



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - “ESPE”

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA :“DESARROLLO DE UN SITE SURVEY DE LA RED LPWAN SIGFOX MEDIANTE UN PROTOTIPO DE GEOPOSICIONAMIENTO EN EL CANTÓN QUITO.”**

**AUTORES: Chasi Laica, Jonathan Alexander y Gutiérrez Pallo, José Antonio**

**Director del Proyecto: Ing. Román Lara. PhD.**

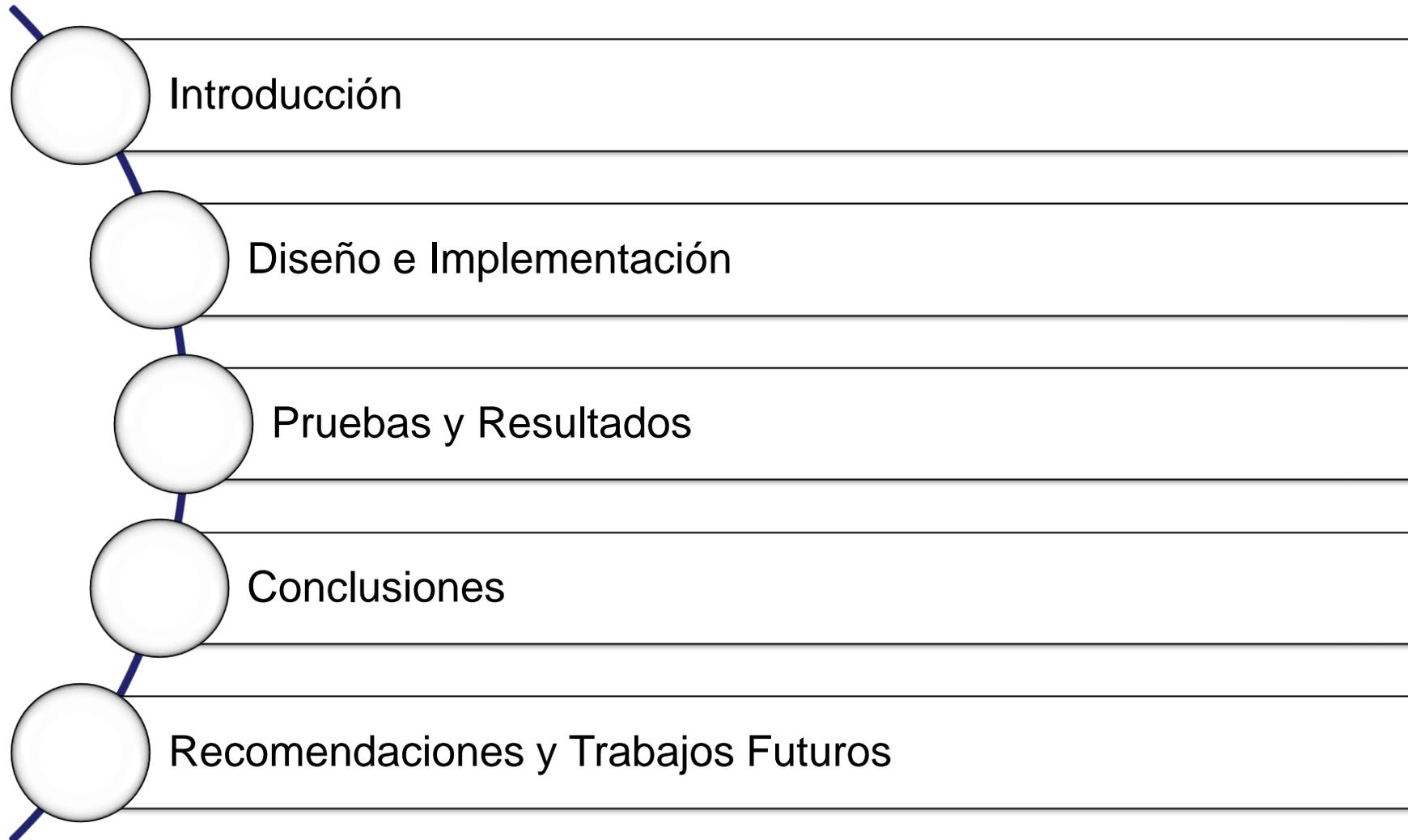
**Docente Evaluador: Ing. Alejandro Castro. PhD.**

**Director de Carrera: Ing. Carlos Daniel Altamirano. PhD.**

**Secretaria Académica: Abg. María Fernanda Jaramillo.**

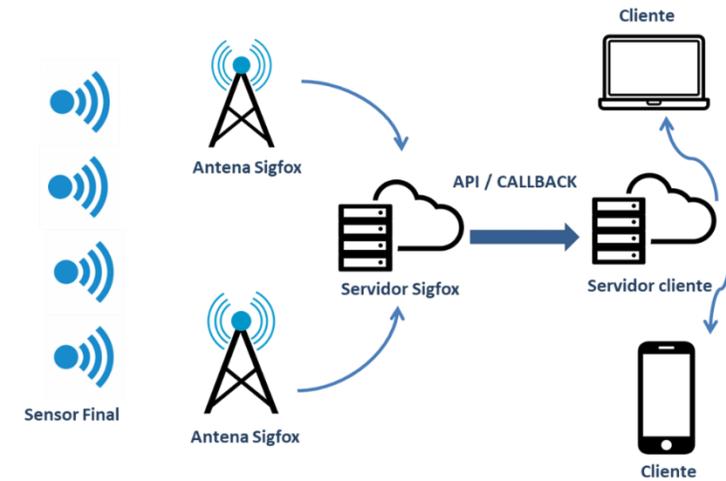
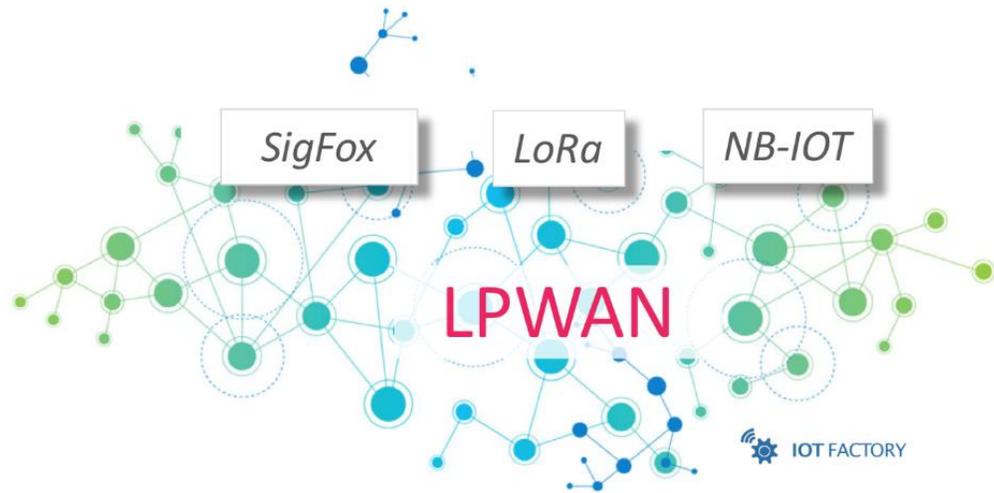


# Agenda



# Introducción

Antecedentes.



# Introducción

## Trabajos Relacionados

### “Evaluación del Área de Solapamiento en Redes Wi-Fi Empleando Modelos de Propagación para Interiores y Realizando Mediciones en el Sitio”

- Estudio de tres modelos de propagación, simulaciones.
- Modelo de propagación Multipared predice con bastante precisión el mapa de cobertura, niveles de potencia y porcentaje de solapamiento. (Tipantuña, Kallas, Meo, & Ajmone, 2014)

### “Ampliación de la Red de Sincronismo de la CNT EP”

- Un Site Survey es la primera etapa de un proyecto.
  - Se detallará información como puede ser:
    - Ubicación del sitio, personal a cargo, fecha, requerimiento de acceso, diagramas, disponibilidad de energía, recorrido de cables y lista de materiales.
- (Digitec S.A, 2022).

### “Site Survey para la implementación de una red WI-FI”

- Se determina la colocación apropiada de los dispositivos inalámbricos con el objetivo de obtener la red deseada,
- Evita interferencias, reduce zonas de cobertura conflictivas, etc.

(Medrano, Castillo, Tejerina, & Gonzales, 2017)

### “Elaboración técnica de equipos Microchip”

- El manual técnico se indica una parte del Site Survey del equipo donde se detallan algunos aspectos para su implementación
  - El sitio disponga de una fuente de alimentación específica, temperatura adecuada para el equipo y dimensiones.
- (Microchip, 2022)



# Introducción

## Justificación e Importancia



## Objetivo General

- Desarrollar un Site Survey de la red LPWAN Sigfox mediante un prototipo de Geoposicionamiento en el cantón Quito.

