankou y Hanyang. Tiene un clima subtropical húmedo con abundantes lluvias, sol y cuatro estaciones distintivas. En 2012 el número de residentes permanentes registrados eran de aproximadamente 9790000 (Wuhan government, 2012).

Wuhan también cuenta con tres zonas de desarrollo a nivel estatal, es decir, la Zona de Desarrollo Económico y Tecnológico Zhuankou, la Zona de Desarrollo de Alta Tecnología del Lago Este (Valle Óptico de China) y la Zona de Desarrollo Económico y Tecnológico Wujiashan. Reconocida por la nación como una de las ciudades abiertas a lo largo del río Yangtze en 1992, Wuhan se ha convertido gradualmente en un área de

moda para atraer inversiones extranjeras. Entre las 500 empresas internacionales de Global 500, 84 ya han invertido en Wuhan. El Consulado General de Francia en Wuhan, el Consulado General de Estados Unidos en Wuhan y el Consulado General de la República de Corea en Wuhan se establecieron en 1998, 2008 y 2011, respectivamente. Wuhan cuenta con 52 instituciones regulares de educación superior en Wuhan con más de 700000 estudiantes, 736 institutos científicos y de diseño, 10 laboratorios estatales clave, 59 académicos de la Academia de Ciencias de China y la Academia de Ingeniería de China, así como 450000 técnicos de diversos tipos (Wuhan government, 2012).

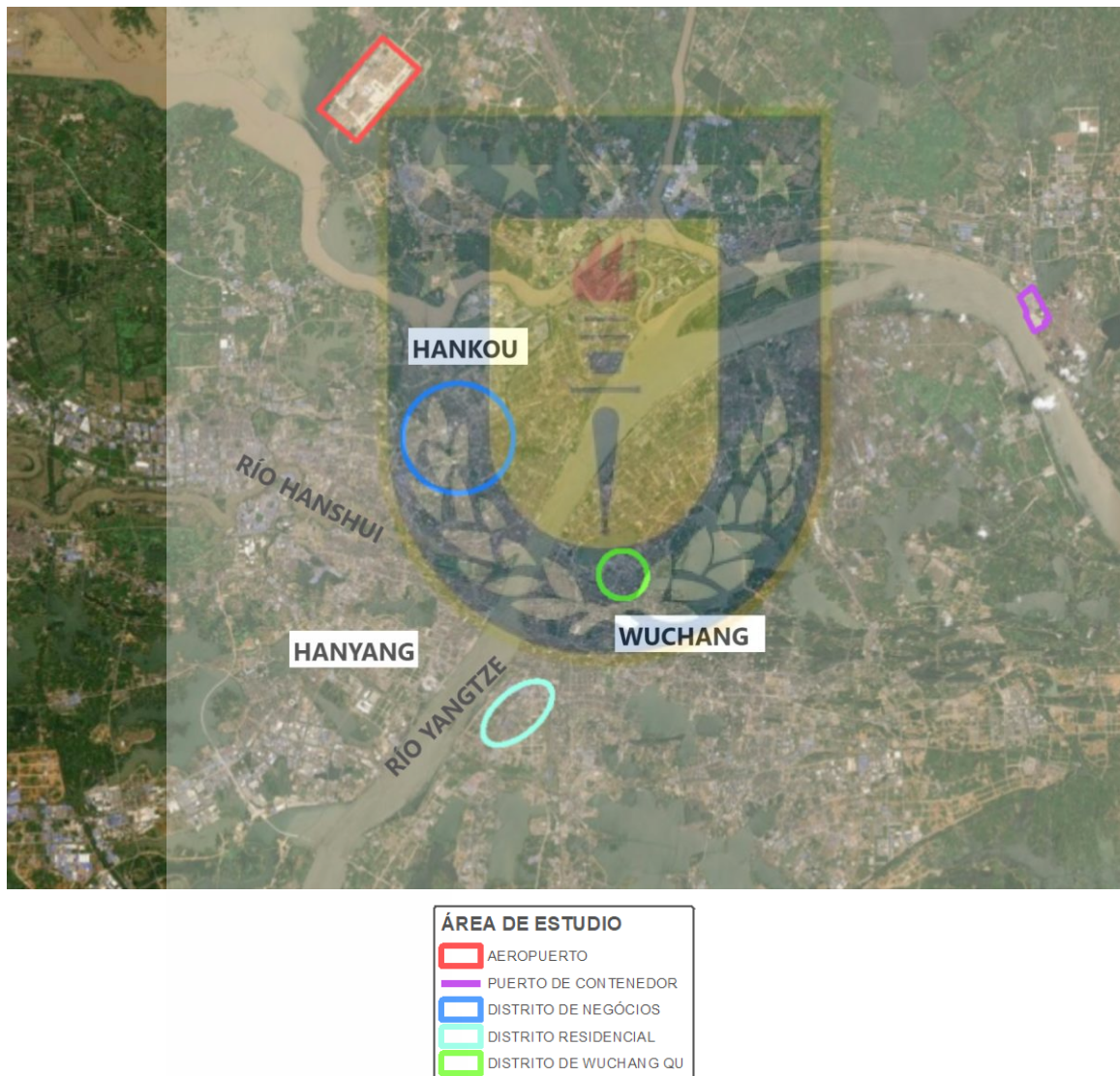


Ilustración 10: Imagen satelital de la ciudad de Wuhan. Fuente: Google maps (2020).

Con el propósito de estudiar los cambios en las luces nocturna de lugares estratégicos de la ciudad Wuhan, se seleccionó zonas de estudio en la ciudad, donde hay mayor afluencia de personas, servicios y donde hubo más cambios en las luces nocturnas (Ilustración 10). Estas áreas son: **Aeropuerto, Puerto de contenedor, distrito de negocios, distrito residencial y distrito de Wuchang Qu.**

#### 4.1.2 Aeropuerto

El aeropuerto de Wuhan está ubicado en el distrito de Huangpi, a 26 kilómetros al norte del centro de la ciudad de Wuhan. En 2018 el Aeropuerto acogió 24500356 pasajeros. En este aeropuerto operan 57 aerolíneas y 15 destinos internacional (New York City, San Francisco, Tokyo, Rome, Istanbul, Dubai, Sydney, Bali, Bangkok, Moscow, Osaka, Seoul, and Singapore). El aeropuerto ofrece servicios y facilidades como: Cajeros automáticos, Salas de cuidado de bebés, concesiones de alimentos, bebidas etc. (Wuhan airport, s.f).

El 23 de enero de 2020, el gobierno chino, detuvo aviones y trenes programados para salir de Wuhan, bloquearon carreteras y suspendieron autobuses públicos, metros y transbordadores dentro de la ciudad (Elegant, 2020).



**Ilustración 11: A) Aeropuerto de Wuhan vista satelital. Fuente: Google maps, (2020). B) Aeropuerto de Wuhan. Fuente: Wuhan Airport, s.f**

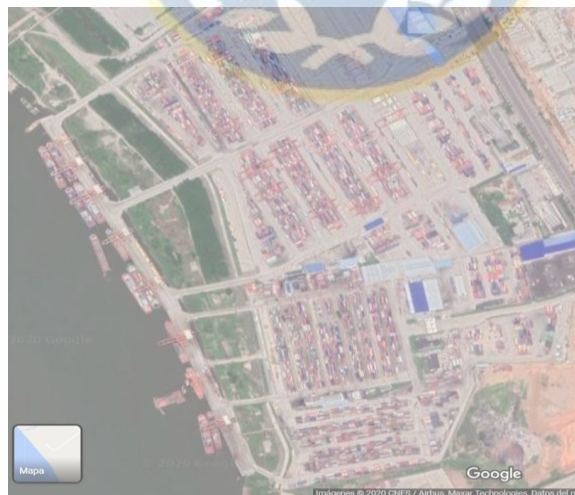


### 4.1.3 Puerto de contenedor (Yangluo)

180.000 m<sup>2</sup>, Yangluo es la instalación más grande del Puerto Nuevo de Wuhan, con 862 m a lo largo del río Yangtze. En 2019, Yangluo y el puerto multipropósito vecino, ambos administrados por la misma empresa, procesaron 1 millón de TEU, lo que ayudó a Puerto internacional de contenedores de Wuhan a convertirse en el segundo mayor operador de puertos de contenedores fluviales chinos (Container news, 2020). Los límites de calado a lo largo del río Yangtze impiden que los grandes buques portacontenedores naveguen entre los puertos más pequeños y Shanghai (Container news, 2020). El puerto de Wuhan es principalmente un conducto de transbordo para transportar contenedores desde las áreas circundantes, como Hunan, Sichuan, Chongqing, Guizhou y Shaanxi, a Shanghai (Container news, 2020).

La actividad económica de la ciudad prácticamente se detuvo cuando hubo restricciones en las actividades humana el 23 de enero de 2020, mientras el gobierno chino se apresuraba a contener el brote de Covid-19 (Container news, 2020).

El 29 de marzo, las autoridades de prevención y control de epidemias en el distrito de Xinzhou de Wuhan permitieron a Wuhan International Container reiniciar sus operaciones. Al día siguiente, 150 empleados llegaron a trabajar y atendieron 13 barcos (Container news, 2020).



**Ilustración 12: Puerto de contenedores de Wuhan Vista satelital. Fuente: Google maps, (2020).**

#### 4.1.4 Distrito de negocios (Wuhan CBD)

Wuhan CBD se ubica en el área de Wangjiadun del distrito de Hankou, que había sido un aeropuerto para la fuerza aérea desde la fundación de la República Popular de China. A medida que la ciudad se desarrolló, el área se convirtió en el centro geográfico del distrito de Hankou. Con terreno suficiente, ubicación superior, construcción de infraestructura completa y menos presión para la remoción y la reconstrucción, el área ha resultado ser una tierra preciosa para la explotación masiva y de alto nivel en el centro de la ciudad (Wuhan CBD, 2015). El CBD Incluye principalmente instalaciones como oficinas comerciales, junto con comercio, cultura, entretenimiento, hoteles y departamentos de clase media y alta.



**Ilustración 13: Distrito de negocios. A) Atardecer en CBD de Wuhan. Fuente: Wuhan CBD, (2015). B) CBD Wuhan vista por satélite. Fuente: google maps, 2020.**

#### 4.1.1 Distrito Residencial (Zhangjia Bay)

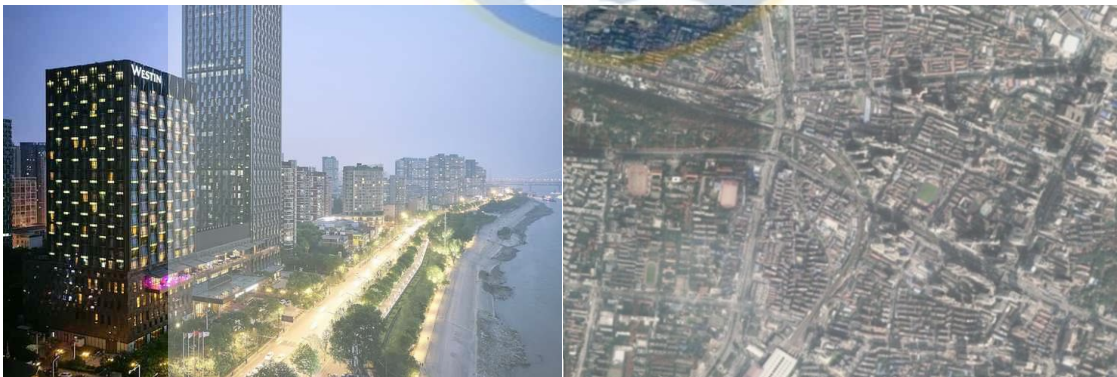
Es una zona residencial localizada en el distrito de Hongshan, ciudad de Wuhan, las instalaciones comunes son: apartamentos, restaurantes, bancos, canchas de deporte etc. Se eligió este distrito con relación a los otros por ser uno de los mayores distritos residenciales de Wuhan, donde las actividades industriales, comercial y empresarial son reducidas con finalidad de analizar los cambios de luces nocturnas específicamente en hogares.



**Ilustración 14: Distrito Residencial (Zhangjia Bay) vista Satelital. Fuente: Google maps, (2020)**

#### **4.1.2 Distrito de Wuchang Qu**

Wuchang se encuentra en el sureste de Wuhan, en la orilla sur del río Yangtze, al otro lado del río desde Hanyang y Hankou, al norte de Yujiatou Luojiagang y adyacente al distrito de Qingshan, bordeando el distrito de Hongshan al sureste, con el río Yangtze al oeste y East Lake al este. El área total del distrito es de 107,76 kilómetros cuadrados. Wuchang cuenta con una población de aproximadamente 1,05 millones de personas, este distrito contiene las siguientes instalaciones principales: Hospitales, escuelas, distrito residenciales, estación de tren, restaurantes, comercios, bancos, parques, hoteles, canchas de deportes, teatros etc. (Gobierno popular del distrito de Wuchang, 2008)



**Ilustración 15: Distrito de Wuchang. A) Edificios cerca del río Yangtze. Fuente: Getaroom, s.f. B) Distrito de Wuchang vista satelital. Fuente: Google maps (2020).**

## 4.2 Selección y adquisición de las imágenes

Para la realización de este proyecto se usaron las imágenes satelitales de Landsat-8, que fueron recuperadas a partir del sitio <https://earthexplorer.usgs.gov/> que pertenece al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Y también se usó 9 imágenes satelitales nocturna VIIRS (*Nasa Black Marble*), que fueron adquiridas de sitio web <https://payneinstitute.mines.edu/eog/nighttime-lights/>, que pertenece al Payne Institute. La elección de las fechas de adquisición de las imágenes satelitales para este proyecto fue con el propósito del estudio del cambio en las luces nocturnas en la ciudad de Wuhan en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena.

Tabla 2: Sensor y fecha, tiempo de adquisición de las imágenes Landsat-8 e Imágenes satelital nocturna.  
Fuente: (NASA, s.f; USGS, s.f)

Satélite	Sensor	Producto	Fecha	Tiempo	Periodo
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Octubre-2019	1:30 am	Antes de la cuarentena
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Noviembre-2019	1:30 am	
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Diciembre-2019	1:30 am	
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Enero-2020	1:30 am	En cuarentena
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Febrero-2020	1:30 am	
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Marzo-2020	1:30 am	
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Abril-2020	1:30 am	Después de la cuarentena
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Mayo-2020	1:30 am	
Suomi NPP	VIIRS	Nasa Black Marble, 500m	Junio-2020	1:30 am	
Landsat -8	OLI	Banda 4 y 5 , 30m	Agosto-2020	10:00 am	cuarentena

## 4.3 Procesamiento de las imágenes

### 4.3.1 Correcciones atmosféricas

Se realizó las correcciones atmosféricas de las bandas 4 y 5 del Landsat-8 con fin de convertir los números digitales (DN) en reflectancia de TOA, lo que hace es eliminar el efecto de dispersión de la radiación electromagnética, por causa de los gases y partículas en la atmosfera (Riaño et al., 2000). Las ecuaciones usadas para realizar estas correcciones se obtuvieron del sitio web de USGS, como se puede observar en las expresiones siguientes:

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} * Q_{cal} + A_{\rho} \quad (3)$$

Dónde:

$\rho_{\lambda'}$  = Reflectancia planetaria TOA, sin corrección para ángulo solar.

$M_{\rho}$  = Factor de cambio de escala multiplicativo específico de la banda.

$Q_{cal}$  = Valor de píxel de nivel 1 en DN.

$A_{\rho}$  = Factor de cambio de escala aditivo específico de la banda.

La corrección atmosférica considerando el ángulo de elevación solar se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})} \quad (4)$$

DONDE:

$\rho_{\lambda}$  = Reflectancia planetaria

$\theta_{SE}$  = Ángulo de elevación solar local

$\theta_{SZ}$  = Ángulo cenital solar local;  $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$  (5)

#### 4.3.2 Generación del Producto *Nasa Black Marble (HD)*

Para el procesamiento de las imágenes satelitales *Nasa Black Marble* se ocupó la metodología basada en los estudios de Zhang et al., 2015; Román et al., 2019. La metodología consistió en combinar las imágenes (*Nasa Black Marble*) de 500 metros de resolución espacial y el índice NDVI de 30 metros de resolución con el fin de generar el producto (*Nasa Black Marble HD*) que refleje luces nocturnas y detalles naturales y artificiales de una ciudad con 30 metros de resolución. Para la generación del Producto *Nasa Black Marble HD* se realizó los siguientes pasos:

#### 4.3.2.1 Cálculo el NDVI

Una vez corregidas las bandas 4 y 5 de LandSat-8 se procedió al cálculo del índice NDVI. Este índice se determinó con el propósito de realzar la visualización de los detalles naturales (Rio, lagos, tierra etc.) y artificiales (aeropuerto, carretera, residencias etc.) de la ciudad.