## Objetivos Específicos

- Monitorizar el funcionamiento del prototipo mediante la plataforma de Sigfox, de forma que se puedan evitar datos erróneos por parte de la conectividad.
- Medir los valores de RSSI obtenidos del prototipo en los lugares donde se presente cobertura de la red.
- Obtener los puntos de coordenadas del prototipo de geoposicionamiento para el diseño de la cobertura de la tecnología Sigfox.
- Comprobar la exactitud del geoposicionamiento que otorgaría el prototipo conectado a la red con respecto a la ubicación fija en distintos puntos ubicados en el cantón Quito.
- Diseñar una página web para la visualización de los resultados obtenidos.

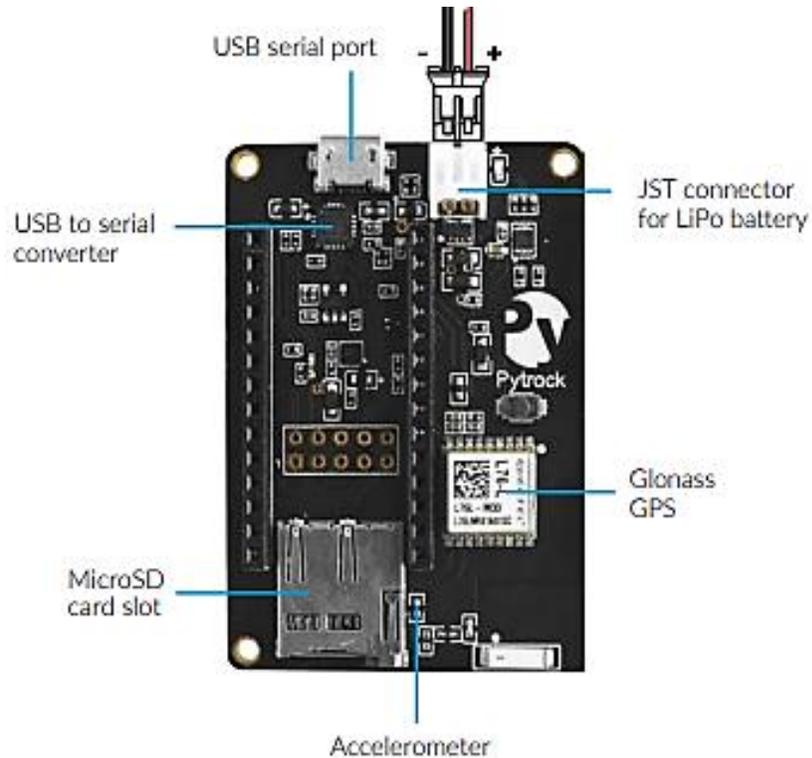


# Diseño e Implementación

## Diagrama de Bloques

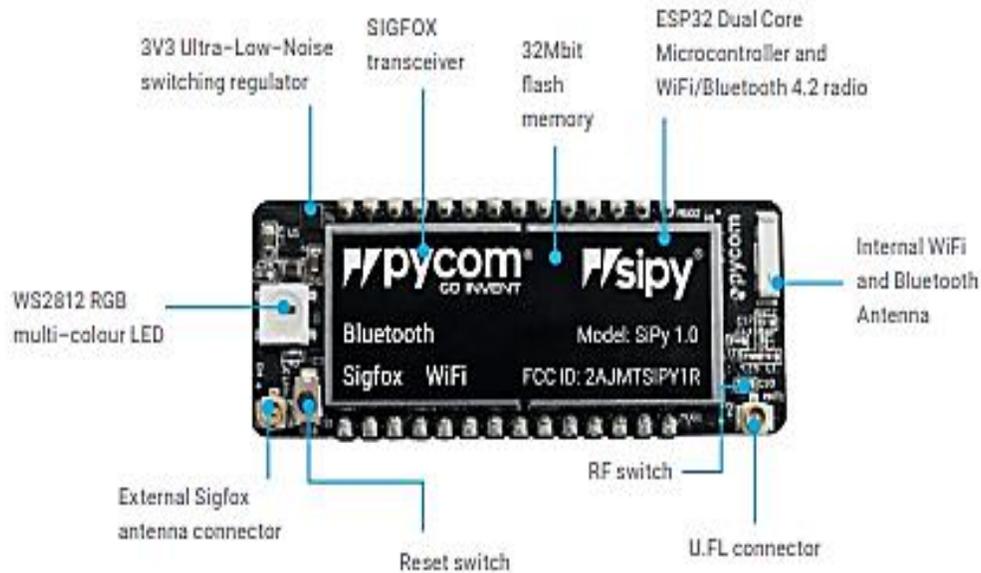


### TARJETA DE EXPANSIÓN PYTRACK



<b>Frecuencia de operación</b>	<b>902 to 928 MHz</b>
<b>Voltaje de alimentación operativo</b>	3.3v a 5.5v
<b>Temperatura min y máx. de trabajo</b>	-40° C a 80° C
<b>Velocidad de transmisión</b>	600bps
<b>Sensibilidad "Adquisición"</b>	-149 dBm
<b>Sensibilidad "Seguimiento"</b>	-157 dBm
<b>Sensibilidad "Readquisición"</b>	-161 dBm

### MODULO SIPY



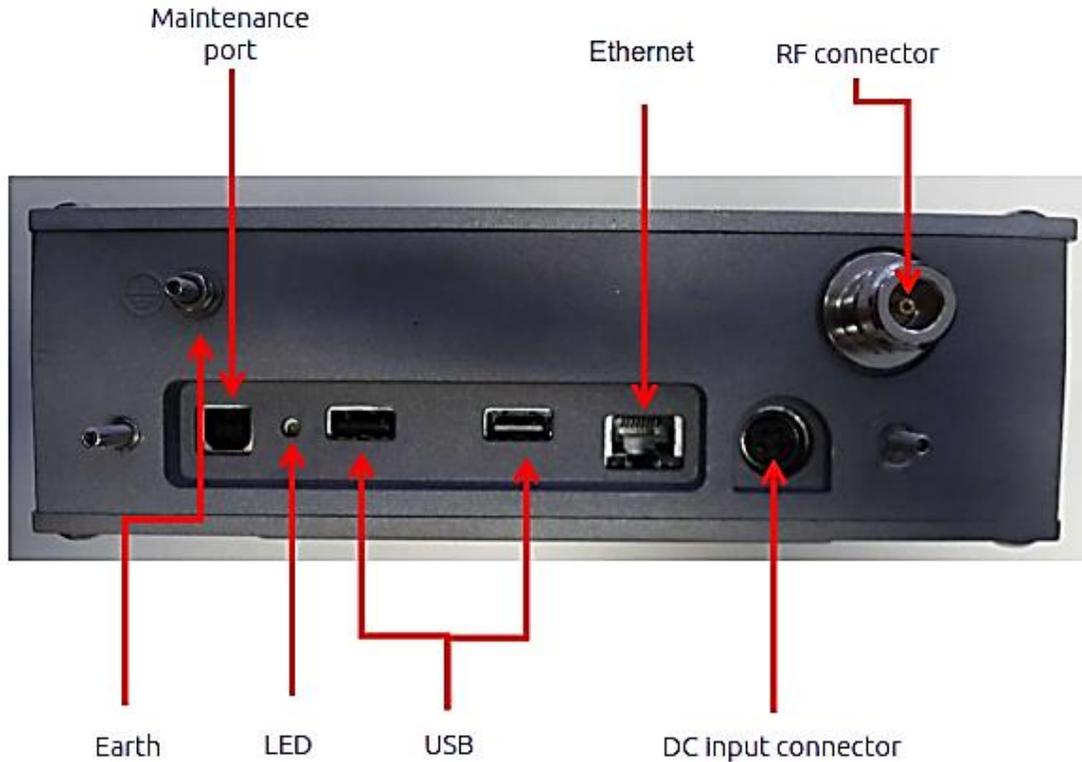
<b>Frecuencia de operación</b>	<b>902 to 928 MHz</b>
<b>Voltaje de alimentación operativo</b>	3.3v a 5.5v
<b>Temperatura min y máx. de trabajo</b>	-40° a 80°
<b>Velocidad de transmisión</b>	600bps
<b>Potencia de transmisión</b>	22 dBm
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-128 dBm

### XIAOMI REDMI NOTE 10



CARACTERÍSTICAS	
<b>PANTALLA</b>	AMOLED 6,43 pulgadas Resolución FullHD+ (2.400 x 1.080) Tasa de refresco: 60 Hz
<b>PROCESADOR</b>	MediaTek Helio G95
<b>ALMACENAMIENTO</b>	64 GB / 128 GB UFS 2.2 + microSD
<b>BATERÍA</b>	5.000 mAh + carga rápida de 33 W
<b>SISTEMA OPERATIVO</b>	Android 11 + MIUI 12.5
<b>CONECTIVIDAD</b>	Dual SIM, 4G/LTE, WiFi 5, Bluetooth 5.0, NFC, USB-C.
<b>SENSORES</b>	Acelerómetro, giróscopo, proximidad, brújula, lector de huellas
<b>GPS</b>	GPS con soporte A-GPS, GLONASS, GALILEO, BDS

### RADIO BASE SIGFOX



RADIO CHARACTERISTICS		
	SBS-T3-868	SBS-T3-902
<b>Standard</b>	Sigfox Ultra Narrow Band Protocol for M2M and IoT	
<b>Operating frequency range</b>	865 to 870 MHz	902 to 928 MHz
<b>Receiver Sensitivity</b>	Typical -142dBm @ 100Mbps	Typical -134dBm @ 600Mbps
<b>Data Rate and Modulation</b>	100 bps D-BPSK(UL) and GFSK(DL)	600 bps D-BPSK(UL) and GFSK(DL)
<b>Transmit Power</b>	Max 30 dBm in conducted mode, SW configurable as per local regulations	
<b>Pre-amplifier/filter</b>	NF 3.5dB G>20dB/ rejection 30dB @ +/-10MHz	
<b>Antenna Conector</b>	Typo N Female	

## My Channels

New Channel

Search by tag



Name	Created	Updated
SigFox_GEO <a href="#">Private</a> <a href="#">Public</a> <a href="#">Settings</a> <a href="#">Sharing</a> <a href="#">API Keys</a> <a href="#">Data Import / Export</a>	2021-08-24	2021-09-15 15:44
SigFox_UV <a href="#">Private</a> <a href="#">Public</a> <a href="#">Settings</a> <a href="#">Sharing</a> <a href="#">API Keys</a> <a href="#">Data Import / Export</a>	2021-08-26	2021-08-26 16:58
Lora_Incendios <a href="#">Private</a> <a href="#">Public</a> <a href="#">Settings</a> <a href="#">Sharing</a> <a href="#">API Keys</a> <a href="#">Data Import / Export</a>	2021-08-26	2021-09-15 15:49

## API Requests

Write a Channel Feed

```
GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=G5IN5E3ZNE0FB5YR&field
```

## Channel Settings

Percentage complete 50%

Channel ID 1484745

Name SigFox\_GEO

Description Datos de Geolocalizacion HSTR

Field 1 Latitud

Field 2 Longitud

Field 3 rssi

Field 4 ID

Field 5

Field 6



# Diseño e Implementación

Callbacks

Type

Channel

Custom payload config  ?

URL syntax: [http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...](#)  
Available variables: device, time, data, seqNumber, deviceTypeId  
Custom variables: customData#lat, customData#lng

Url pattern  ?

Use HTTP Method

Send SNI  (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

headers	header	value
---------	--------	-------

Callback - OK ✕

Decodificación

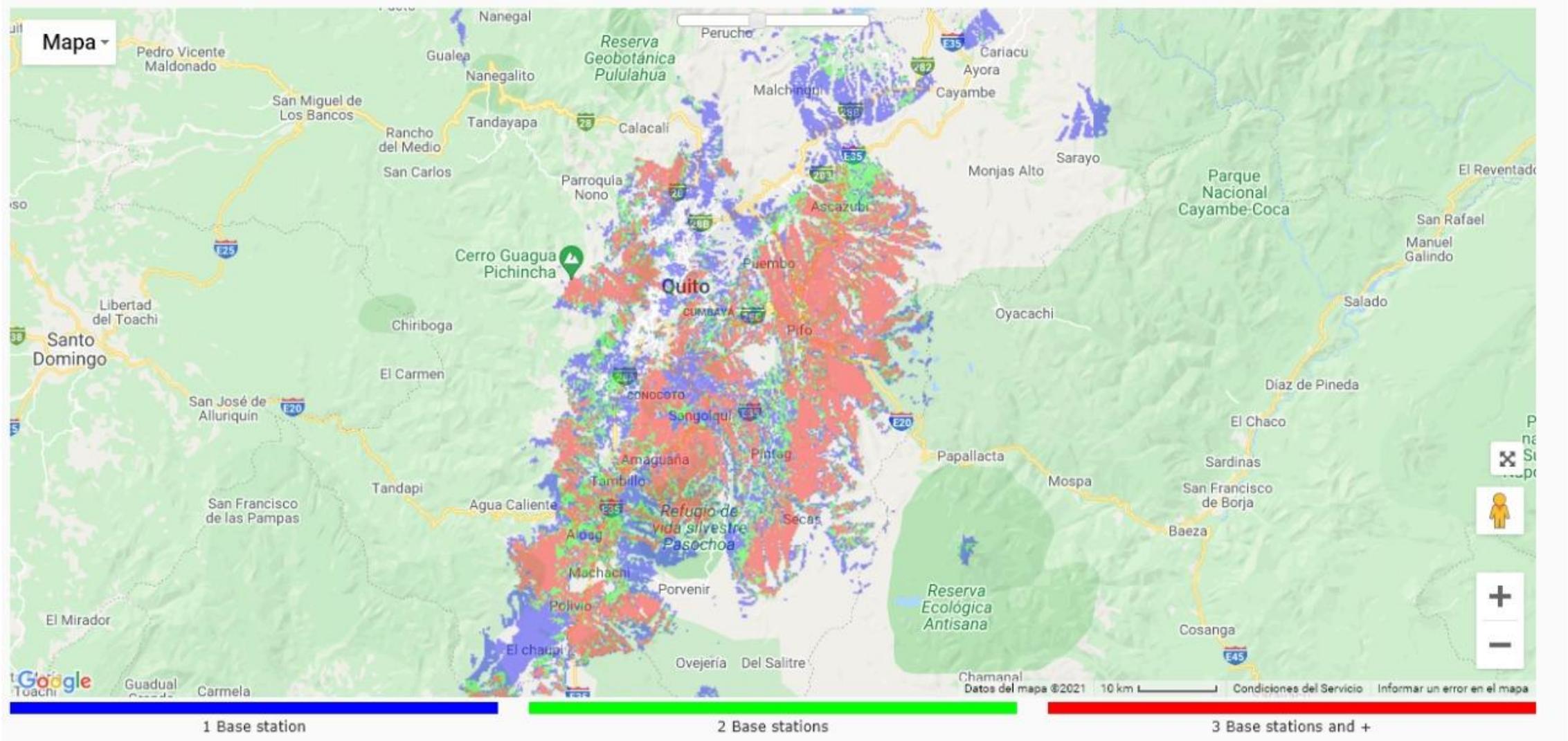
Conexión con thingspeak

[OK] - Base station 8D03 - 2 seconds

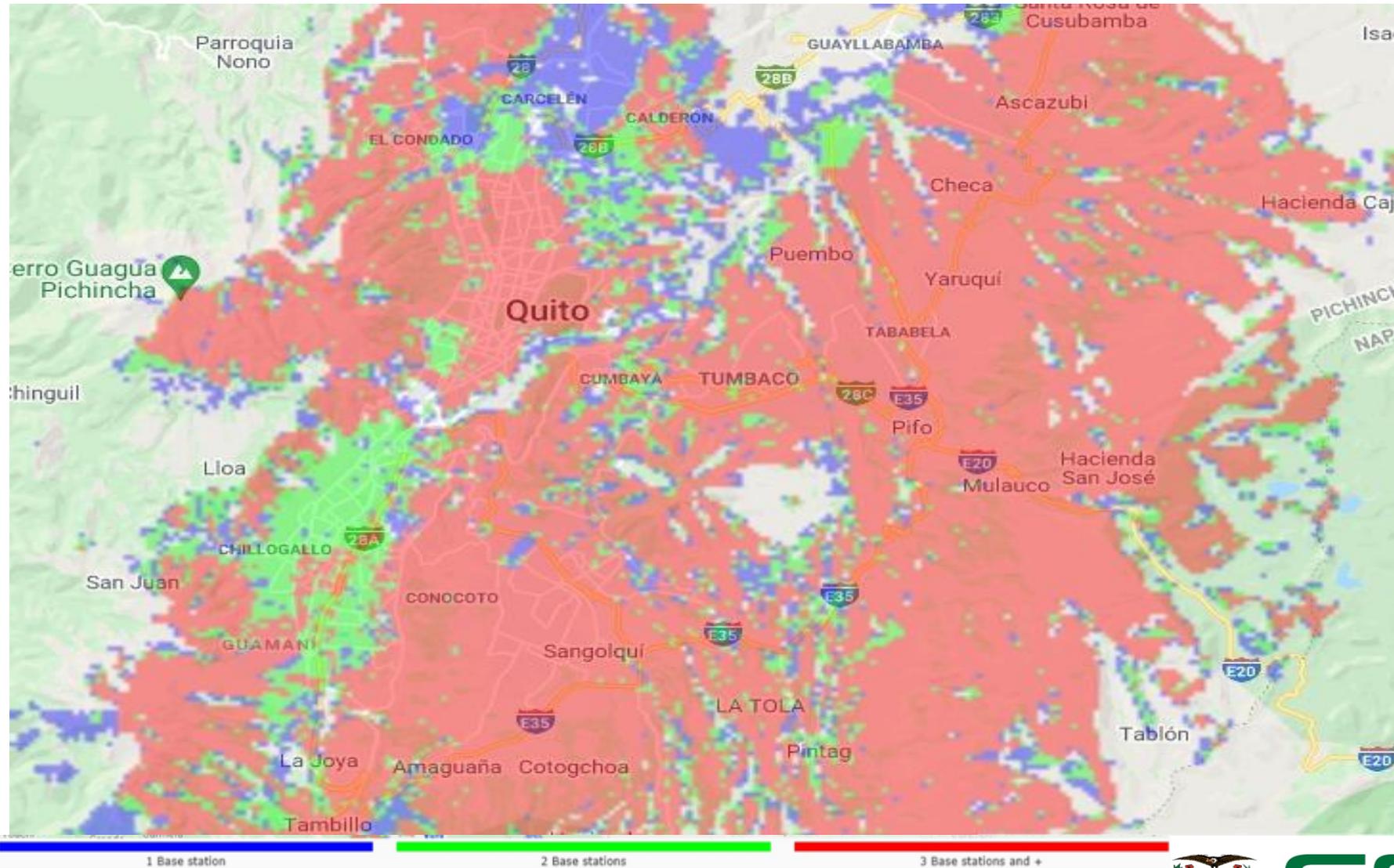
200 - - #1

```
GET https://api.thingspeak.com/update?
api_key=G5IN5E3ZNEFB5YR&field1=-0.24894498&field2=-78.529594&field3=-115.00&field4=5ed2a281e833d907a4c270a9
HTTP/1.1
accept-encoding: gzip,deflate
host: api.thingspeak.com
accept-language: fr
accept-charset: UTF-8;q=0.9,*;q=0.7
user-agent: SIGFOX
```