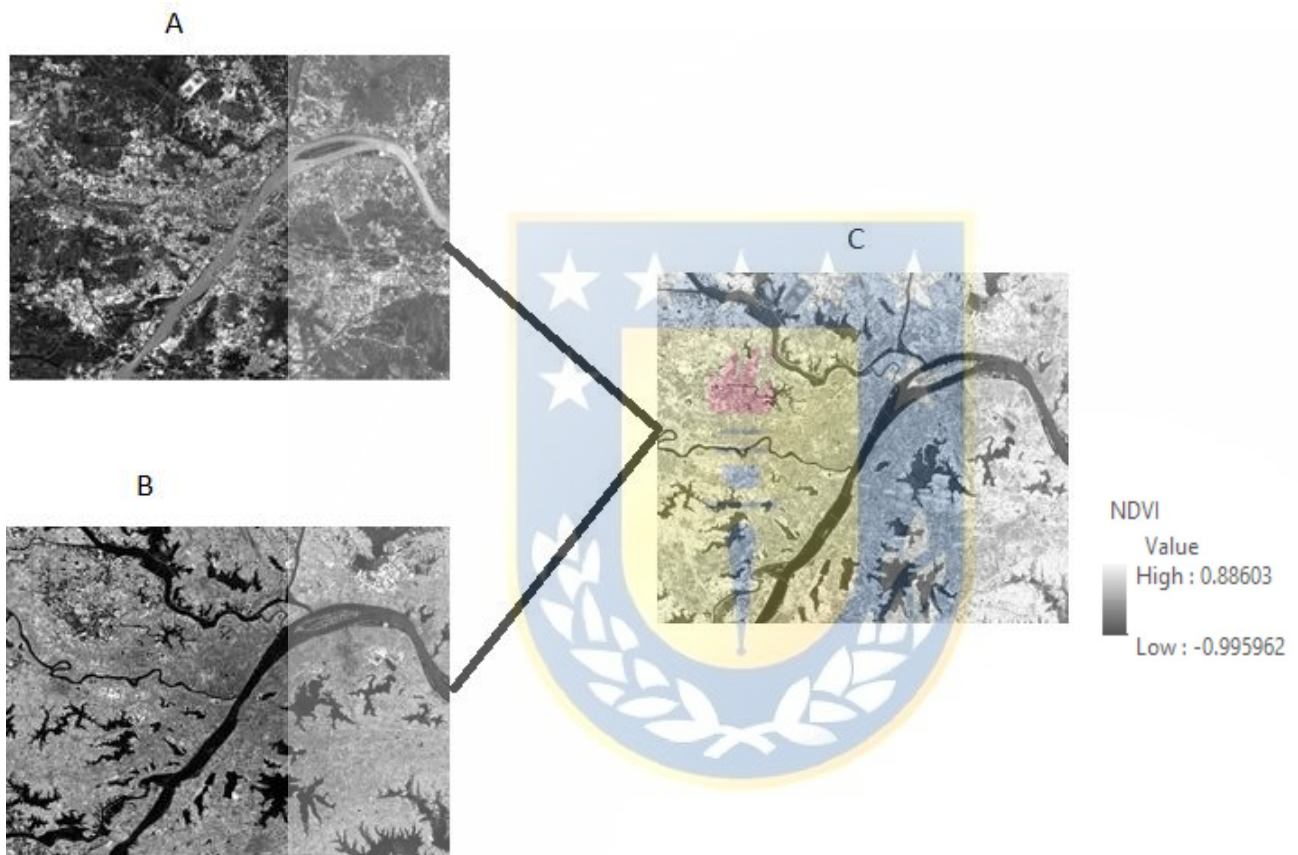


Ilustración 16: Imágenes de Landsat-8. A) Banda roja. B) Banda infrarrojo cercano. C) Imagen NDVI. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2.2 Proyección de las imágenes satelitales

Se proyectó el índice NDVI y las imágenes satelitales nocturna (NASA's **Black Marble de 500 metros**) en el sistema de proyección WGS-84, UTM 50N, esto se realizó con el fin de unificar la unidad de medida, sistema de coordenadas y origen, de los pixeles del índice NDVI y de las imágenes satelitales nocturnas para posteriores cálculos (NDUI), que requieran el uso de ambos. Esto se hizo considerando los siguientes parámetros de proyección:

Tabla 3: Parámetros de proyección UTM

<b>Unidad lineal</b>	<b>Metros (1.000000)</b>
<b>Unidad angulas</b>	Grados (0.0174532925199433)
<b>Falso Este</b>	500000
<b>Falso Norte</b>	0
<b>Meridiano Central</b>	111
<b>Factor de escala</b>	0.9996
<b>Latitud del origen</b>	0
<b>Datum</b>	D_WGS_1984

### 4.3.2.3 Resampling o Remuestreo

En esta etapa se subdividió los pixeles de las imágenes *Nasa Black Marble* de 500x500m a 30x30m, para que tenga la misma dimensión que los pixeles del índice NDVI y así sea posible realizar el cálculo de NDVI.



Ilustración 17: Aplicación del método de Remuestreo. A) Imagen satelital nocturna 500 x500m. B) Parámetros de procesamiento. C) Imagen satelital nocturna de 30x30m. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2.4 Extraer valores de radiancia

Para determinar las variaciones en términos numéricos y porcentuales que hubo en las luces nocturnas de la ciudad de Wuhan, se usó la radiancia nocturna promedio que se extrajo de las imágenes *Nasa Black Marble*. Y para determinar las variaciones en términos numéricos y porcentuales que hubo en las luces nocturnas de las zonas de estudios, se procedió primero con la creación de shapefiles delimitando cada zona de estudio y después se usó los mismos shapefiles como input para extraer las zonas de estudios para cada imagen *Nasa Black Marble*. Los shapefiles creados fueron del tipo polígonos con el sistema de coordenadas proyectado WGS 1984 UTM Zone 50N.

La radiancia promedio de la ciudad de Wuhan y Zonas de estudios se extrajo directamente del *Arcgis* seleccionando a opción de *Histograma*. Como se puede observar en la ilustración 18, los valores mínimo, máximo y promedio de la reflectancia.

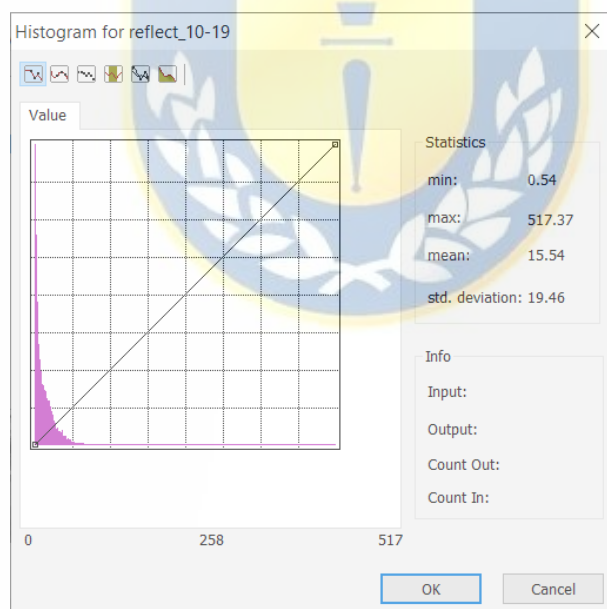
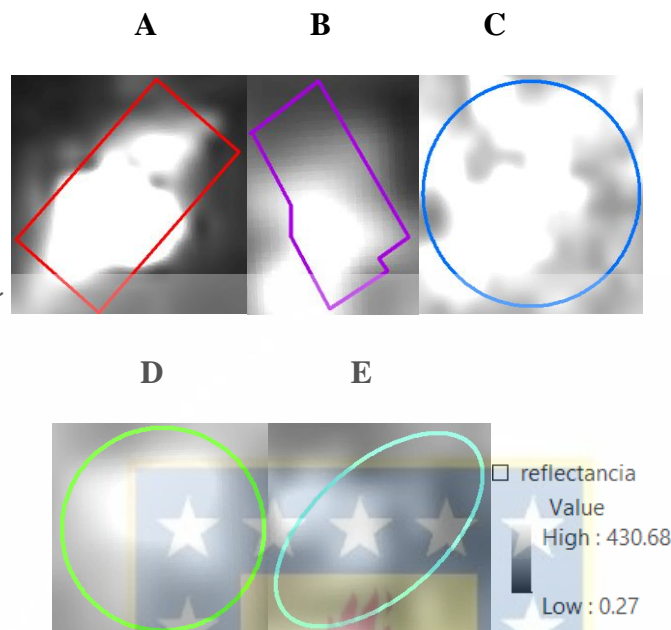


Ilustración 18: Valores de promedio de radiancia nocturna.





**Ilustración 19:** Zonas de estudios. A) Aeropuerto de Wuhan. B) Puerto de contenedores. C) Distrito Central de Negocios. D) Distrito de Wuchang Qu. E) Distrito residencial (Zhangjia Bay)

#### 4.3.2.5 Determinar el área de estudio

Con el propósito de conocer la dimensión de cada zona de estudio, se calculó el área que abarca cada polígono que delimita las zonas de estudio como se puede ver en la ilustración 19, y se estableció la unidad en  $\text{Km}^2$ .

#### 4.3.2.6 Normalizar las imágenes Nasa Black Marble

Visto que los valores originales de radiancia nocturna de las imágenes *Nasa Black Marble* de la ciudad de Wuhan varían de  $[0,520]$  y de índice **NDVI** varían de  $[-1,1]$ , no se puede determinar el índice **NDUI** porque valores de radiancia de **NDUI** varían de  $[-1,1]$ , por lo tanto para que esto sea posible se normalizó las imágenes *Nasa Black Marble* dividiéndolos por 520, que es el máximo valor de radiancia de la ciudad, para que los valores varíen de  $[0,1]$ . Es dada por la siguiente expresión:

$$NTL_n = \frac{NTL}{NTL_{max}} \quad (6)$$

Dónde:

$NTL$  = Imagen Nasa Black Marble

$NTL_{max}$  = Valor máximo de radiancia de la imagen Nasa Black Marble



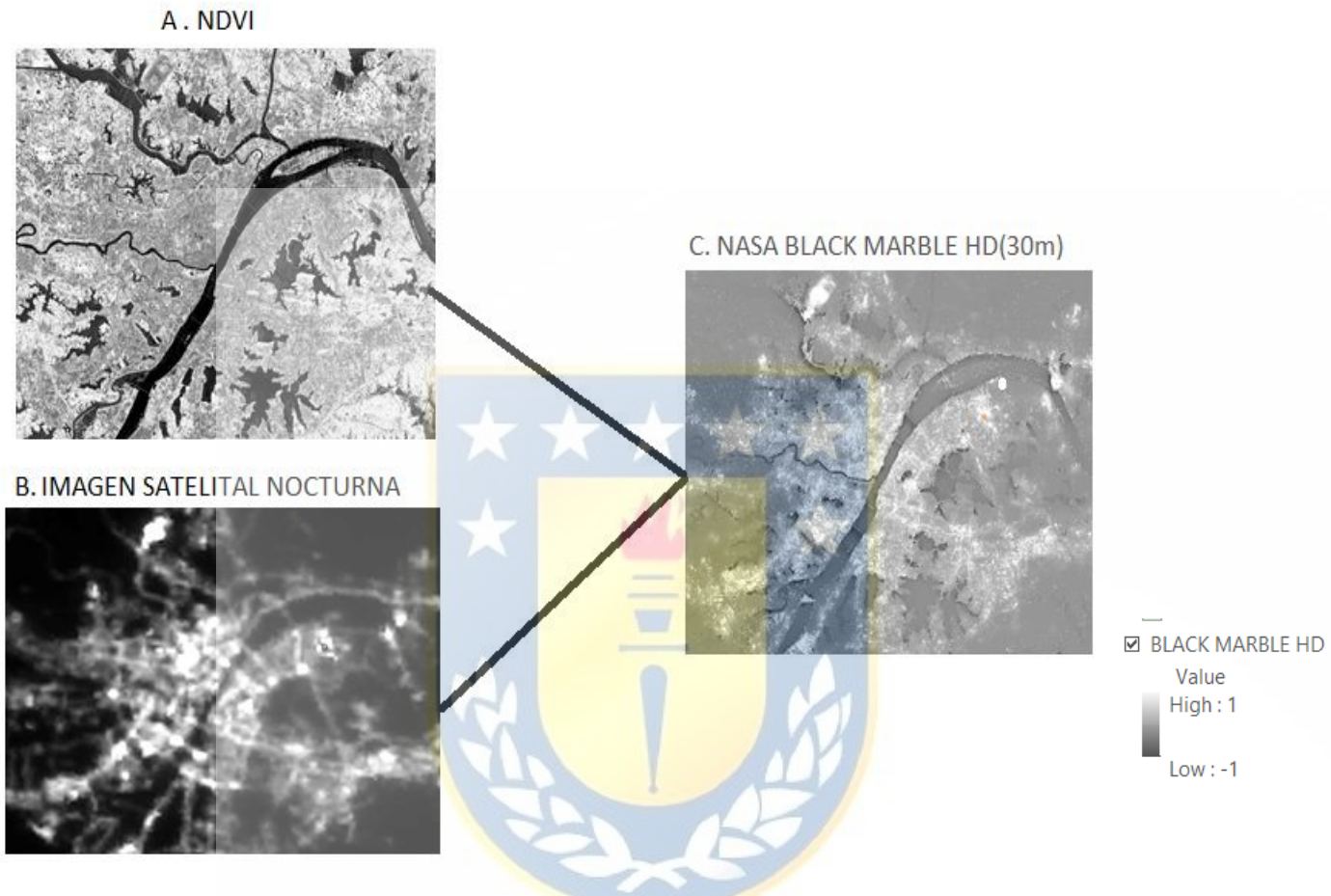
Ilustración 20: Imagen satelital nocturna normalizada

#### 4.3.2.7 Índice Urbano de Diferencia Normalizada (NDUI)

En esta etapa se fusionó las imágenes *Nasa Black Marble* y el índice **NDVI** con fin de obtener imagen que visualice las luces nocturnas y detalles artificiales y naturales de la ciudad a 30 metros de resolución (*Nasa Black Marble HD*). Sus valores de pixeles varían de  $[-1,1]$ . Sabiendo que el **NDUI** es dado por la expresión:

$$NDUI = \frac{NTL_n - NDVI}{NTL_n + NDVI} \quad (2)$$

Para que el cálculo sea robusto, el **NDVI** tiene que ser mayor igual a cero ( $NDVI \geq 0$ ), pues el denominador debe ser distinto de cero.



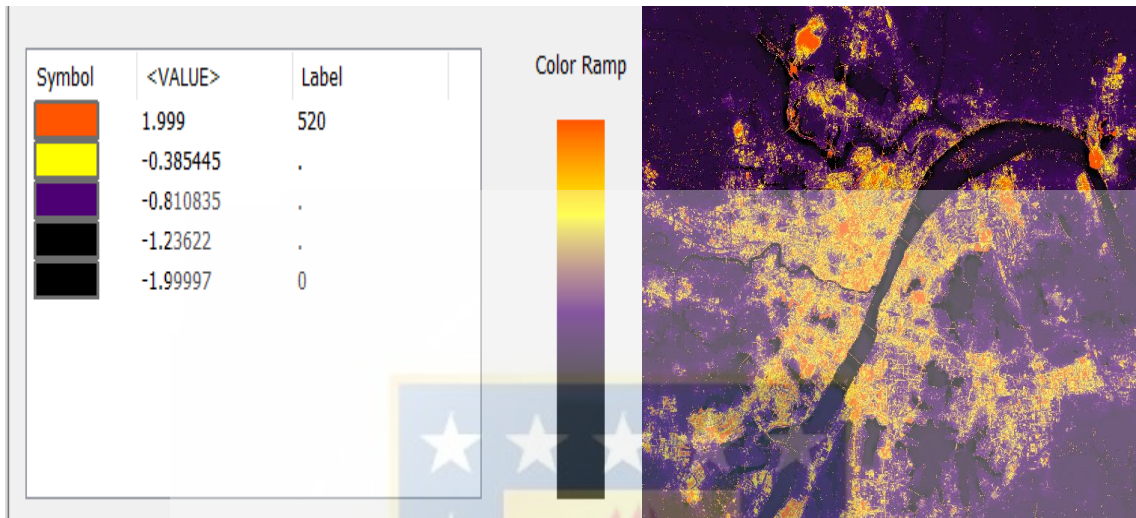
**Ilustración 21: Integración de la imagen NDVI e Imagen satelital nocturna para formar el Producto Nasa Black Marble HD**

Notar que al resultado del cálculo de NDUI se le llama *Nasa Black Marble HD*

#### 4.3.2.8 Reclasificación

En esta etapa se efectuó la reclasificación de las imágenes *Nasa Black Marble HD*, generando 5 clases, con fin de identificar las diferentes intensidades luminosas desde su valor más bajo hasta su valor más alto. Se eligió los colores negro, morado, amarillo y naranja porque mejor realzan la intensidad luminosa de la ciudad. Los valores de pixeles de las imágenes *Nasa Black Marble HD*  $[-1,1]$  apenas se usó con el propósito de visualizar la intensidad de luces nocturnas en la ciudad, pero como el objetivo representar

la radiancia nocturna de Wuhan, entonces se reemplazó en las etiquetas de la simbología los valores originales de radiancia de las imágenes satelitales Nasa Black Marble que en general tuvieron un rango de [0, 520].



**Ilustración 22:A) Número de intervalo y clases. B) Producto Nasa Black Marble HD (30m) en color falso.**



## 5 Resultados

### 5.1 Imagen Nasa Black Marble HD de la ciudad de Wuhan

Se presenta en los documentos anexos, mapas que muestran la radiancia nocturna de la Ciudad de Wuhan antes, durante y después de la cuarentena. Y también se presenta los valores de la radiancia nocturna que se extrajo desde la imagen satelital Nasa Black Marble.

Durante el mes de Enero hubo una mayor disminución en la radiancia nocturna promedio, de  $12.9 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  y durante el mes de Diciembre tuvo su valor máximo de  $15.8 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ . Durante la cuarentena hubo un decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de 10.3%. Como se muestra en la tabla 4 e ilustración 23.

Tabla 4: Radiancia nocturna de Wuhan correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

Fecha	Promedio de radiancia nocturna ( $\text{nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ )	Promedio de cada periodo ( $\text{nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ )	% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena
Oct-19	15.5	15.6	-
Nov-19	15.5		
Dec-19	15.8		
Ene-20	12.9	14.0	-10.3
Feb-20	15.2		
Mar-20	13.9		
Apr-20	15.6	15.4	-1.3
May-20	15.7		
June-20	14.7		

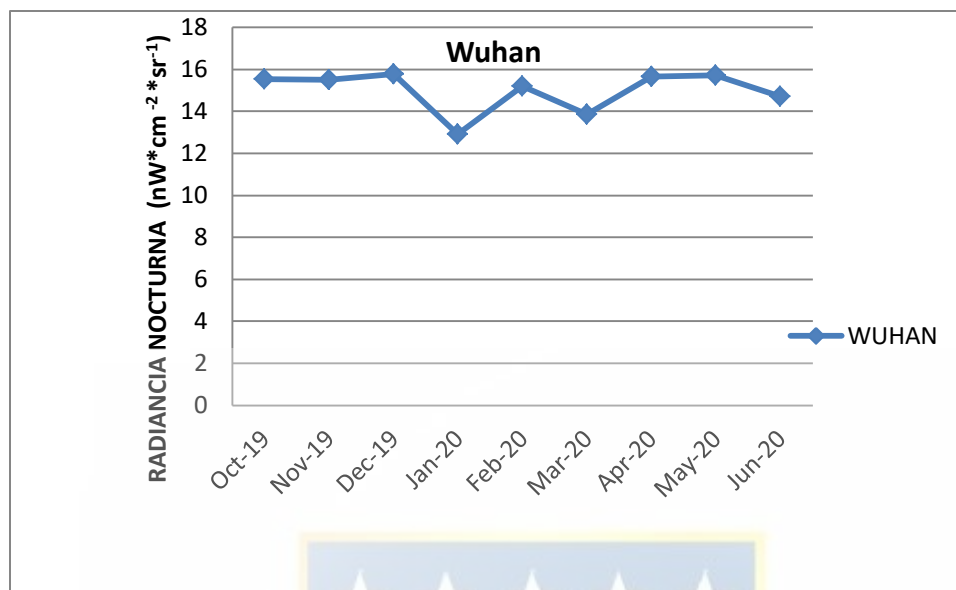


Ilustración 23: Radiancia nocturna de Wuhan correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

## 5.2 El área de las zonas de estudios

Se presenta a continuación tabla con los valores de las áreas que delimitan las zonas de estudios según los polígonos digitales.

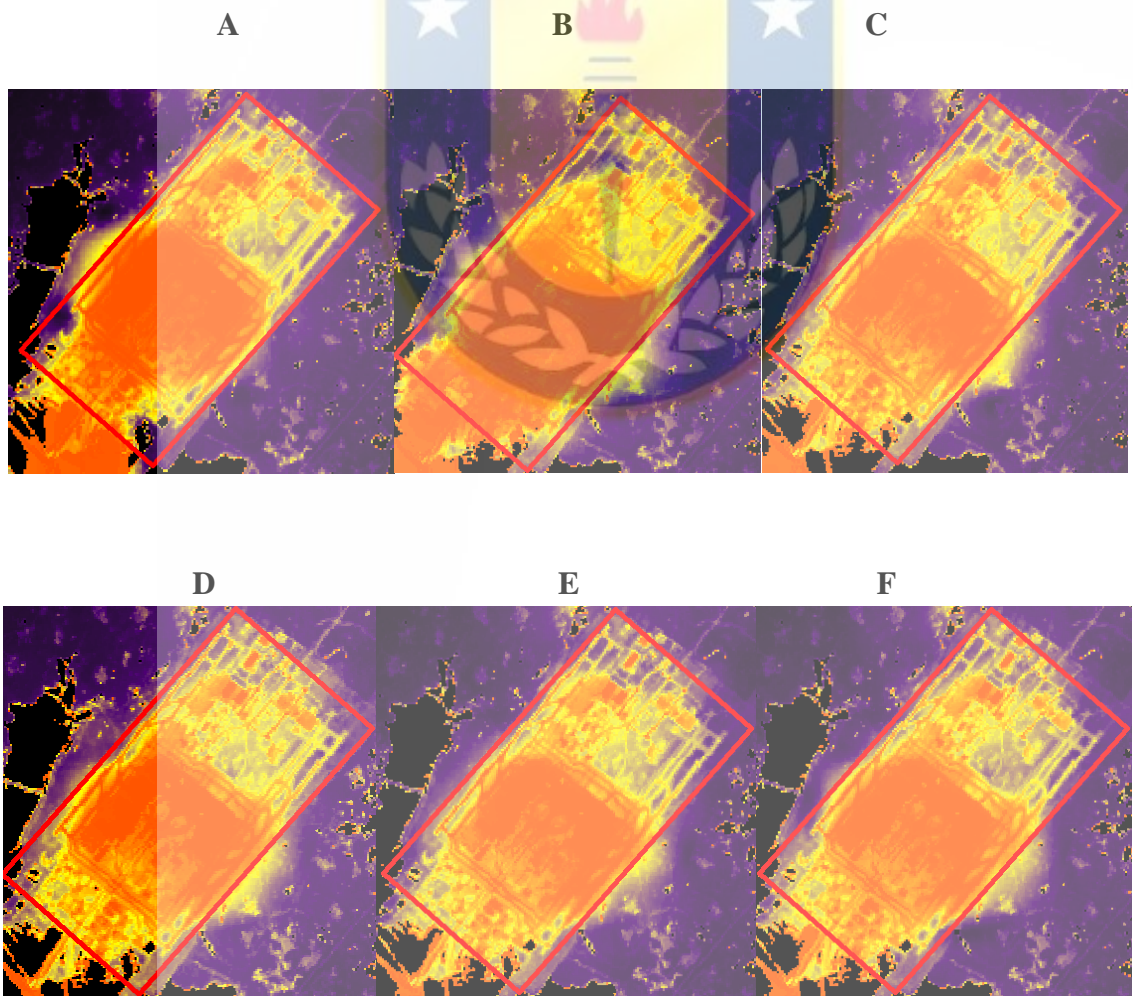
Tabla 5: El área de las zonas de estudios

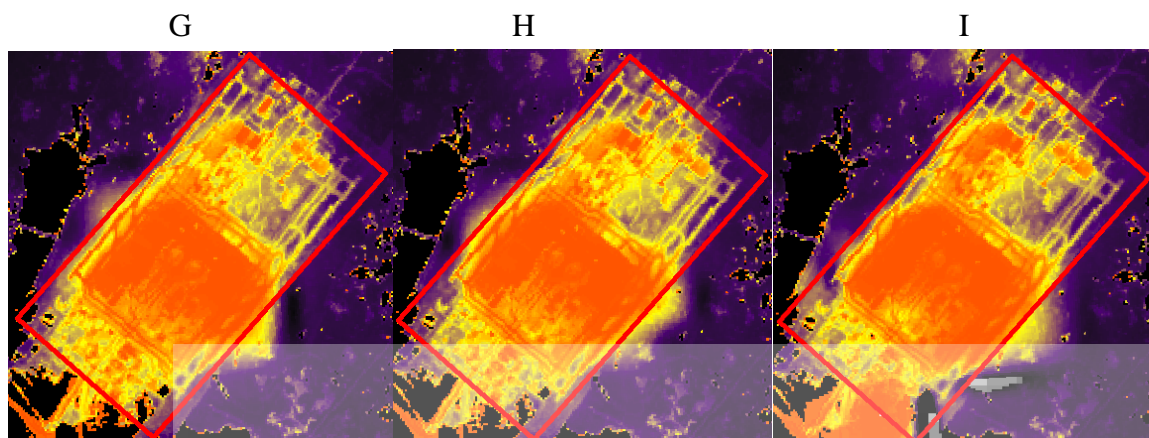
Nombre	Área (Km <sup>2</sup> )
Aeropuerto	11.21
Puerto de contenedor	1.60
Distrito de Negocios	22.38
Distrito residencial	6.74
Distrito Wuchang Qu	4.28

### 5.3 Producto nasa Black Marble HD de las zonas de estudio

#### 5.3.1 Aeropuerto

La ilustración 24 muestra las variaciones que hubo en las luces nocturnas en el **Aeropuerto** en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena. En el **Aeropuerto** os valores de radiancia nocturna estuvieron en un rango de [4.37, 517.37], y con un valor de radiancia nocturna promedio de  $70.5 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en enero, el **Aeropuerto** de Wuhan alcanzó su valor más bajo y con el valor promedio de  $155.0 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en Noviembre, tuvo su valor máximo respecto a los meses de estudio, como se puede observar en la tabla 6 e ilustración 25. En la cuarentena hubo un mayor decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de 37.2% respecto a antes de la cuarentena.





**Ilustración 24:** Aeropuerto. A) Octubre 2019. B) Noviembre 2019. C) Diciembre 2019. D) Enero 2020 E) Febrero 2020. F) Marzo 2020. G) Abril 2020. H) Mayo 2020. I) Junio 2020.

**Tabla 6:** Radiancia nocturna de Aeropuerto correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena

Fecha	Promedio de radiancianocturna ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Promedio de cada periodo ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena
<b>Oct-19</b>	133.2	128.3	-
<b>Nov-19</b>	155.0		
<b>Dec-19</b>	96.7		
<b>Ene-20</b>	70.5	80.6	-37.2
<b>Feb-20</b>	88.3		
<b>Mar-20</b>	83.1		
<b>Apr-20</b>	83.8	88.9	-30.9
<b>May-20</b>	86.9		
<b>Jun-20</b>	96.0		



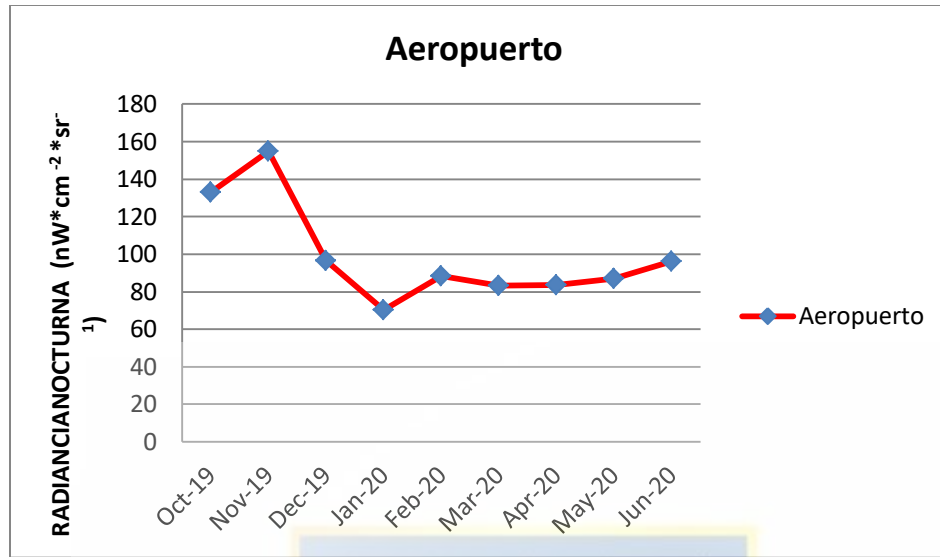
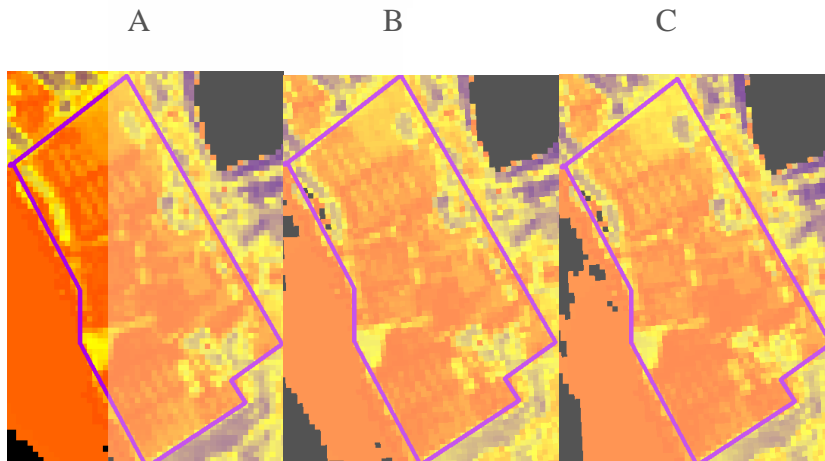


Ilustración 25: Radiancia nocturna de Aeropuerto correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

### 5.3.2 Puerto de contenedor

La ilustración 26 muestra las variaciones que hubo en las luces nocturnas en el **Puerto internacional de contenedor** de Wuhan en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena. En el **Puerto internacional de contenedor** los valores de radiancia nocturna estuvieron en un rango de [9,120], y con un valor de radiancia nocturna promedio de  $25.9 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en enero, el **Puerto internacional de contenedor** alcanzó su valor más bajo y con el valor promedio de  $47.09 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en Mayo, tuvo su valor máximo respecto a los meses de estudio, como se puede observar en la tabla 7 e ilustración 27. Durante la cuarentena hubo un decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de -11.7% y después de la cuarentena hubo un crecimiento en la radiancia nocturna promedio de 10.3% respecto a antes de la cuarentena.



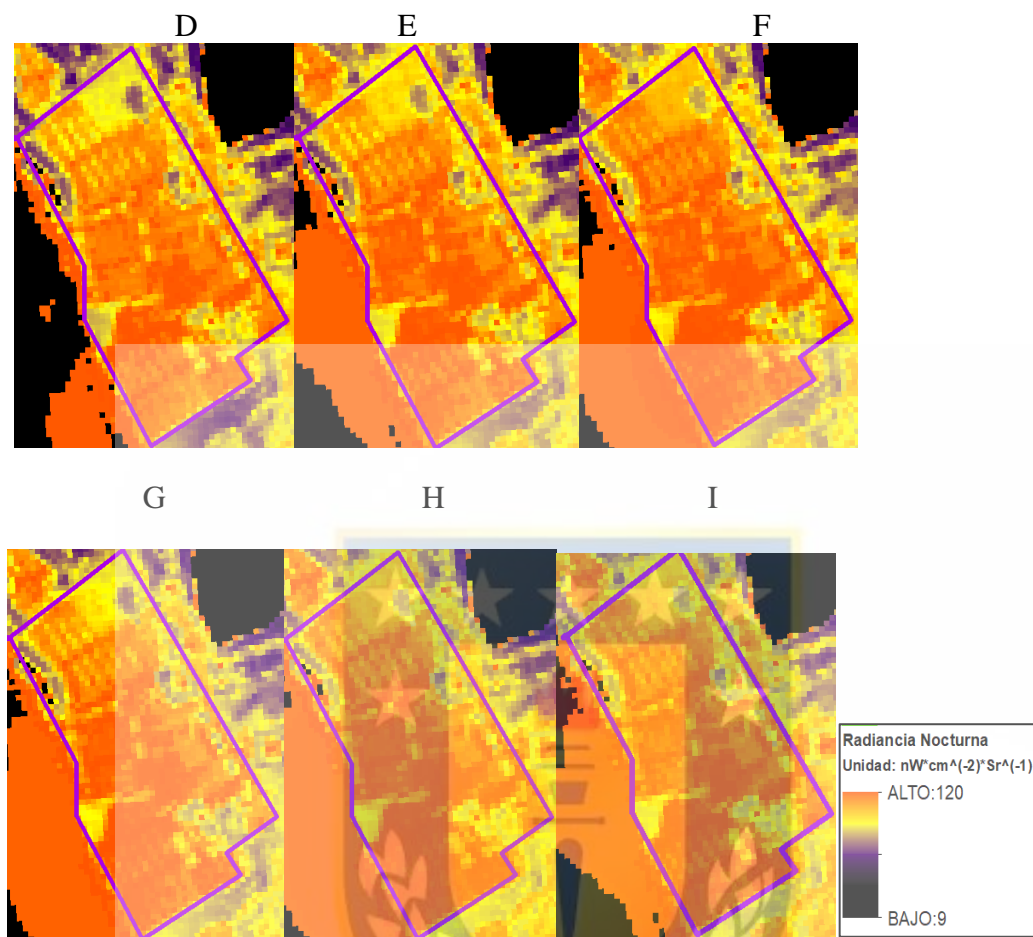


Ilustración 26: Puerto de contenedores. A) Octubre 2019. B) Noviembre 2019. C) Diciembre 2019. D) Enero 2020. E) Febrero 2020. F) Marzo 2020. G) Abril 2020. H) Mayo 2020. I) Junio 2020.