# Diseño e Implementación

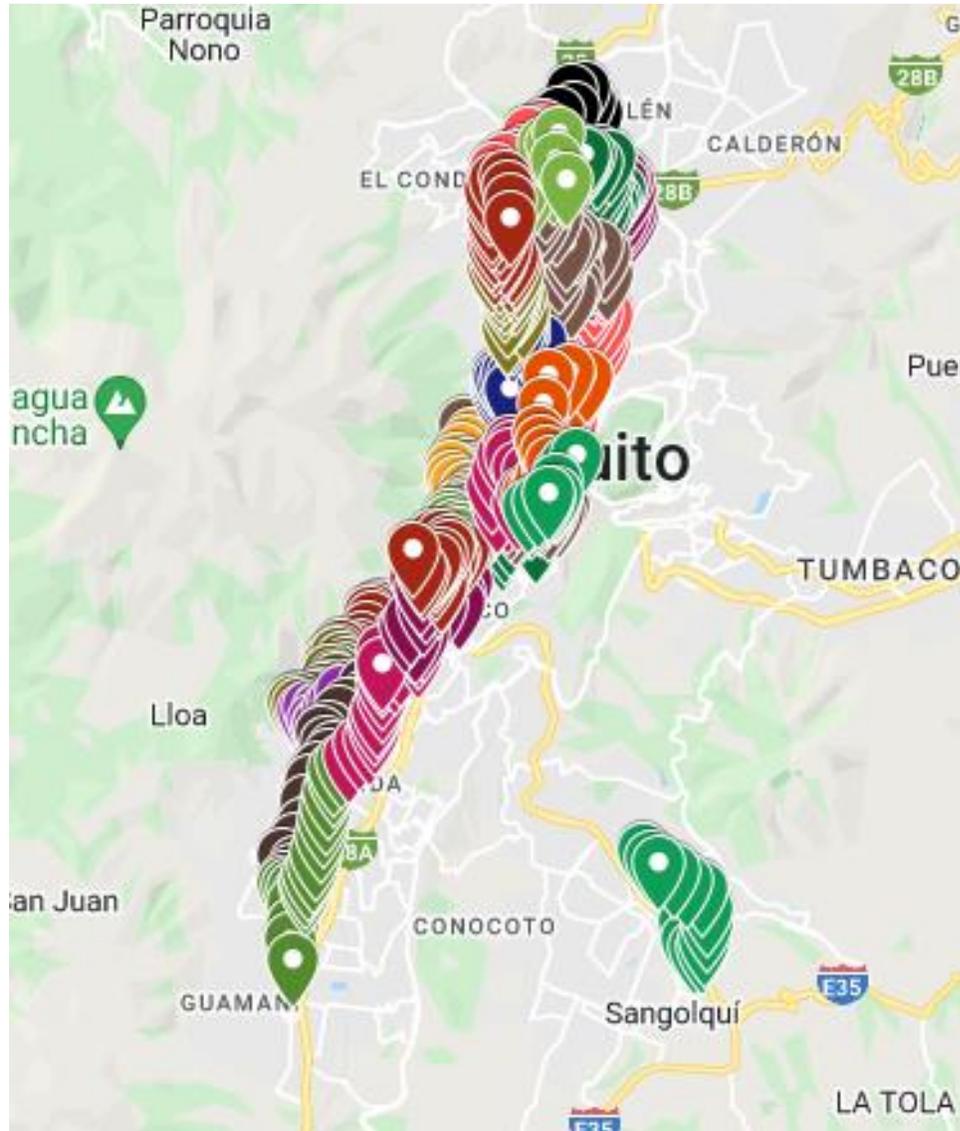


# Diseño e Implementación



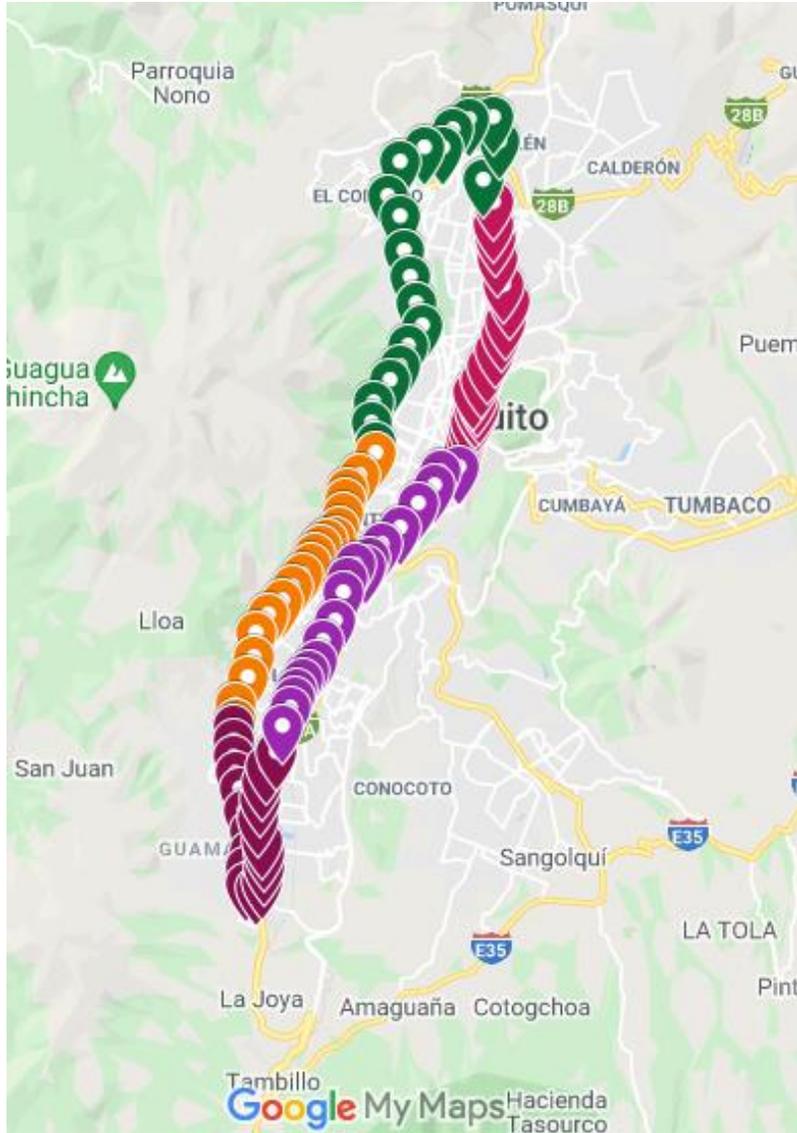
# Diseño e Implementación

## Metodología



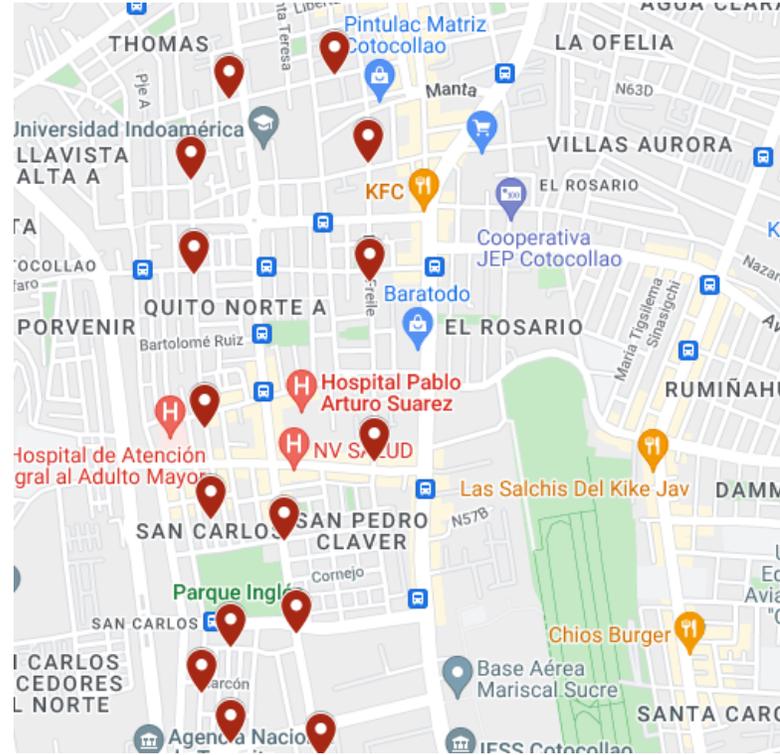
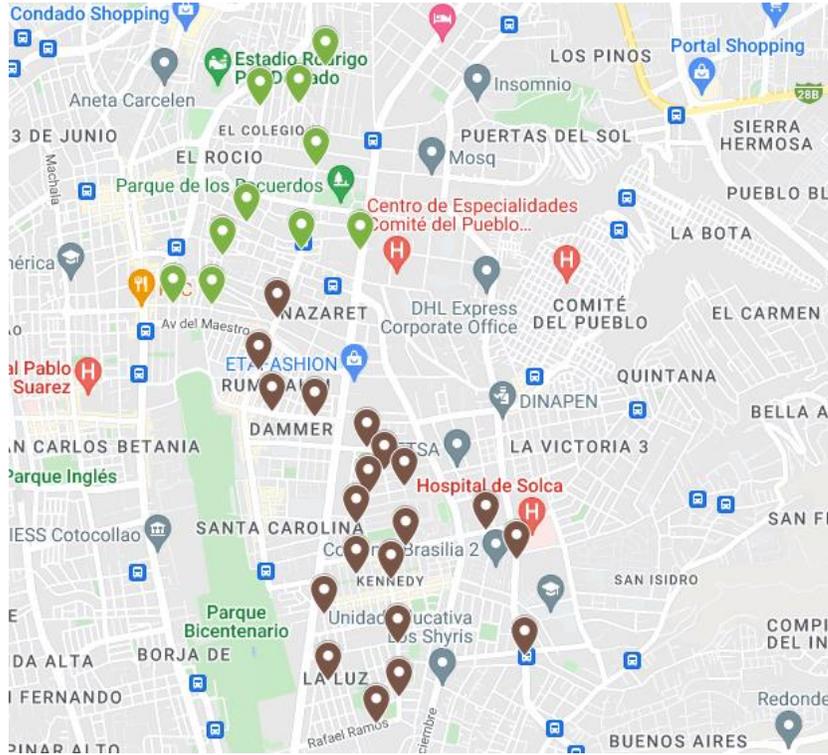
- Resolución entre paradas de 200 m.
- Radio 80m.