Tabla 7: Radiancia nocturna de Puerto de contenedores correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

FECHA	Promedio de radiancia nocturna ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Promedio de cada periodo ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena
Oct-19	41.1	38.6	-
Nov-20	37.9		
Dec-19	36.7		
Ene-20	25.9	34.1	-11.7
Feb-20	35.7		
Mar-20	40.7		
Apr-20	39.8	42.6	10.3
May-20	47.1		
June-20	41.0		

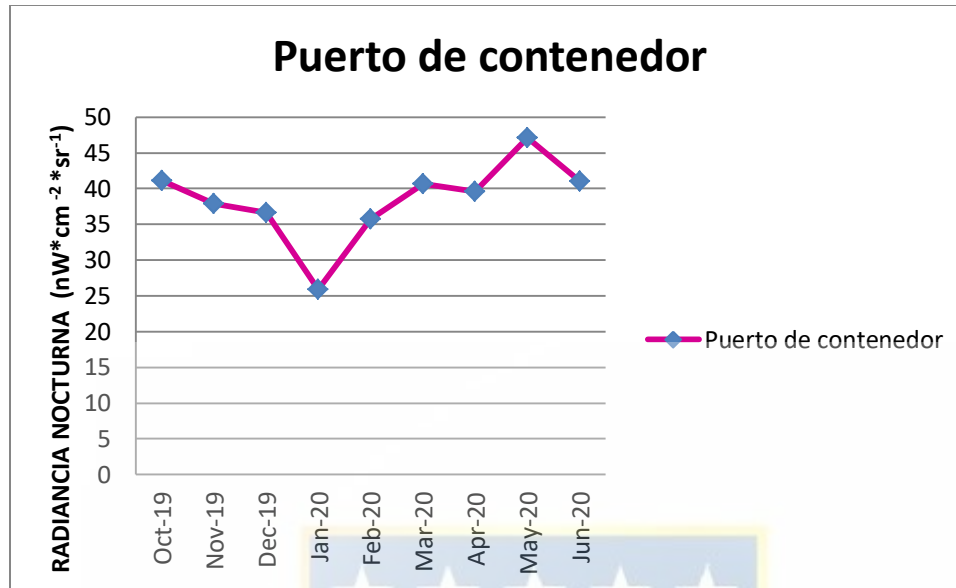
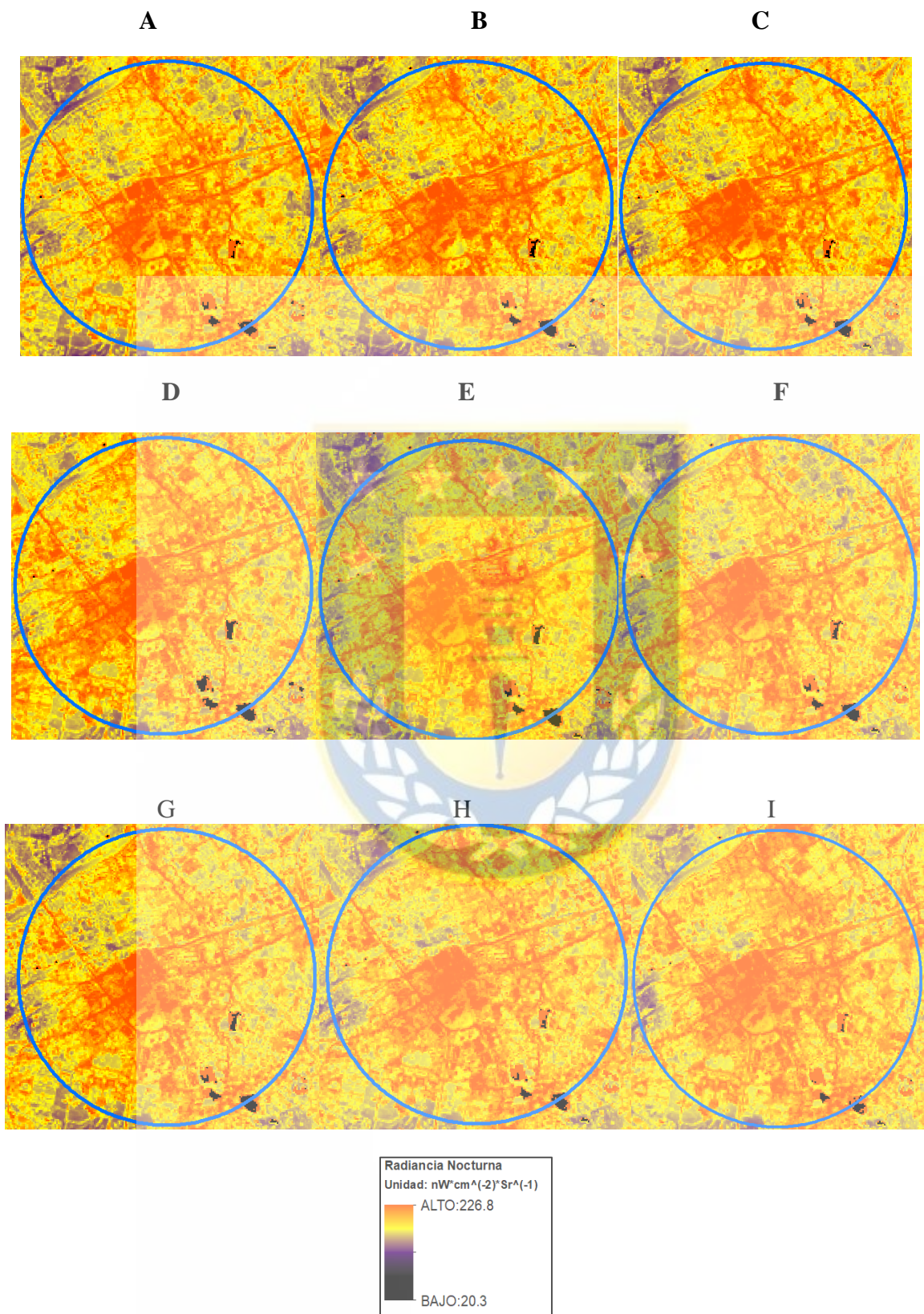


Ilustración 27: Radiancia nocturna de Puerto de contenedores correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

### 5.3.3 Distrito de negocios

La ilustración 28 muestra las variaciones que hubo en las luces nocturnas en el **Distrito central de negocio** de Wuhan en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena. En el **Distrito central de negocio** los valores de radiancia nocturna estuvieron en un rango de [20.3, 226.8], y con un valor de radiancia nocturna promedio de  $48.6 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en enero, el **Distrito central de negocio** alcanzó su valor más bajo y con el valor promedio de  $67.8 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en Mayo, tuvo su valor máximo respecto a los meses de estudio, como se puede observar en la tabla 8 e ilustración 29. Durante la cuarentena hubo un decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de -9.6% y después de la cuarentena hubo un crecimiento en la radiancia nocturna promedio de 13.2% respecto a antes de la cuarentena.



**Ilustración 28:** Distrito Central de Negocio. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. G) Junio 2020. H) Julio 2020. I) Agosto 2020.

Tabla 8: Radiancia nocturna Distrito central de negocio correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena

FECHA	Promedio de radiancia nocturna ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Promedio de cada periodo ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena
Oct-19	56.3	57.4	-
Nov-19	55.5		
Dec-19	60.4		
Ene-20	48.6	51.9	-9.6
Feb-20	53.6		
Mar-20	53.7		
Apr-20	58.3	65.0	13.2
May-20	67.8		
Jun-20	68.8		

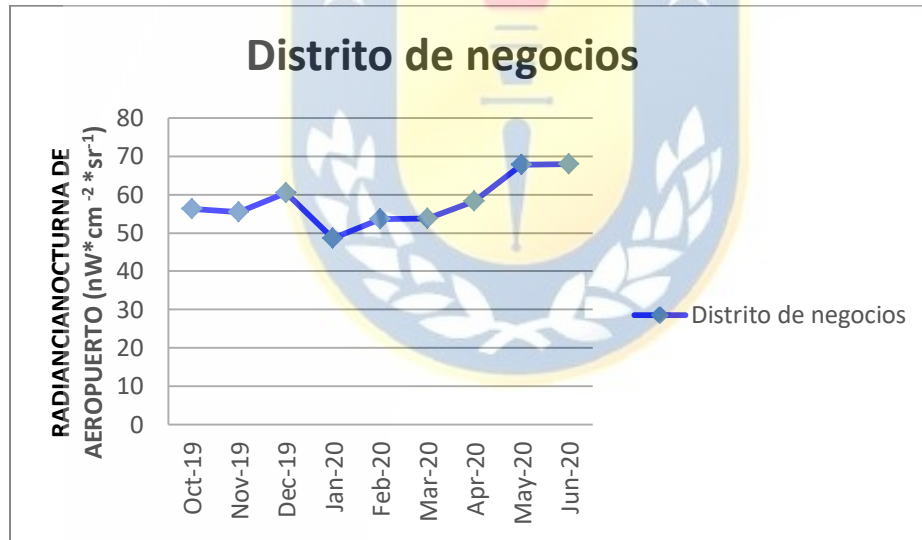
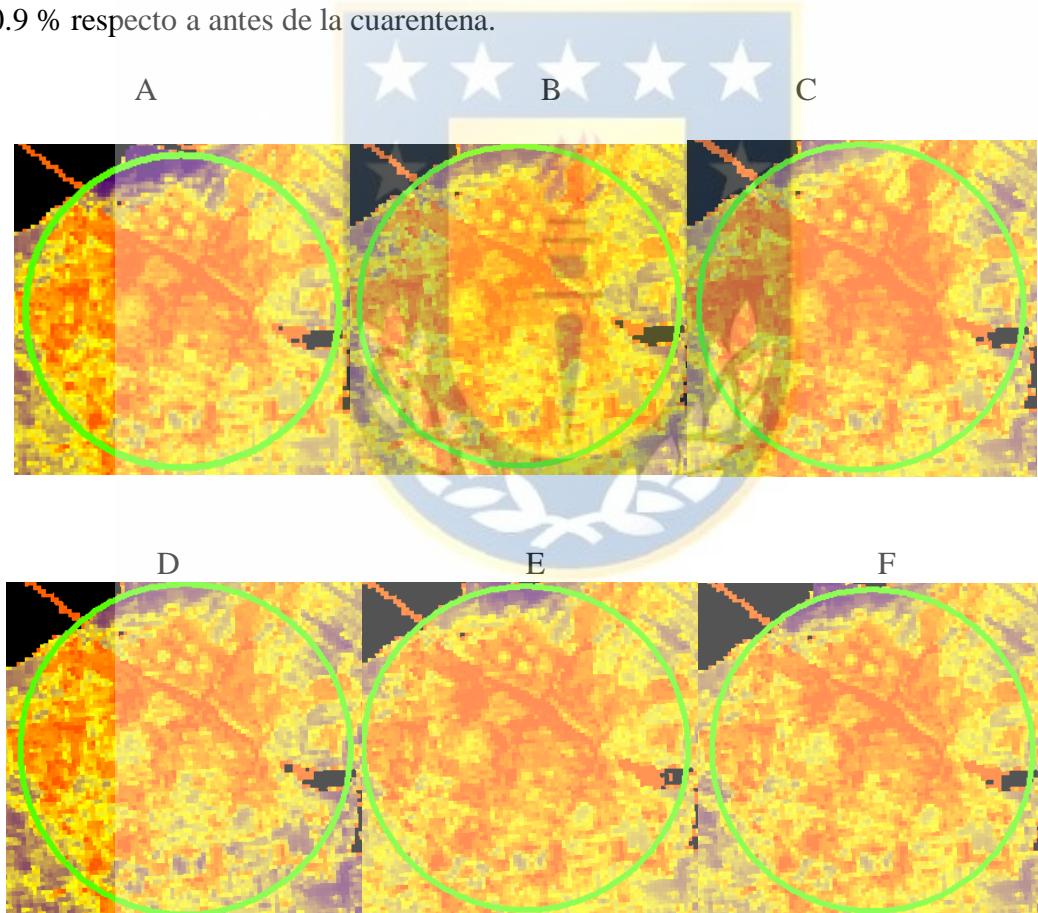
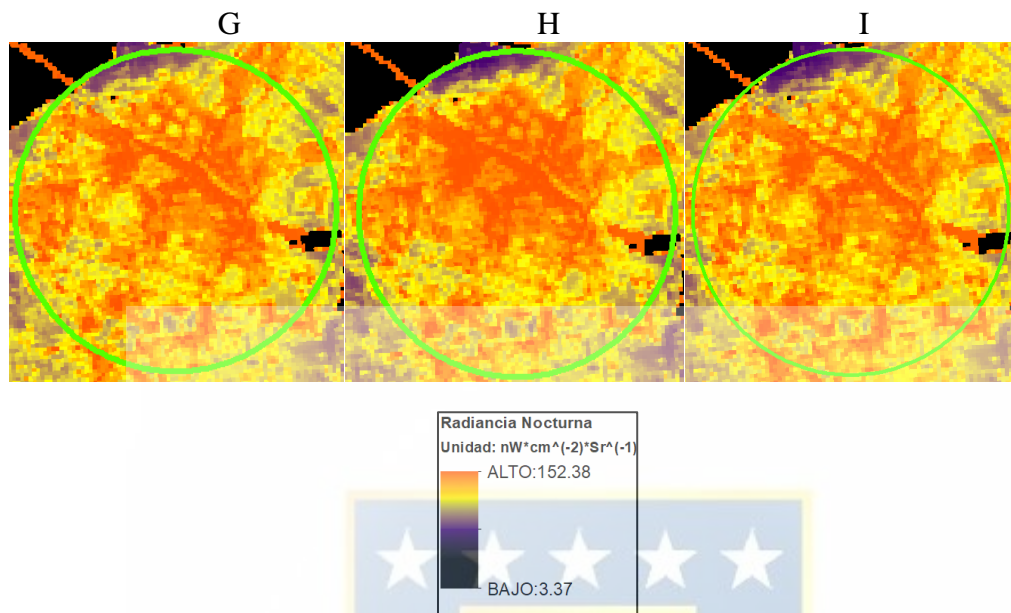


Ilustración 29: Radiancia nocturna de Distrito de negocios correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena

### 5.3.4 Distrito de Wuchang Qu

Observando la ilustración 30 se puede notar las variaciones que hubo en las luces nocturnas en el **Distrito de Wuchang Qu** en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena. En el **Distrito de Wuchang Qu** los valores de radiancia nocturna estuvieron en un rango de [3.37, 152.38], y Con un valor de radiancia nocturna promedio de  $35.3 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en enero, el **Distrito de Wuchang Qu** alcanzó su valor más bajo y con el valor promedio de  $61.3 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en Mayo, tuvo su valor máximo respecto a los meses de estudio, como se puede observar en la tabla 9 e ilustración 31. Durante la cuarentena hubo un decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de -15.6% y después de la cuarentena hubo un crecimiento en la radiancia nocturna promedio de 0.9 % respecto a antes de la cuarentena.





**Ilustración 30:** Distrito Wuchang Qu. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. Junio 2020.

**Tabla 9:** Radiancia nocturna de Distrito de Wuchang Qu correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

<b>FECHA</b>	<b>Promedio de radiancia nocturna (<math>nW * cm^{-2} * sr^{-1}</math>)</b>	<b>Promedio de cada periodo (<math>nW * cm^{-2} * sr^{-1}</math>)</b>	<b>% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena</b>
<b>Oct-19</b>	55.7	55.1	-
<b>Nov -19</b>	45.8		
<b>Dec-19</b>	63.8		
<b>Ene -20</b>	35.3	46.5	-15.6
<b>Feb-20</b>	57.0		
<b>Mar-20</b>	47.2		
<b>Apr-20</b>	54.1	55.6	0.9
<b>May-20</b>	61.3		
<b>Jun-20</b>	51.5		

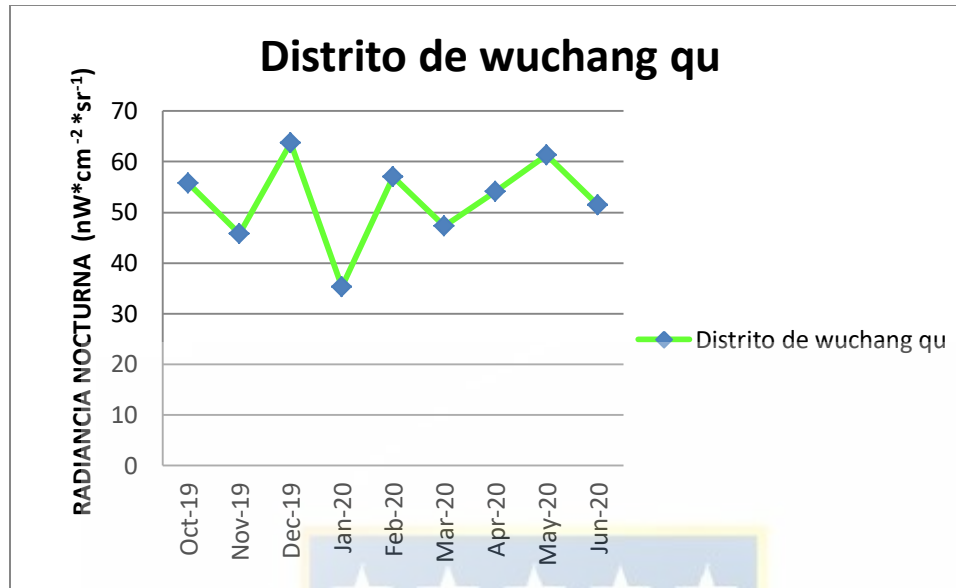
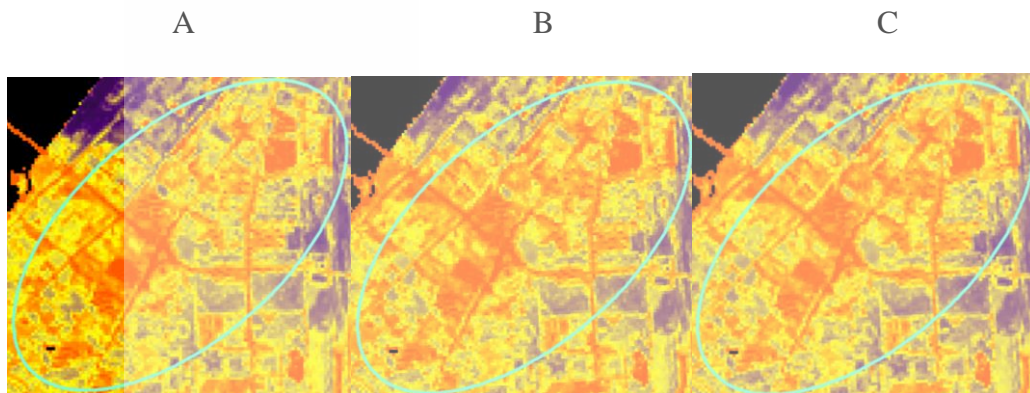


Ilustración 31: Radiancia nocturna de Distrito de Wuchang qu correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

### 5.3.5 Distrito residencial

La ilustración 32 muestra las variaciones que hubo en las luces nocturnas en el **Distrito Residencial** en un periodo de antes, durante y después de la cuarentena. En el **Distrito de Wuchang Qu** los valores de radiancia nocturna estuvieron en un rango de [14.42, 104.23] y con un valor de radiancia nocturna promedio de  $24.5 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en enero, el **Distrito Residencial** alcanzó su valor más bajo y con el valor promedio de  $44.4 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  en Junio, tuvo su valor máximo respecto a los meses de estudio, como se puede observar en la tabla 10 e ilustración 33. Durante la cuarentena hubo un decrecimiento en la radiancia nocturna promedio de -19% y después de la cuarentena hubo un crecimiento en la radiancia nocturna promedio de 11.7% respecto a antes de la cuarentena.