- Diseño de paradas por sectores y por programación.
- Paradas fijas de conexión.
- Alcance principal Quito.

# Diseño e Implementación

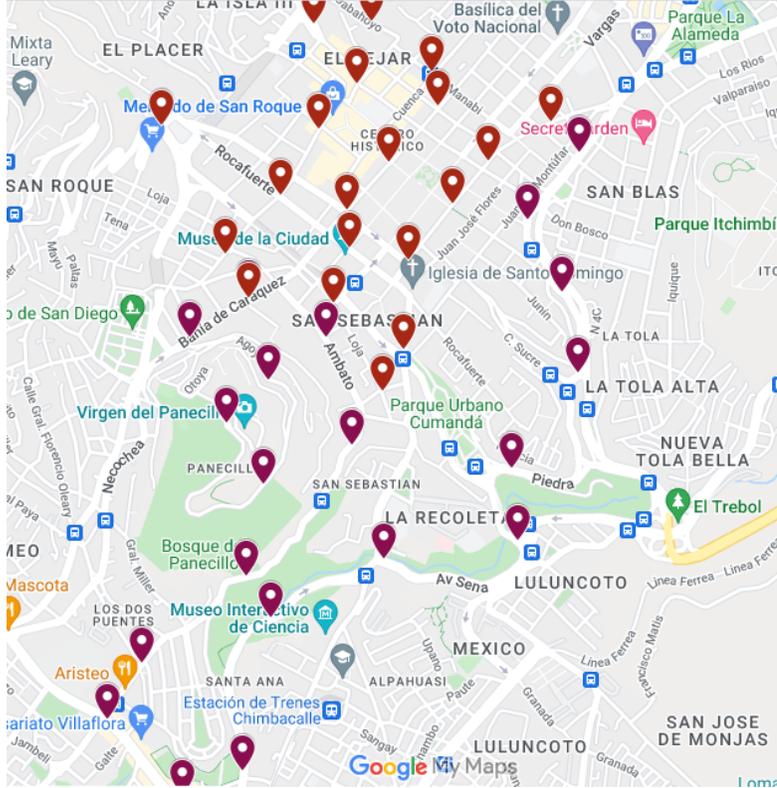




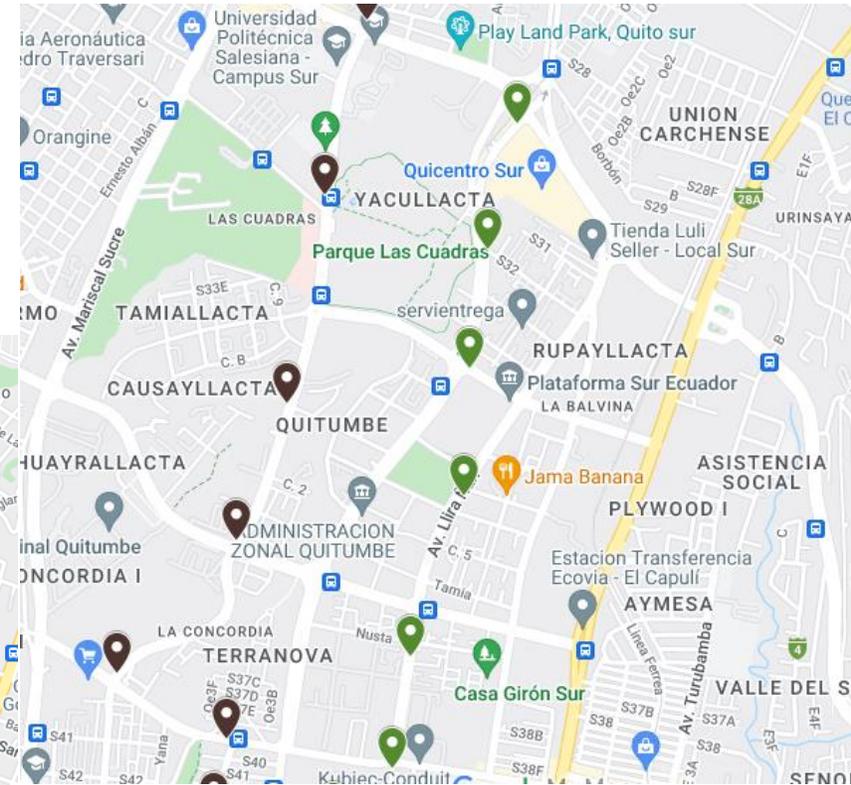
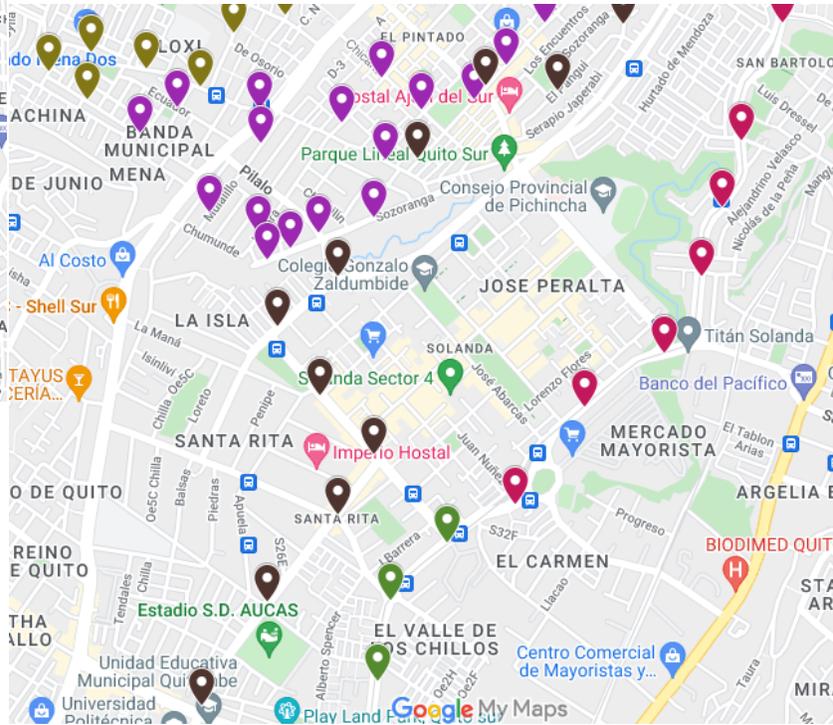
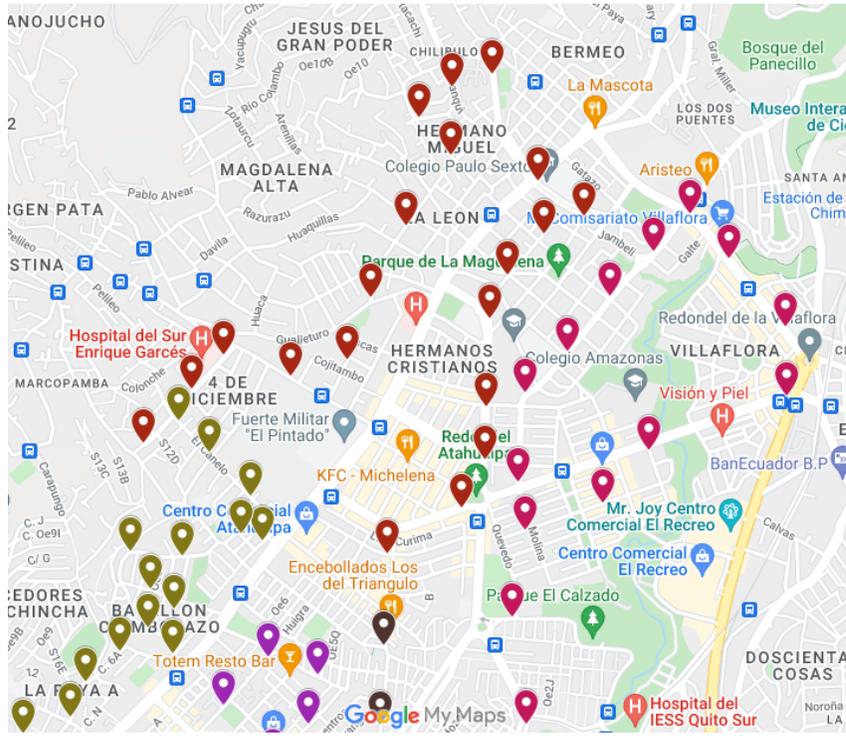
# Diseño e Implementación