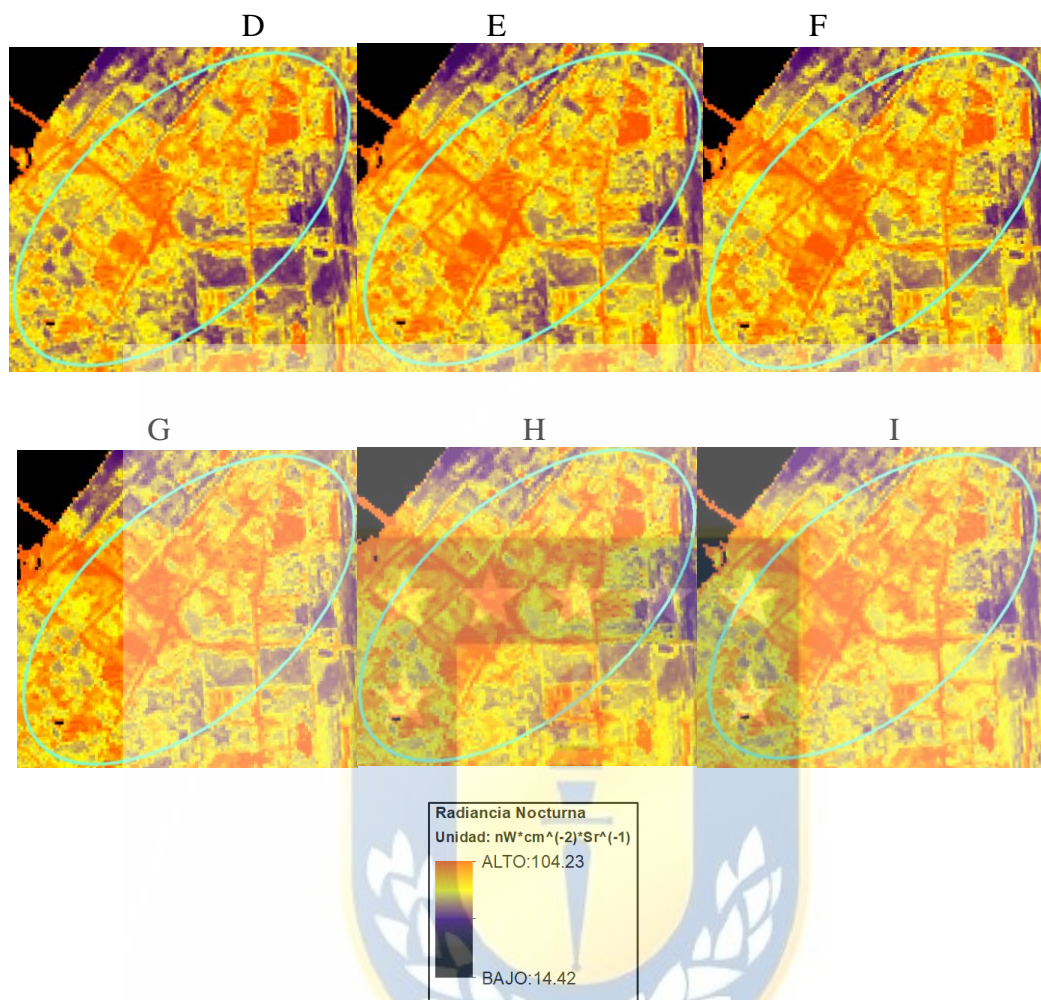
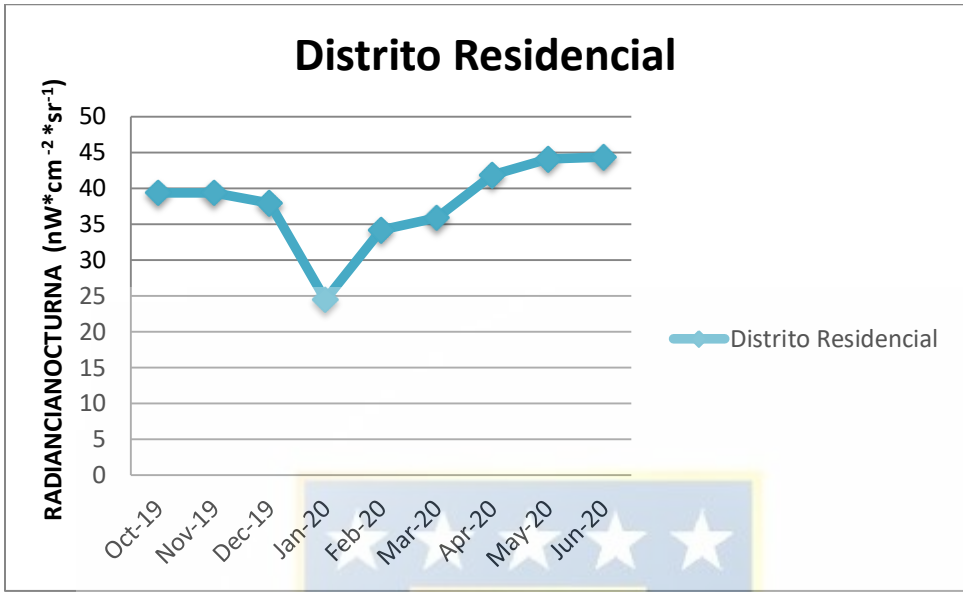


Ilustración 32: Distrito Residencial. A) Octubre 2019. B) Diciembre 2019. C) Febrero 2020. D) Marzo 2020. E) Abril 2020. F) Mayo 2020. Junio 2020.

Tabla 10: Radiancia nocturna de Distrito residencial correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.

Fecha	Promedio de radiancianocturna ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Promedio de cada periodo ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	% de cambio en cada periodo con respecto a antes de la cuarentena
<b>Oct-19</b>	39.4	38.9	-
<b>Nov-20</b>	39.4		
<b>Dec-19</b>	37.9		
<b>Ene-20</b>	24.5	31.5	-19.0
<b>Feb-20</b>	34.2		
<b>Mar-20</b>	35.9	43.5	11.7
<b>Apr-20</b>	41.9		
<b>May-20</b>	44.1		
<b>June-20</b>	44.4		



**Ilustración 33:** Radiancia nocturna de Distrito residencial correspondiente a un periodo de Antes, durante y después de la cuarentena.



## 6 Análisis de los resultados

En Noviembre específicamente en el **aeropuerto** de Wuhan hubo un mayor valor de la radiancia nocturna promedio respecto a las demás zonas de estudio, alcanzado un promedio de  $155.0 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  (tabla 6) y en Enero específicamente en el **Distrito residencial** hubo un menor valor en la radiancia nocturna con relación a las demás zonas de estudio, alcanzando  $24.5 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$  (tabla 11). Después de la cuarentena, específicamente en el **aeropuerto** hubo un mayor decrecimiento de 37.2% (tabla 6) y en el mismo periodo en el **distrito de negocios** hubo un mayor crecimiento de 13.2% en la radiancia nocturna (tabla 8) respecto a antes de la cuarentena.

Antes de la cuarentena las **Zonas de estudio** tuvieron un promedio de radiancia de  $63.7 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ , este valor es 23.1% mayor que el valor promedio de radiancia obtenido en cuarentena, y 7.1% mayor que el valor promedio de radiancia después de la cuarentena (ilustración 34 y Tabla 11). Durante los periodos de estudio, el **aeropuerto** fue la zona donde tuvo mayor promedio en la radiancia nocturna, se obtuvo un valor de  $99.3 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ , y el **distrito residencial**, fue la zona donde se obtuvo menor valor promedio en la radiancia nocturna de  $38.0 \text{ nW} * \text{cm}^{-2} * \text{sr}^{-1}$ , un 61.8% menor con respecto al **aeropuerto** (ilustración 34 y Tabla 11).

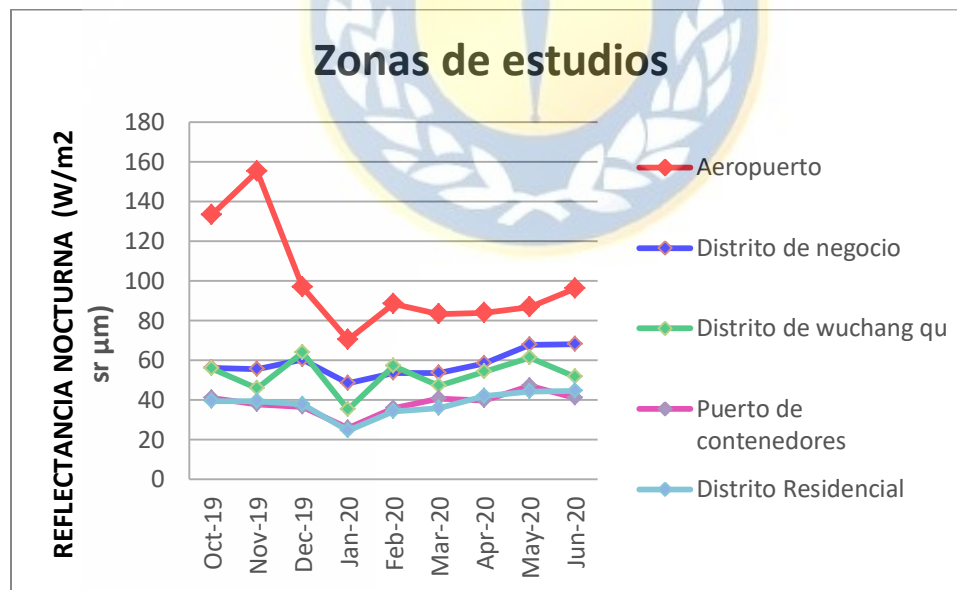


Ilustración 34: Radiancia de las zonas de estudios

Tabla 11: Radiancia de las zonas de estudios

Zonas de estudios	Antes de la cuarentena ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Durante la cuarentena ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Después de la cuarentena ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	Promedio de cada zona ( $nW * cm^{-2} * sr^{-1}$ )	% respecto al aeropuerto
<b>Aeropuerto</b>	128.3	80.6	88.9	99.3	-
<b>Puerto de contenedores</b>	38.6	34.1	42.6	38.4	-61.3
<b>Distrito de negocio</b>	57.4	52.0	65.0	58.1	-41.4
<b>Distrito de Wuchang Qu</b>	55.1	46.5	55.6	52.4	-47.2
<b>Distrito Residencial</b>	38.9	31.5	43.5	38.0	-61.8
<b>Promedio</b>	63.7	48.9	59.1		
<b>% de cambio respecto antes de la cuarentena</b>	-	-23.1	-7.1		

Los meses antes de la cuarentena (octubre a Diciembre) hubo pocas variaciones en la radiancia nocturna, la diferencia fue menor que 1,5 % entre los meses, eso pasó porque hubo estabilidad en la producción, consumo de energía y en las actividades económicas desarrolladas en la ciudad. Como se puede observar en las ilustraciones 2 a 6.

En los meses de cuarentena hubieron mayores variaciones en las luces nocturnas de la ciudad de Wuhan, presentando un índice de decrecimiento de 10.3 %. El mes de enero fue el mes que hubo mayor decrecimiento en las luces nocturna de Wuhan [ $12.9 (nW * cm^{-2} * sr^{-1})$ ]. Esto pasó porque la demanda de electricidad fue afectada por el virus y por el cierre de fábricas durante las vacaciones del año nuevo chino, se estima que a fines de enero, la carga máxima de energía en la provincia de Hubei se redujo a 22,5 gigavatios, un 21 por ciento menos de lo planeado (RFA, 2020).

En febrero la radiancia nocturna aumentó 15% con respecto al enero, esto pasó porque el 4 de febrero de 2020 se incrementó el volumen de descarga de agua del embalse de las Tres Gargantas, ubicado en la provincia central china de Hubei, con el fin de garantizar el suministro de agua y electricidad, ya que el brote del nuevo coronavirus había afectado las reservas de carbón y la generación eléctrica en la provincia (Xinhua, 2020). El 6 de febrero en una reunión presidida por el primer ministro Li Keqiang, el designado para hacer frente a la crisis pidió una mayor producción de energía pero con las precauciones necesarias para prevenir infecciones entre los trabajadores, lo que llevó la Administración Nacional de Energía (NEA), demandar un mayor suministro de energía a los hogares, hospitales y regiones afectadas y el Ministerio de Transporte ordenó a las autoridades locales que no bloqueen autopistas, carreteras o caminos

rurales por temor al contagio para garantizar el suministro de carbón visto que las reservas locales se estaban agotando (RFA, 2020).

En Marzo hubo reducción de 8.8% en la radiancia nocturna con relación al mes anterior, eso pasó porque hubo una racionalización en la distribución de energía eléctrica. Aunque hubo un aumento en la producción de energía eléctrica en marzo, todavía no era suficiente para satisfacer la demanda por parte de las empresas e industrias de producción de bienes y servicios de primera necesidad para la población y los hospitales que desde 11 de marzo de 2020 fueron autorizados a reiniciar el proceso productivo (RFA, 2020).

Después de la cuarentena hubo un aumento de 9.1% de la radiancia nocturna de Wuhan, con respecto a los meses de cuarentena, el día 8 de abril el gobierno decidió levantar la cuarentena en toda ciudad de Wuhan llevando al reinicio de todas las actividades comercial, industrial, empresarial, pero las actividades aérea seguían restringidas. Eso explica el aumento en la radiancia nocturna de 11,4% en abril y 11.8% en mayo con respecto al mes de marzo.

En Junio hubo una disminución 6.4% en la radiancia nocturna de Wuhan respecto al mes de Mayo, no se pudo encontrar específicamente los factores ligados a este cambio.

Las variaciones que hubo en la radiancia nocturna en la ciudad de Wuhan durante -10.3% y después de la cuarentena -1.3% (tabla 4), respecto a antes de la cuarentena, fueron menos significativo con respecto a las variaciones en la radiancia promedio de las zonas de estudio durante los mismos periodos, -23,1% y -7.1% (tabla 11). Esto pasó porque en las zonas de estudios el promedio de radiancia nocturna es muy superior que el promedio de radiancia de toda la ciudad de Wuhan y también porque estas zonas de estudios fueron elegidas por ser las que tuvieron variaciones significativas en las actividades humanas y esto afectó directamente las luces nocturnas.

El **Aeropuerto** de Wuhan relativamente a las otras zonas de estudios no tuvo un cambio significativo durante y después de la cuarentana. A pesar de las autoridades chinas decidieren levantar la cuarentena en el pasado 8 de Abril de 2020 Esto pasó porque, a pesar de las autoridades chinas levanta la cuarentena, el aeropuerto siguió con la restricciones en los vuelos hasta que la CAAC ajustara las políticas para los vuelos internacionales de pasajeros a principios de junio, lo que permitió a más aerolíneas extranjeras reanudar los vuelos a China una vez a la semana a partir del 8 de junio (DW, 2020). Esto explica la similitud entre los patrones de radiancia de aeropuerto, y el número de personas que viajaron desde el aeropuerto de Wuhan (ilustración 5).

Comparando los dos centros urbanos (**distritos de negocios y de Wuchang Qu**) se puede constatar que los rangos de variaciones de la radiancia promedio son similares, pero la diferencia significativa fue como los dos centros urbanos se recuperaron después de la

cuarentena. Después de la cuarentena el Distrito Central de negocio tuvo un crecimiento de 13.2% y el distrito de Wuchang Qu 0.9% respecto a antes de la cuarentena. Esta diferencia significativa ocurrió porque cerca de 40% de todas las instalaciones del **Distrito de negocios** son empresas o comercios, entonces con el levantamiento de la cuarentena, las empresas empezaron a trabajar a un rendimiento muy alto, para contrarrestar los daños económicos causados por la pandemia mundial.

El **distrito de Wuchang Qu** hubo variaciones más drásticas en la radiancia nocturna, presentado los mismos patrones que la ciudad de Wuhan, pero con los valores de variaciones más extremos con respecto a los meses anteriores, eso pasó porque por ser una zona pequeña y con mucha iluminación, las variaciones en las luces nocturnas eran mucho más evidentes.

Cerca de 80% de los cambios que ocurrieron en las zonas de estudios tienen directa relación con los factores que cambiaron en China debido las alteraciones en las actividades humanas (citados anteriormente en el marco teórico).