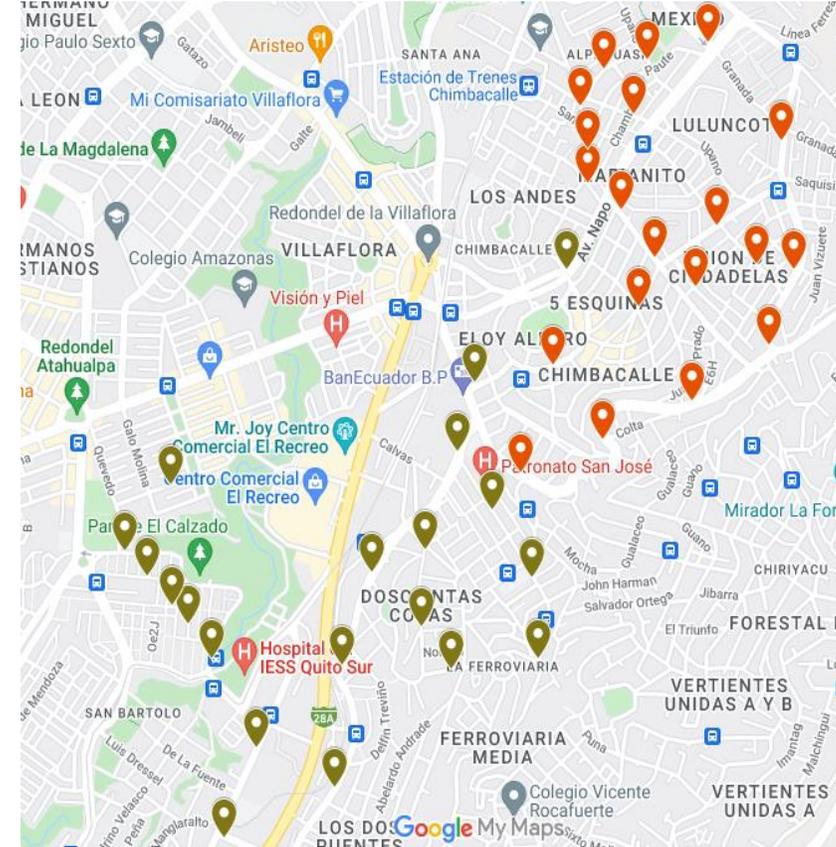
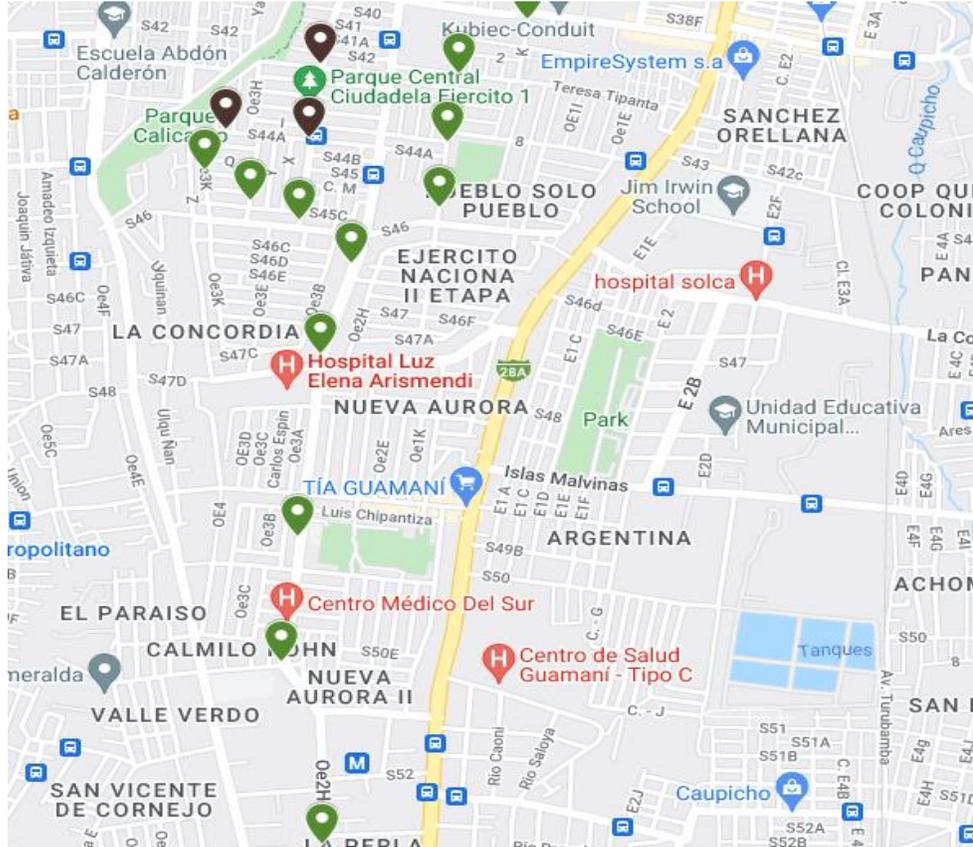
# Diseño e Implementación



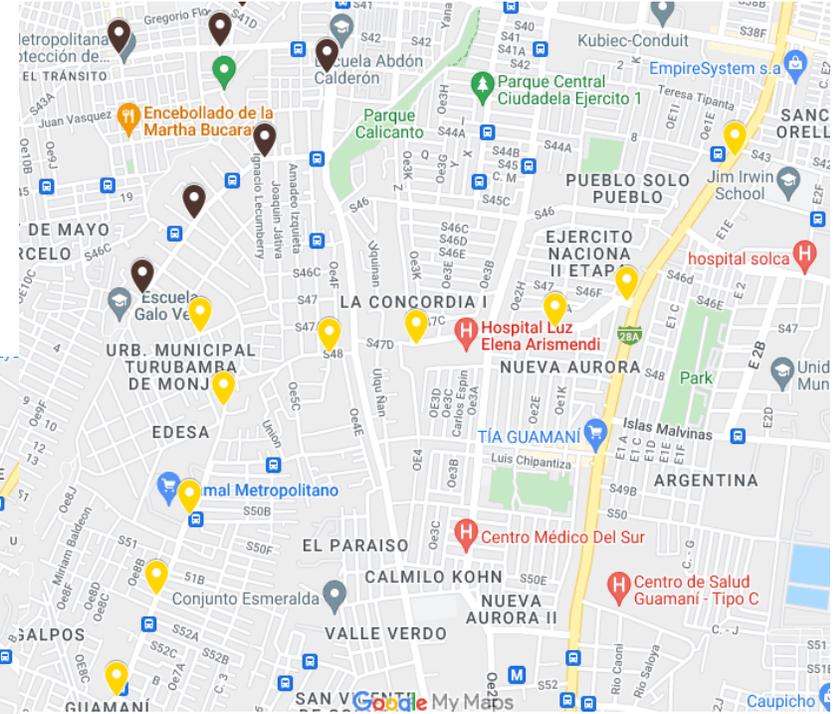
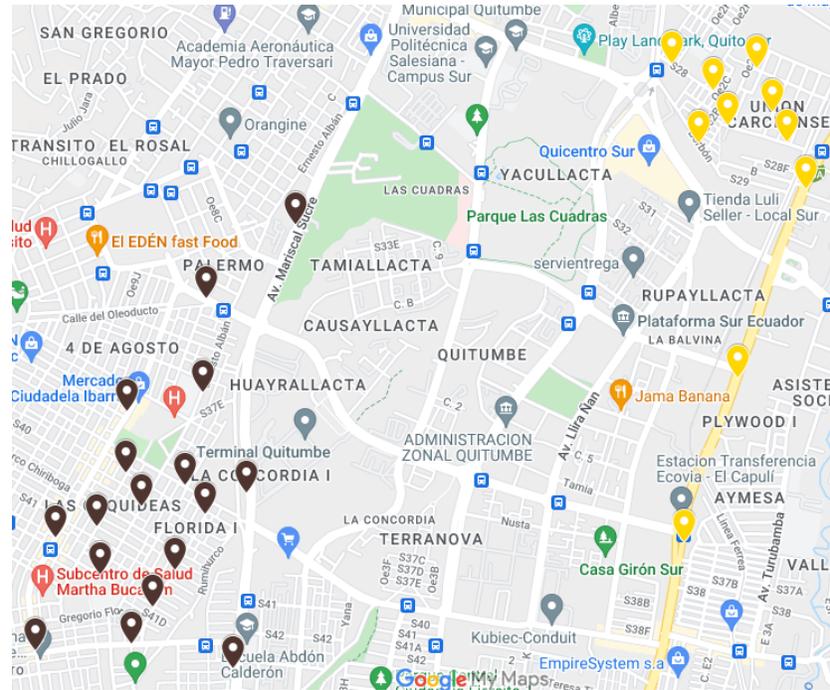
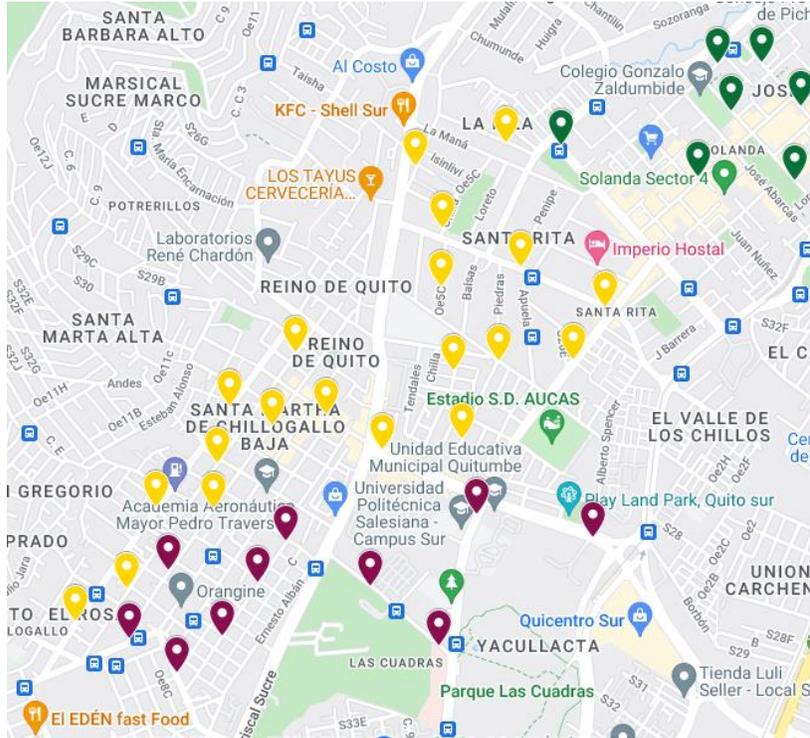
# Diseño e Implementación



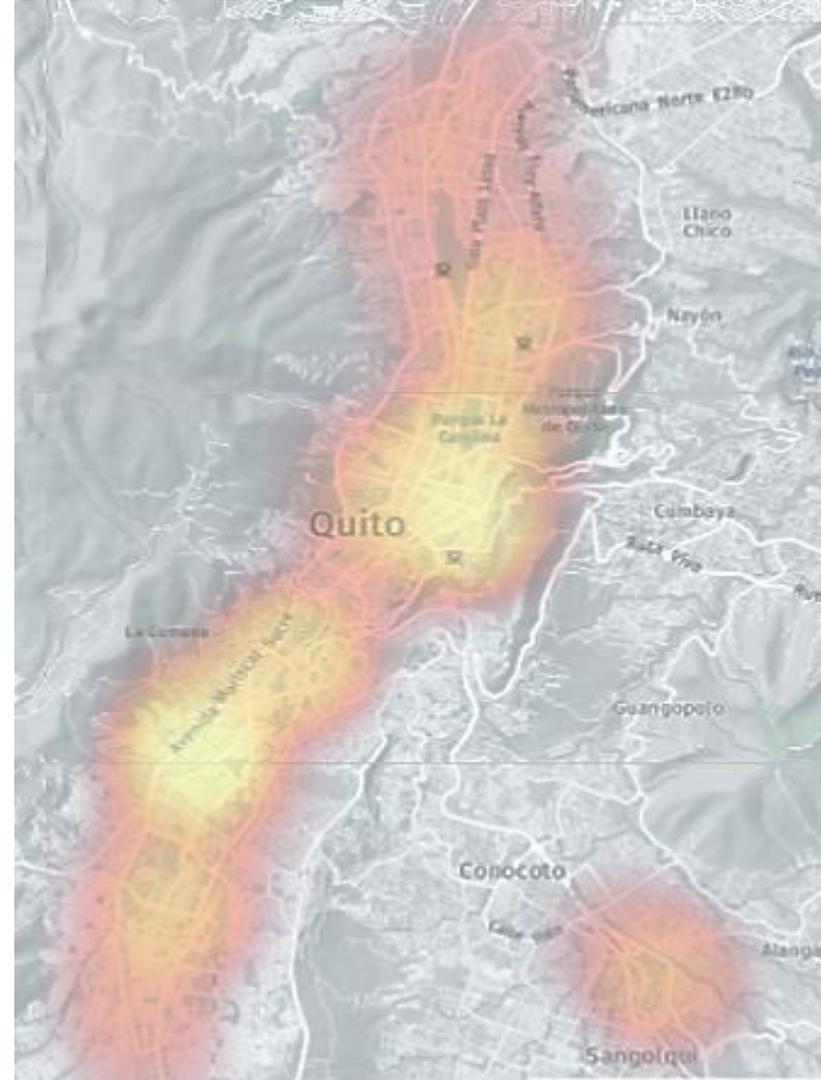
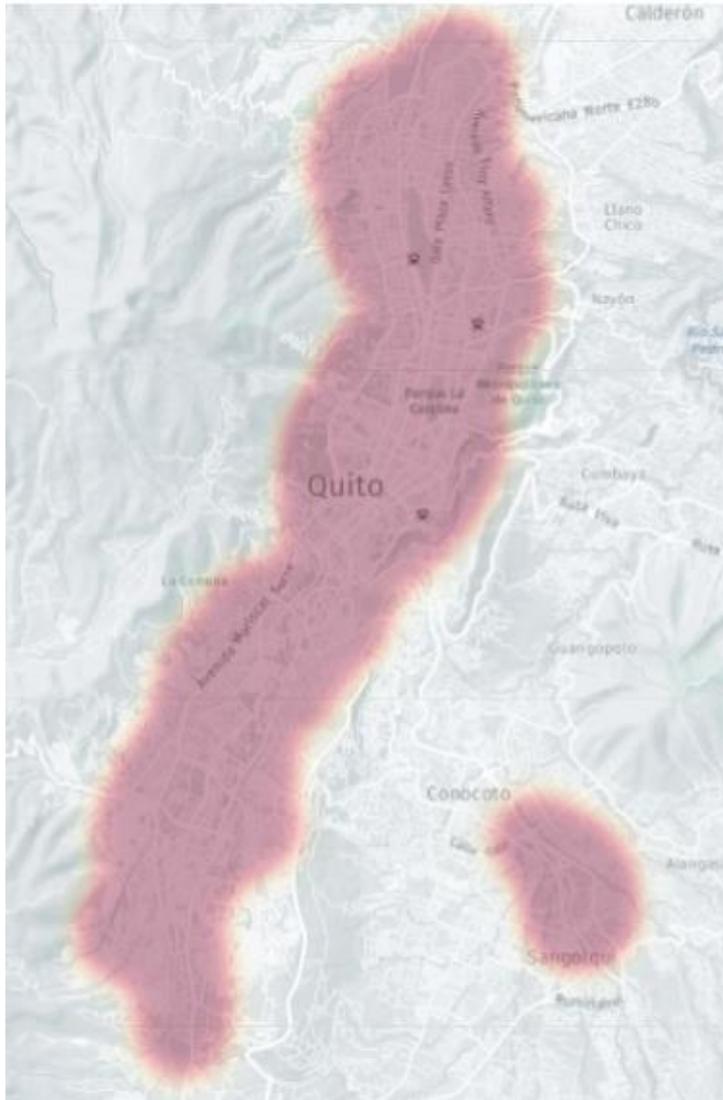
# Diseño e Implementación