## 7 Conclusión

Con base a esta investigación se concluye que:

La pandemia mundial (COVID-19) causó variaciones significativas en las luces nocturnas de la ciudad de Wuhan. Usando el producto Nasa Black Marble se puede observar las variaciones en las luces nocturnas de la ciudad de Wuhan, y también usando las mismas imágenes se puede estimar el porcentaje de pérdida y recuperación de luces eléctrica en la ciudad de Wuhan. Se constató que factores como tasa de crecimiento mensual de los Ingresos de las actividades principales y ganancias totales de China, tasa de crecimiento mensual de las ventas minoristas totales de bienes de consumo, tasa de consumo de electricidad, cantidad de personas que usaron el aeropuerto internacional de Wuhan y cantidad total de carga del Puerto de contenedores de Wuhan número de un periodo de antes, durante y después de la cuarentena tuvieron una relación directa con las variaciones en las luces nocturnas. Enero fue el mes donde hubo mayor decrecimiento en las luces nocturna de Wuhan, esto pasó debido a la baja producción de electricidad y carbón. En enero por cuenta de un paro total en todas las actividades del aeropuerto de Wuhan, fue la zona donde hubo mayor decrecimiento en las luces nocturnas respecto a las demás zonas de estudio. Después de la cuarentena todas las zonas de estudios con excepción al aeropuerto de Wuhan tuvieron un crecimiento en las luces nocturnas respecto a antes de la cuarentena esto debido que en este periodo se incrementó la producción en los diversos sectores de la ciudad, con propósito de contrarrestar los efectos negativos en la economía que la pandemia mundial causó. Este incremento en las luces nocturnas no ocurrió en el aeropuerto de Wuhan, porque después de la cuarentena todavía había restricciones en los vuelos internacionales en Wuhan.

## 8 Referencias

1. Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *Jama*, 323(13), 1239-1242.
2. Khan, S., Siddique, R., Shereen, M. A., Ali, A., Liu, J., Bai, Q., ... & Xue, M. (2020). Emergence of a novel coronavirus, severe acute respiratory syndrome coronavirus 2: biology and therapeutic options. *Journal of clinical microbiology*, 58(5).
3. Berlinger, J., George, Steve., Griffiyhs, J., & Guy, Jack. (24 de janeiro de 2020). *January 23 coronavirus news*. Recuperado el 11 de septiembre de 2020, de <https://www.cnn.com/asia/live-news/coronavirus-outbreak-intl-hnk/index.html>
4. [WHO] World Health Organization. (11 de marzo de 2020). *Palabras de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre el COVID-19 - 11 de marzo de 2020*. Recuperado el 10 de Diciembre 2020 de <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
5. Xinhuanet. (2020). *Wuhan de China no marca ningún nuevo caso de coronavirus, éxito de medidas estrictas*. Recuperado 20 de Noviembre de 2020 de [http://www.xinhuanet.com/english/2020-03/19/c\\_138895239.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-03/19/c_138895239.htm).
6. [WHO] World Health Organization. (2020) .*WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard*. Recuperado el 5 de octubre de 2020 de <https://covid19.who.int/>
7. Carlowicz, M. (27 de marzo de 2020). *Nighttime Images Capture Change in China*. Recuperado 11 de Junio de 2020 de <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146481/nighttime-images-capture-change-in-china>.
8. Guo, Y. R., Cao, Q. D., Hong, Z. S., Tan, Y. Y., Chen, S. D., Jin, H. J., ... & Yan, Y. (2020). The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak—an update on the status. *Military Medical Research*, 7(1), 1-1
9. Lu, R., Zhao, X., Li, J., Niu, P., Yang, B., Wu, H., ... & Tan, W. (2020). Genomic characterization and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *The Lancet*, 395(10224), 565-574.
10. Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R. S., de Groot, R. J., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., ... & Ziebuhr, J. (2020). The species severe acute respiratory syndrome related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 5: 536–544.



11. [AVMA] American Veterinary Medical Association. (2020). *Coronavirus: Detailed taxonomy*. Recuperado el 3 de enero de 2021 <https://www.avma.org/sites/default/files/2020-02/AVMA-Detailed-Coronavirus-Taxonomy-2020-02-03.pdf>
12. Pal, M., Berhanu, G., Desalegn, C., & Kandi, V. (2020). Severe acute respiratory syndrome Coronavirus-2 (SARS-CoV-2): An update. *Cureus*, 12(3).
13. Fehr, A. R., & Perlman, S. (2015). Coronaviruses: an overview of their replication and pathogenesis. In *Coronaviruses* (pp. 1-23). *Humana Press*, New York, NY.
14. [CDC] Centro para el Control y Prevención de Enfermedades. (2020). *Lo que usted debe saber acerca del COVID-19 para protegerse a usted y a los demás*. Recuperado el 05 de enero de 2020 de <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/downloads/2019-ncov-factsheet-sp.pdf>
15. Van Cuong L, Giang HTN, Linh LK, Shah J, Van Sy L, Hung TH, et al.(2020). The first Vietnamese case of COVID-19 acquired from China. *Lancet Infect Dis* 2020;20:408-409. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30111-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30111-0).
16. Johns Hopkins University & Medicine. (30 de marzo de 2020). *Coronavirus COVID-19 Global Cases by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkin*. Recuperado el 30 de diciembre de 2020 de <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.
17. [NBS] National Bureau of Statistics of China. (2020). *Industrial Profits Increased by 2.4 Percent in the First Eleven Months of 2020*. Recuperado 25 de Diciembre de 2020 de [http://www.stats.gov.cn/enGLiSH/PressRelease/202012/t20201228\\_1811858.html](http://www.stats.gov.cn/enGLiSH/PressRelease/202012/t20201228_1811858.html)
18. [CEC] China Electricity Council. (2020). Data of Electricity Consumption (Jan-Nov 2020). Recuperado el 2 de enero de 2021 de <https://english.cec.org.cn/detail/index.html?3-1087>
19. CEICDATA. (2020). *China Airport: Freight Throughput: Wuhan*. Recuperado el 3 de enero de <https://www.ceicdata.com/en/china/airport-freight-throughput-monthly/airport-freight-throughput-wuhan>.
20. CEICDATA. (2020). *Ver CN de China: Puerto principal fluvial: Rendimiento de carga*. Recuperado 6 de enero de 2021 de <https://www.ceicdata.com/en/china/waterway-freight-throughput-river/cn-river-major-port-freight-throughput-ytd-wuhan>.
21. Reddy, M. A., & Reddy, A. (2008). *Textbook of remote sensing and geographical information systems* (pp. 4-4). Hyderabad: BS publications.
22. [NASA] La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (1 de febrero de 2021). *Remote Sensors*. Recuperado el 13 de marzo de 2021 <https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensors#:~:text=Active%20sensors%2C%20provide%20their%20own,illuminate>

%20the%20objects%20they%20observe.&text=Passive%20sensors%2C%20on%20the%20other,radiation%20measured%20by%20passive%20sensors.

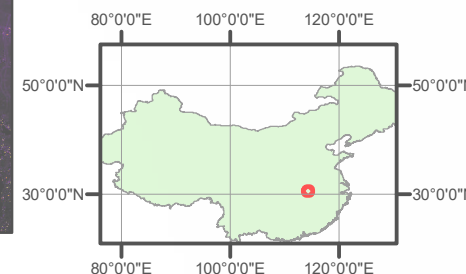
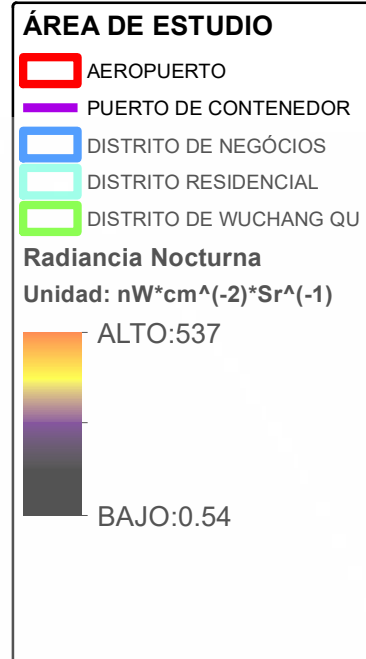
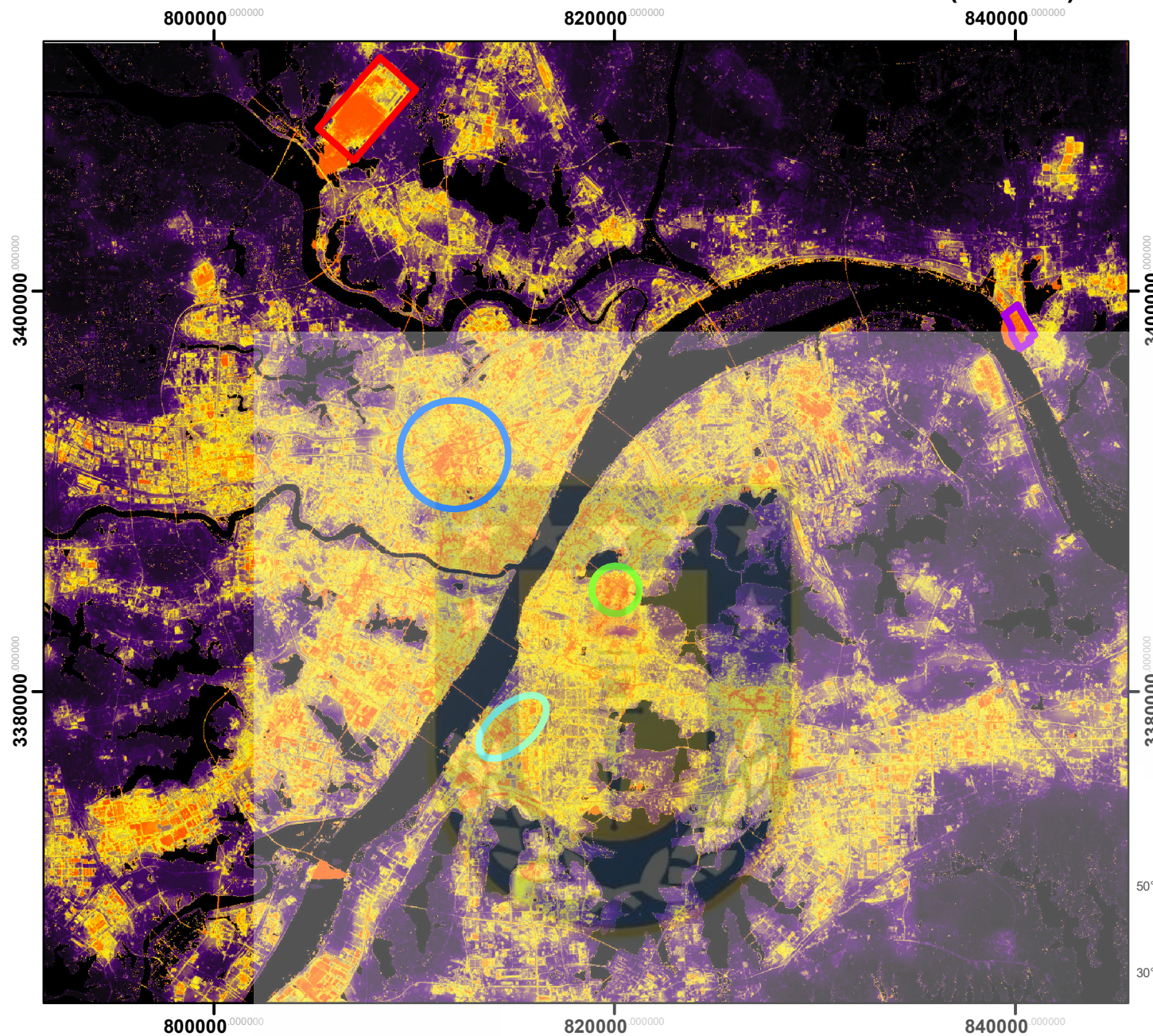
23. [NASA] La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio. (S.F). *NASA Black Marble Product*. Recuperado el 27 de diciembre de 2020 de <https://viirsland.gsfc.nasa.gov/Products/NASA/BlackMarble.html>
24. Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). VIIRS night-time lights. *International Journal of Remote Sensing*, 38(21), 5860-5879.
25. [USGS] Servicio Geológico de los Estados Unidos. (S.f ). *Landsat Normalized Difference Vegetation Index*. Recuperado el 10 de octubre de 2020 de [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-normalized-difference-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
26. Zhang, Q., Li, B., Thau, D., & Moore, R. (2015). Building a better urban picture: Combining day and night remote sensing imagery. *Remote Sensing*, 7(9), 11887-11913.
27. Wuhan government. (19 de Abril de 2012). *Wuhan overview*. Recuperado el 6 de noviembre de 2020 de [http://english.wh.gov.cn/WO\\_1/NaG\\_1/](http://english.wh.gov.cn/WO_1/NaG_1/)
28. Wuhan Airport. (s.f). *Aeropuerto de Wuhan (WUH)*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2020 de <https://www.wuhan-airport.com/>
29. Elegant, N., 2020. *China locks down 3 cities and suspends flights to stop virus..* Recuperado el 20 de Marzo de 2021 de <https://fortune.com/2020/01/23/china-wuhan-lockdown-flights-suspended-virus-outbreak/>
30. Chua, A. (2020). *El aeropuerto de Wuhan reabre después de un cierre de meses*. Recuperado 14 de Diciembre de 2020 de <https://www.flightglobal.com/airlines/wuhan-airport-reopens-after-months-long-lockdown/137854.article>.
31. Container news. (2020). *Los puertos de contenedores de Wuhan vuelven a sus operaciones normales*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020 de <https://container-news.com/wuhans-container-ports-return-to-normal-operations/>.
32. Wuhan CBD. (2015). *Planning Achievements*. Recuperado el 2 de octubre de 2020 de [http://www.whcbd.com/en\\_us/about\\_cbd/planning\\_achievements.shtml](http://www.whcbd.com/en_us/about_cbd/planning_achievements.shtml).
33. Gobierno popular del distrito de Wuchang. (2020). *Descripción general de Wuchang*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020 de <http://www.wuchang.gov.cn/zjwc/>
34. [USGS] Servicio Geológico de los Estados Unidos.(S.f ). *Conversion to TOA Reflectance*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020 de <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>.
35. [USGS] Servicio Geológico de los Estados Unidos.(S.f). Recuperado el 3 de octubre de 2020 de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

36. Riaño, D., Salas, J., & Chuvieco, E. (2000). Corrección atmosférica y topográfica, información multitemporal y auxiliar aplicada a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat-TM. *Asociación de Geógrafos Españoles*. Recuperado el 26 de enero de 2021 : [http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX\\_2/Riano\\_David](http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX_2/Riano_David). PDF.
37. Román, M. O., Stokes, E. C., Shrestha, R., Wang, Z., Schultz, L., Carlo, E. A. S., ... & Enenkel, M. (2019). Satellite-based assessment of electricity restoration efforts in Puerto Rico after Hurricane Maria. *PloS one*, 14(6), e0218883.
38. [RFA] Radio Free Fracesa. (2020). *China's Epidemic Drives Dilemma for Energy Deliveries*. Recuperado el 6 de enero de 2020 de [https://www.rfa.org/english/commentaries/energy\\_watch/chinas-epidemic-drives-dilemma-02142020113154.html](https://www.rfa.org/english/commentaries/energy_watch/chinas-epidemic-drives-dilemma-02142020113154.html)
39. Xinhuanet. (4 de febrero de 2020). *Presa de las Tres Gargantas aumenta volumen de descarga para hacer frente a brote de coronavirus*. Recuperado el 28 de diciembre de 2020 de [http://spanish.xinhuanet.com/2020-02/04/c\\_138755391.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2020-02/04/c_138755391.htm)
40. [DW] Deutsche Welle. (4 de junio de 2020). *China reabre parcialmente su espacio aéreo a vuelos internacionales*. Recuperado el 3 de enero de 2021 de <https://www.dw.com/es/china-reabre-parcialmente-su-espacio-a-a%C3%A9reo-a-vuelos-internacionales/a-53680237>

## 9 Anexos



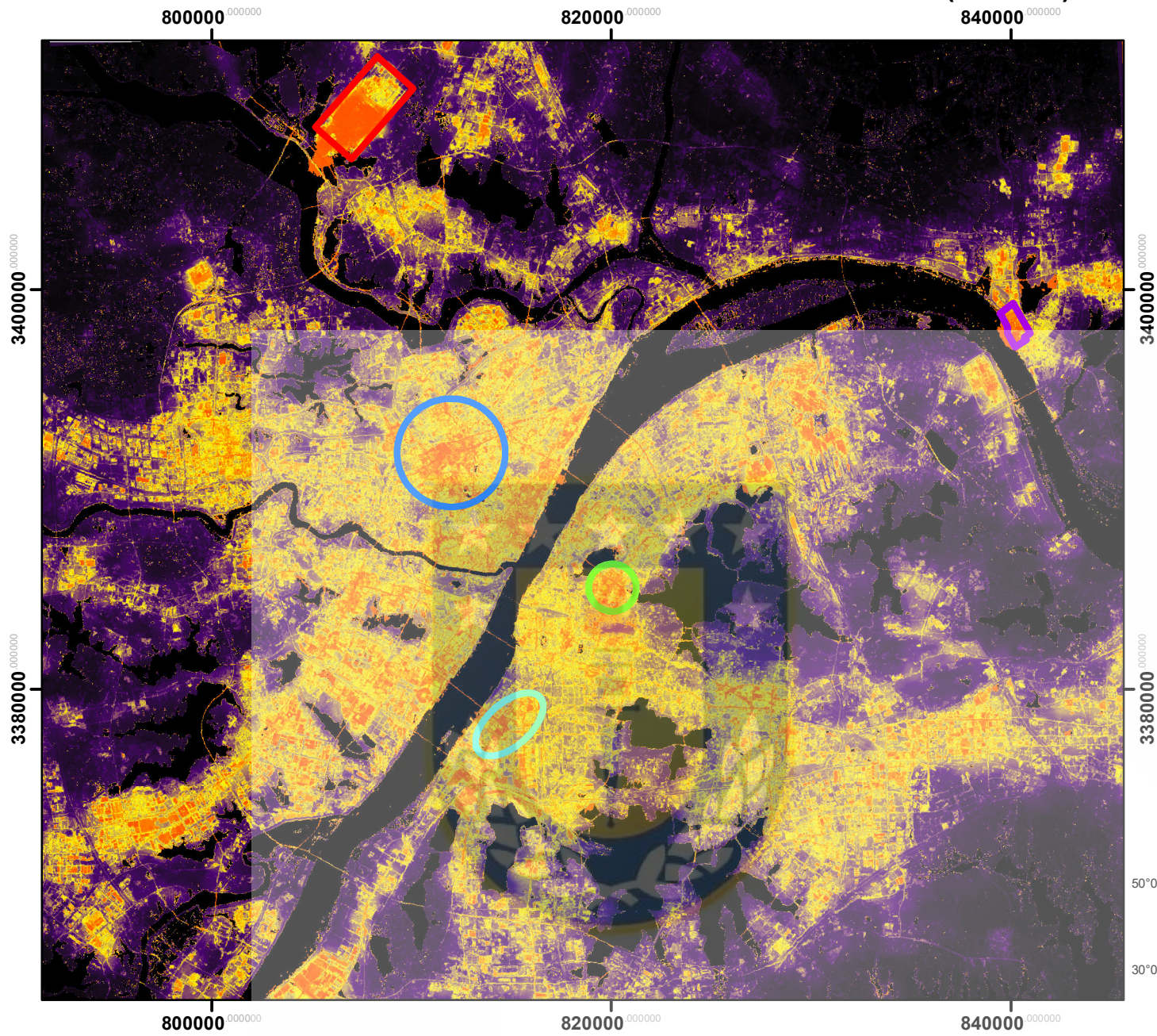
# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (10-2019)



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (11-2019)



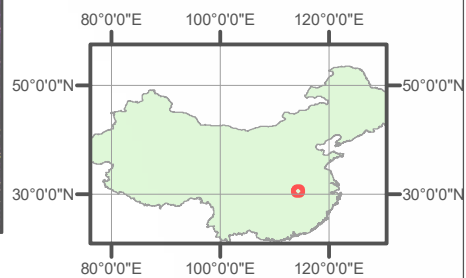
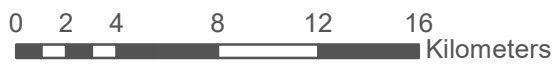
**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

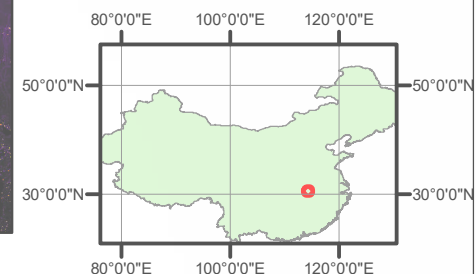
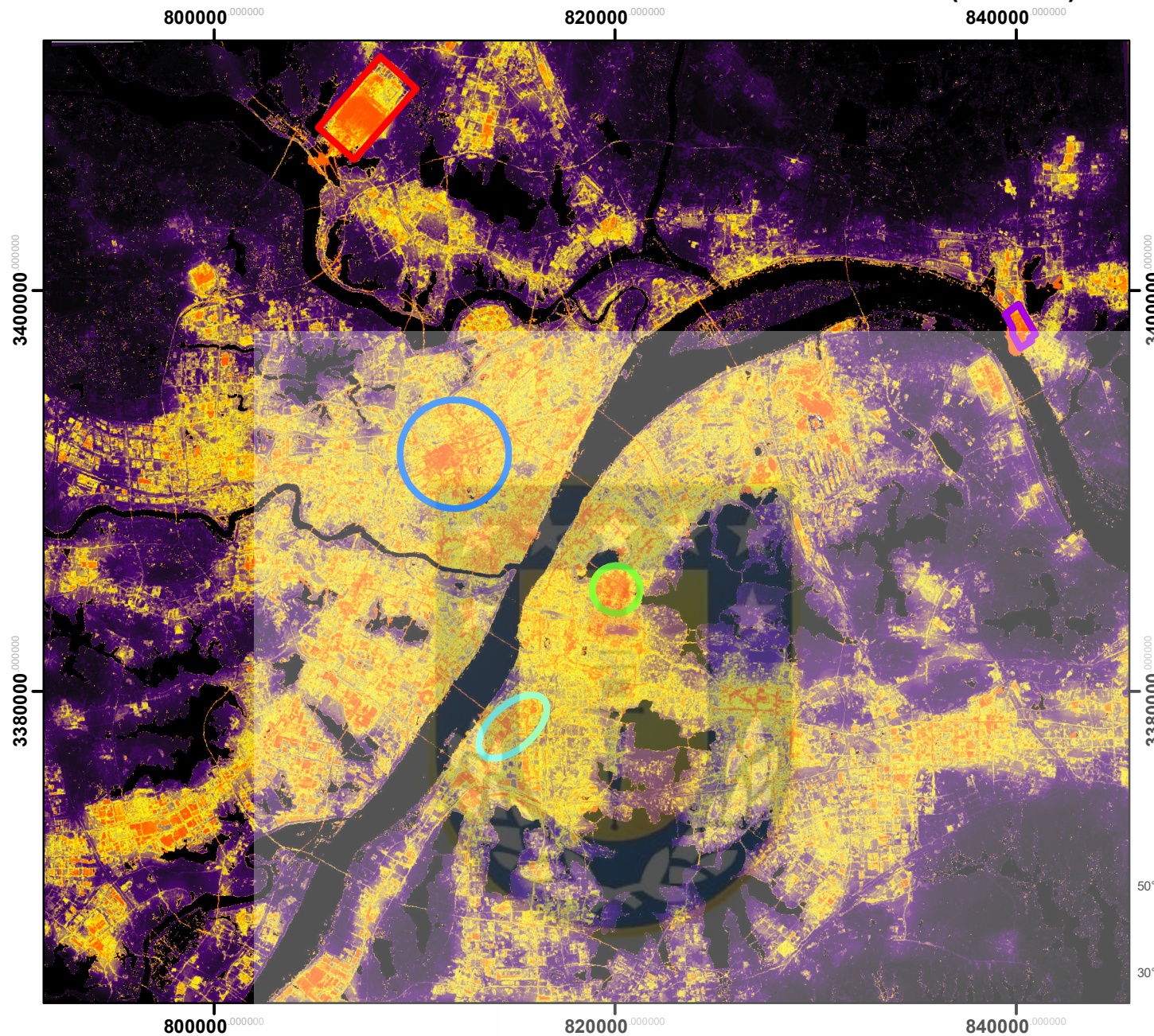
ALTO: 499.14

BAJO: 0



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI  
SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

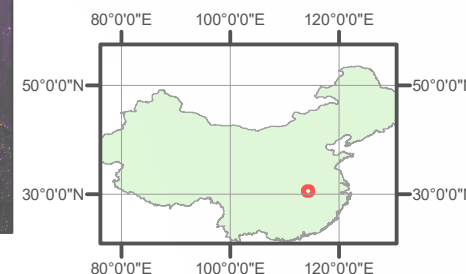
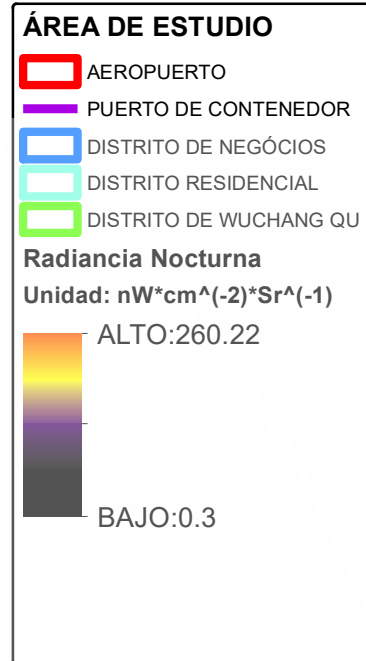
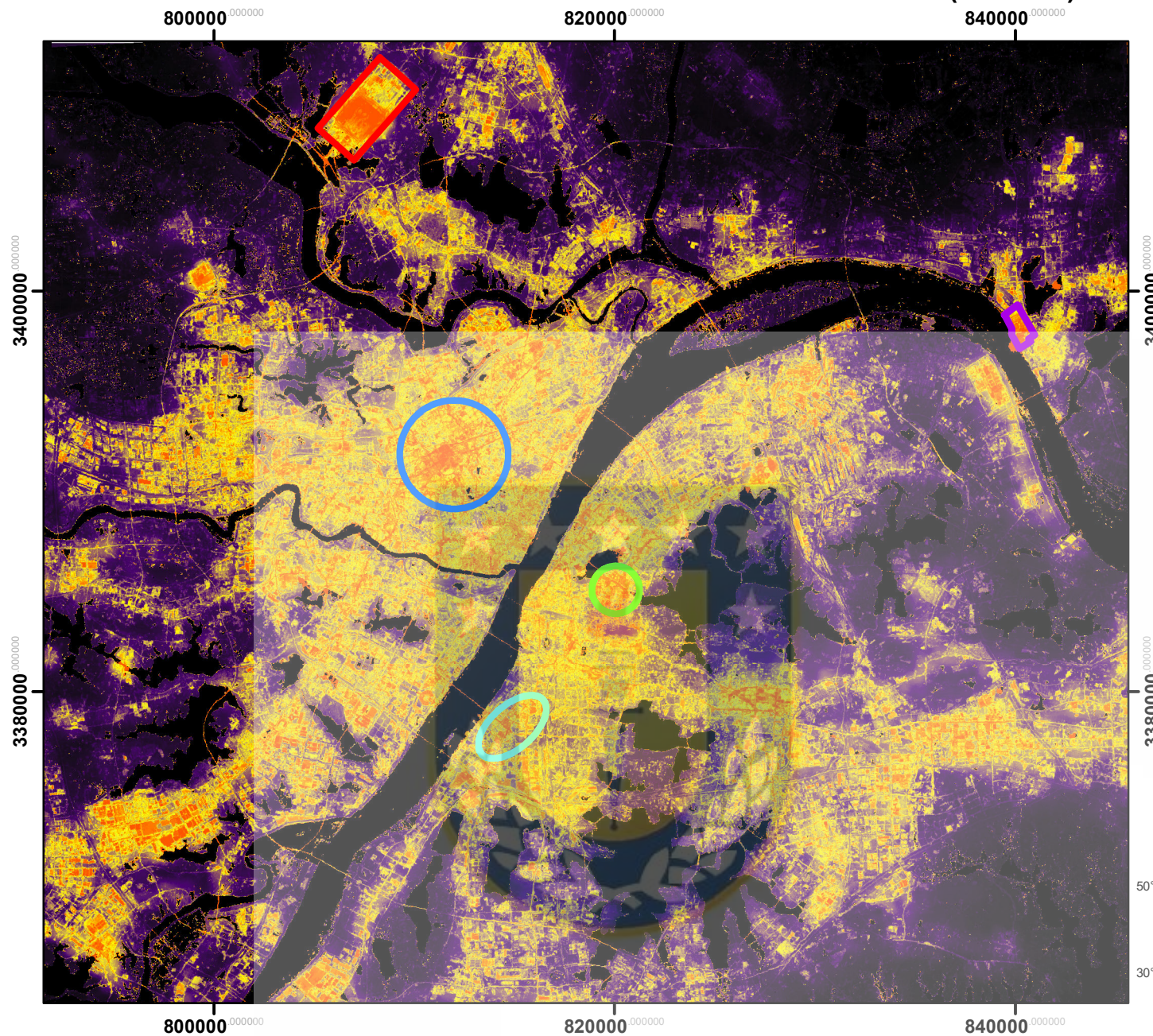
# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (12-2019)



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (01-2020)

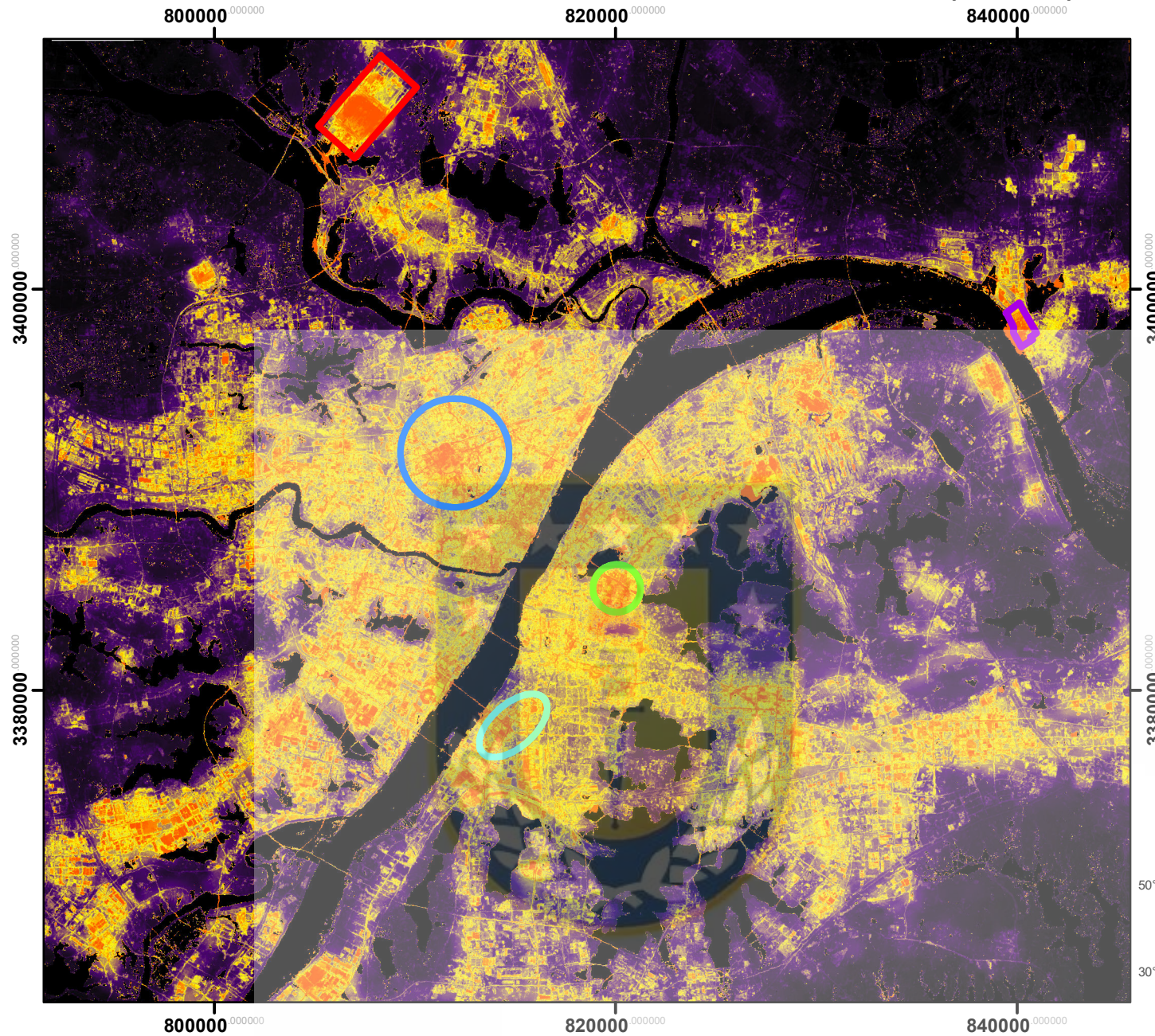


AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N



# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (02-2020)



**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

ALTO:343.1  
BAJO:0

3400000  
0000000

3400000  
0000000

3380000  
0000000

3380000  
0000000

800000 0000000

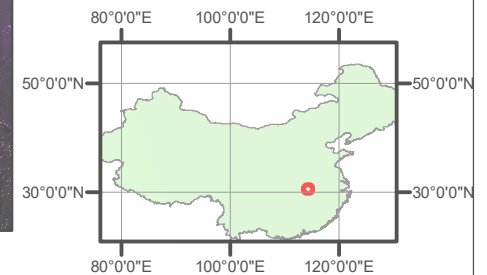
820000 0000000

840000 0000000

800000 0000000

820000 0000000

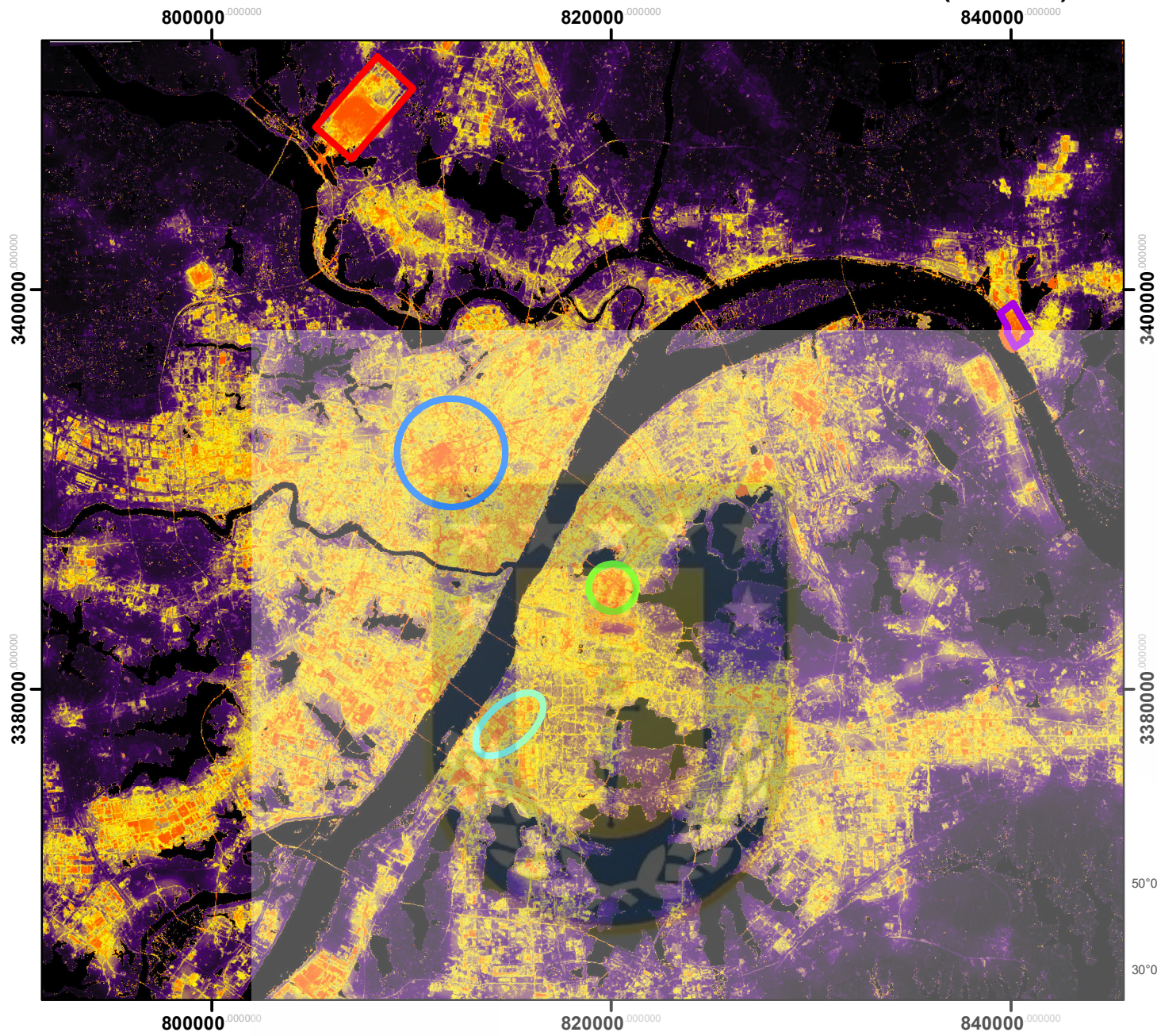
840000 0000000



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (03-2020)



**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

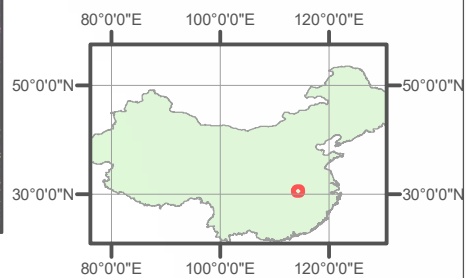
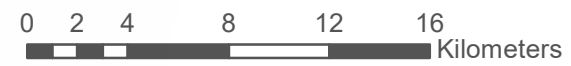
ALTO: 333.72  
BAJO: 0.46

3400000  
3380000

3400000  
3380000

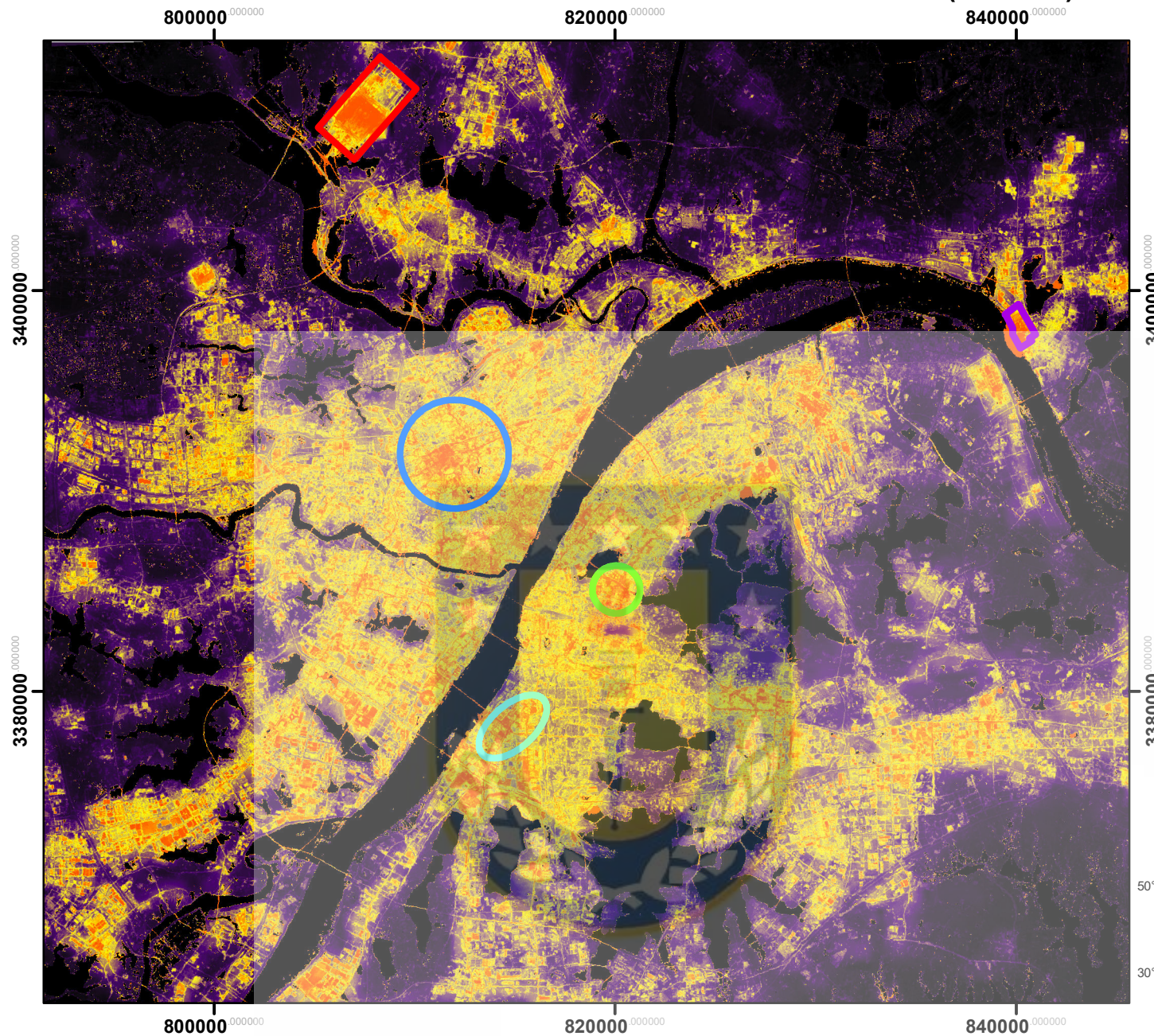
800000 820000 840000

800000 820000 840000



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI  
SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (04-2020)



**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

ALTO: 350.94

BAJO: 0.6

3400000

3400000

3380000

3380000

800000

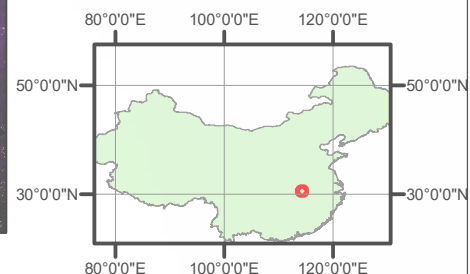
820000

840000

800000

820000

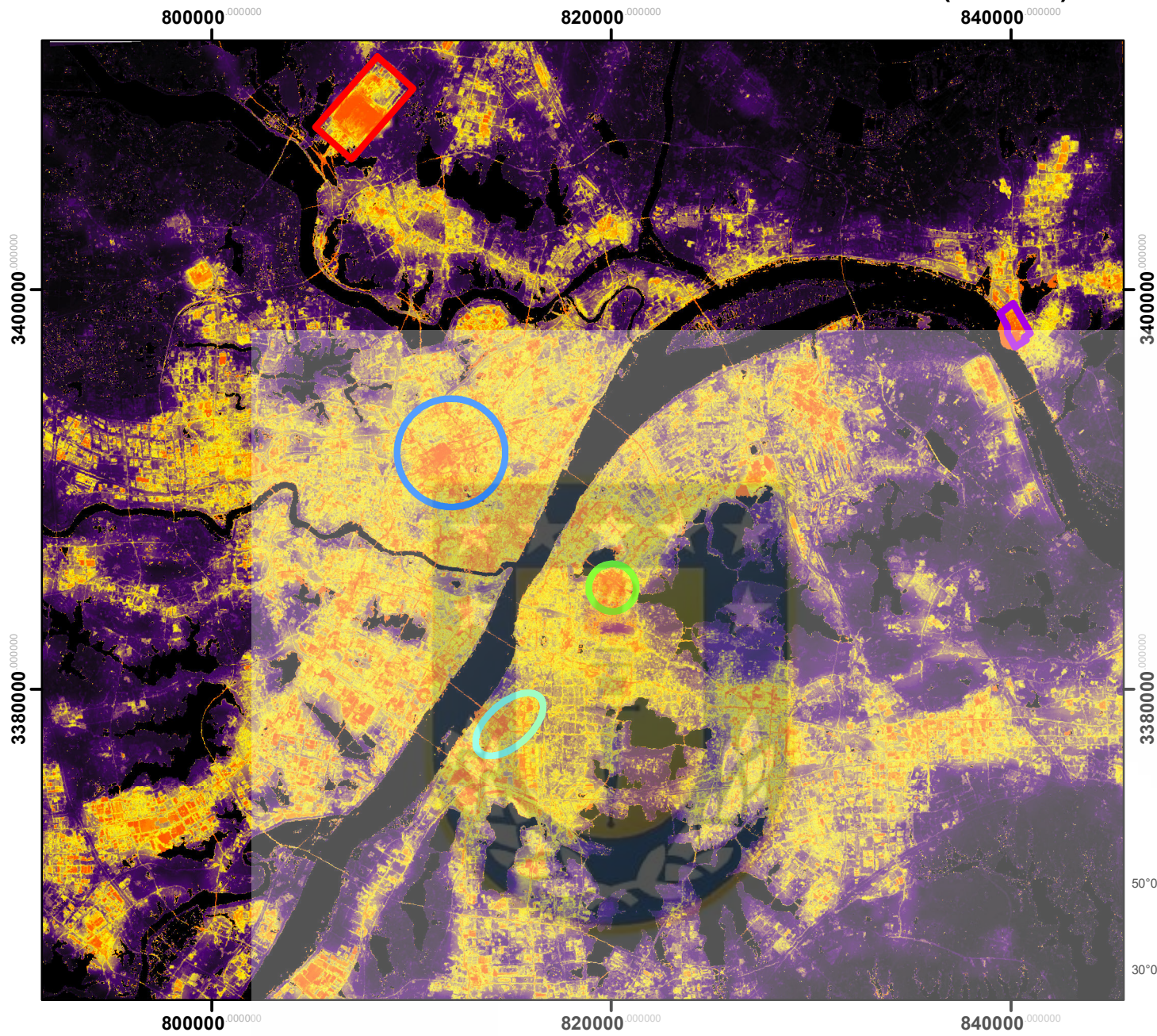
840000



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (05-2020)



**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

ALTO: 389.18

BAJO: 0.58

3400000

3400000

3380000

3380000

800000

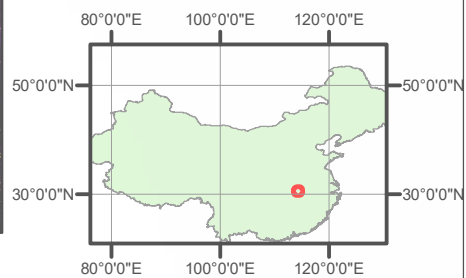
820000

840000

800000

820000

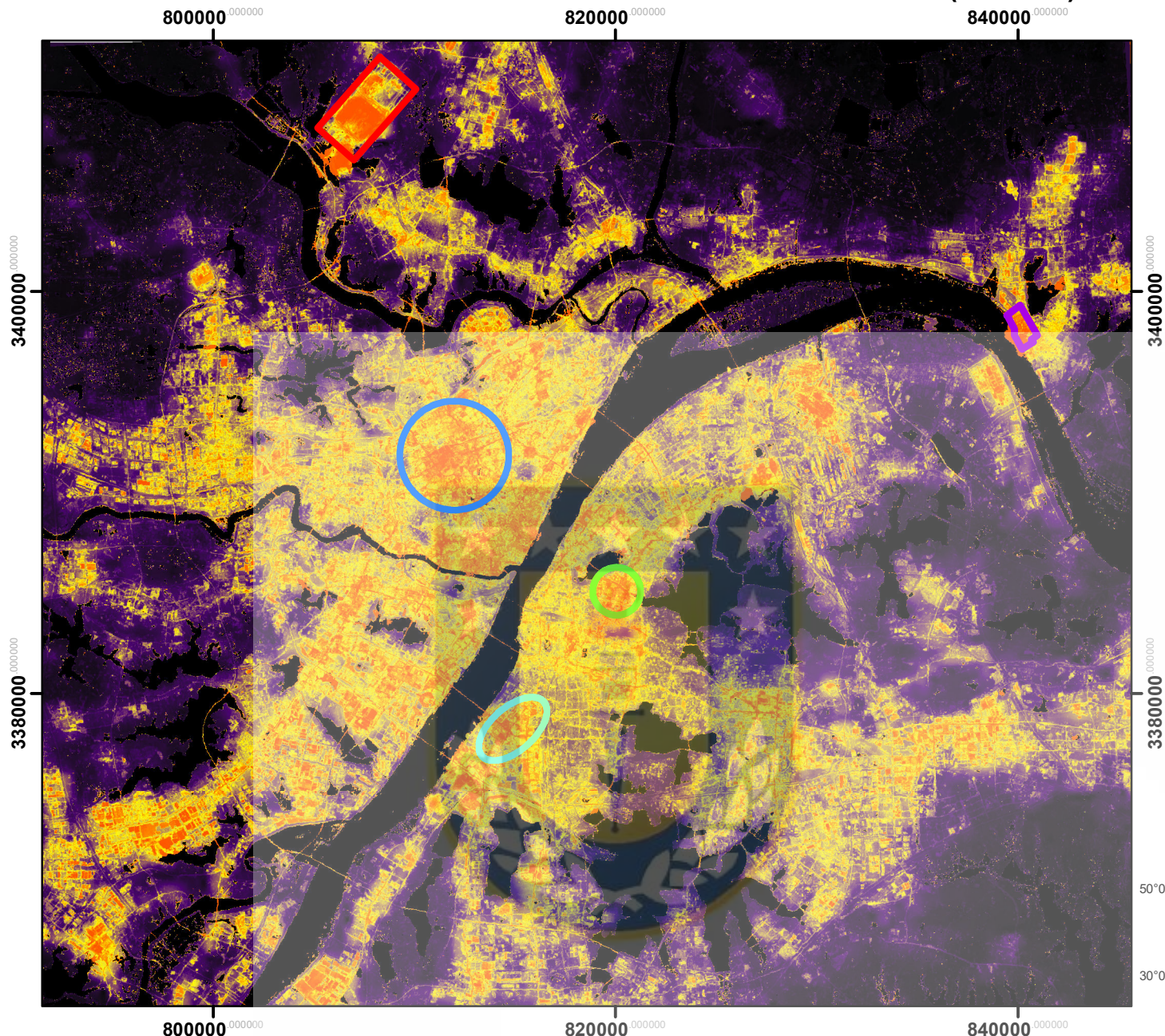
840000



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI

SC: WGS84 UTM HUSO 50 N

# IMAGEN SATELITAL NOCTURNA DE WUHAN (06-2020)

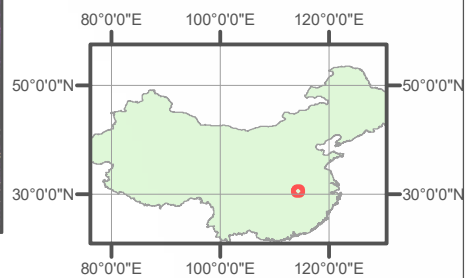
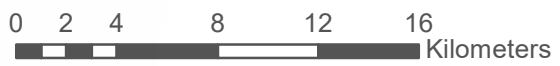


**ÁREA DE ESTUDIO**

- AEROPUERTO
- PUERTO DE CONTENEDOR
- DISTRITO DE NEGÓCIOS
- DISTRITO RESIDENCIAL
- DISTRITO DE WUCHANG QU

**Radiancia Nocturna**  
Unidad:  $nW \cdot cm^{-2} \cdot Sr^{-1}$

ALTO: 430.68  
BAJO: 0.27



AUTOR: NSIMBA MICHAEL MBENGI  
SC: WGS84 UTM HUSO 50 N