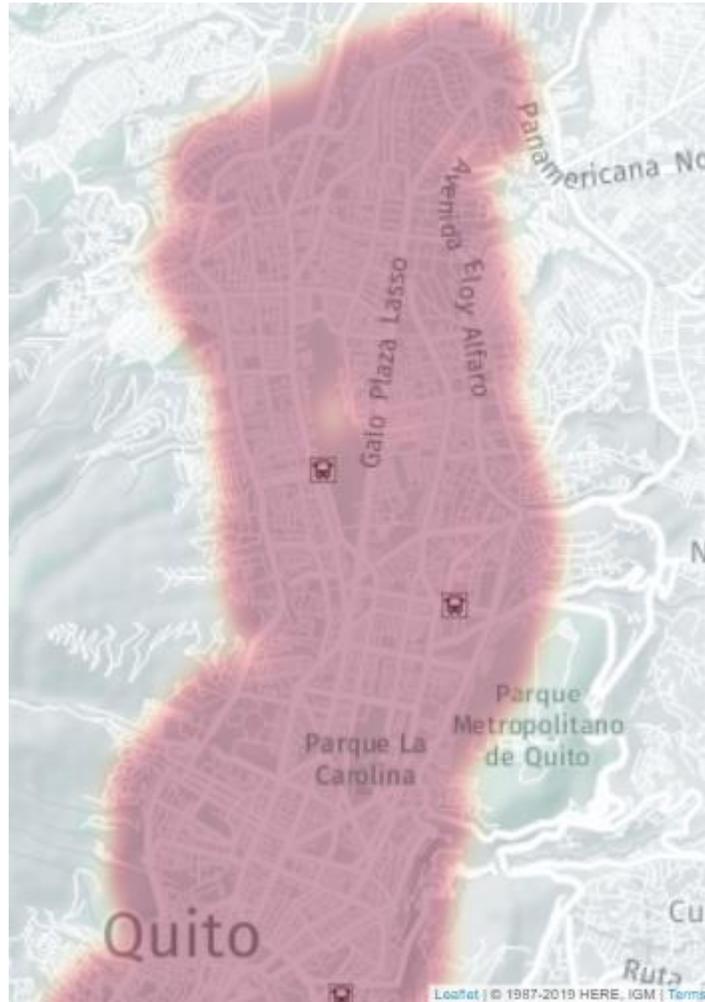
# Diseño e Implementación



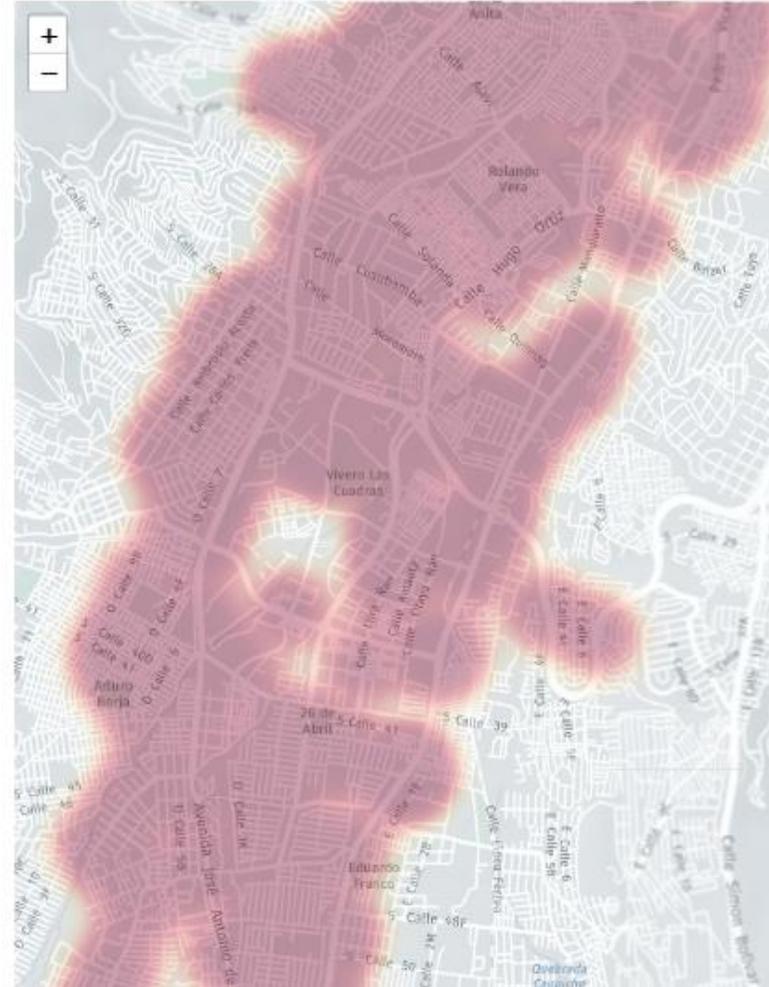
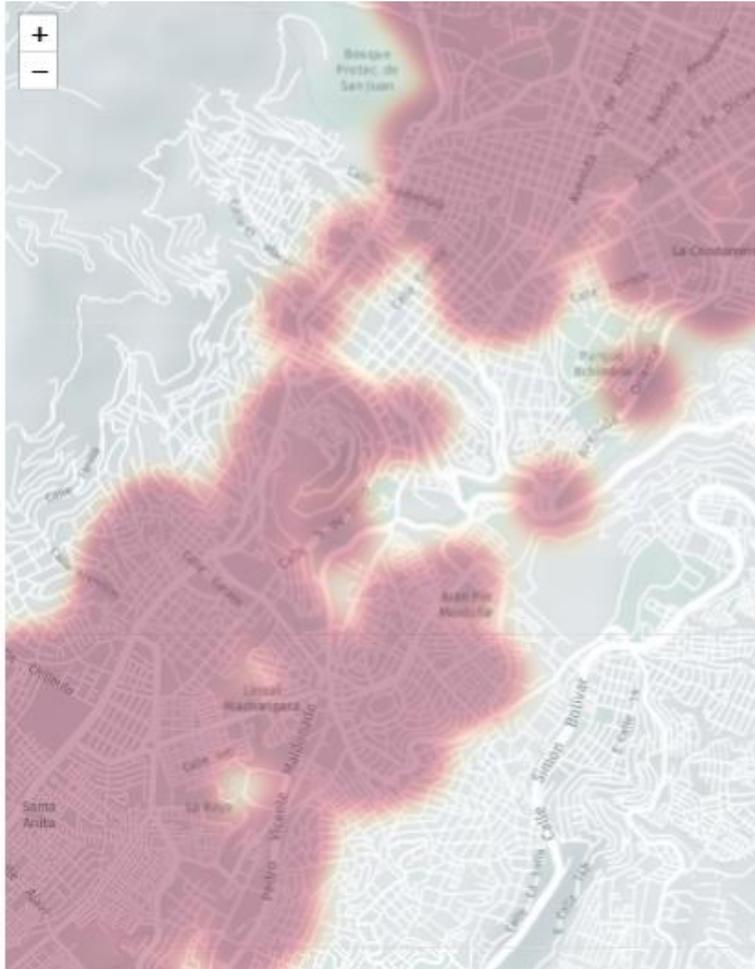
# Pruebas y Resultados

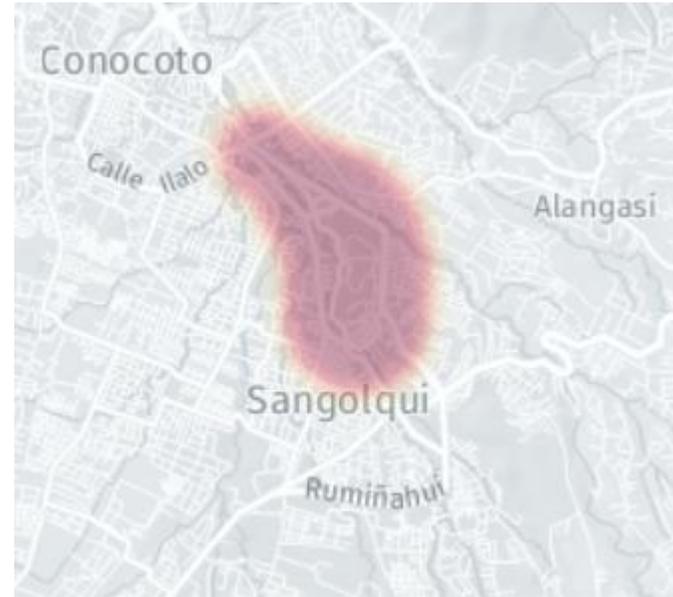
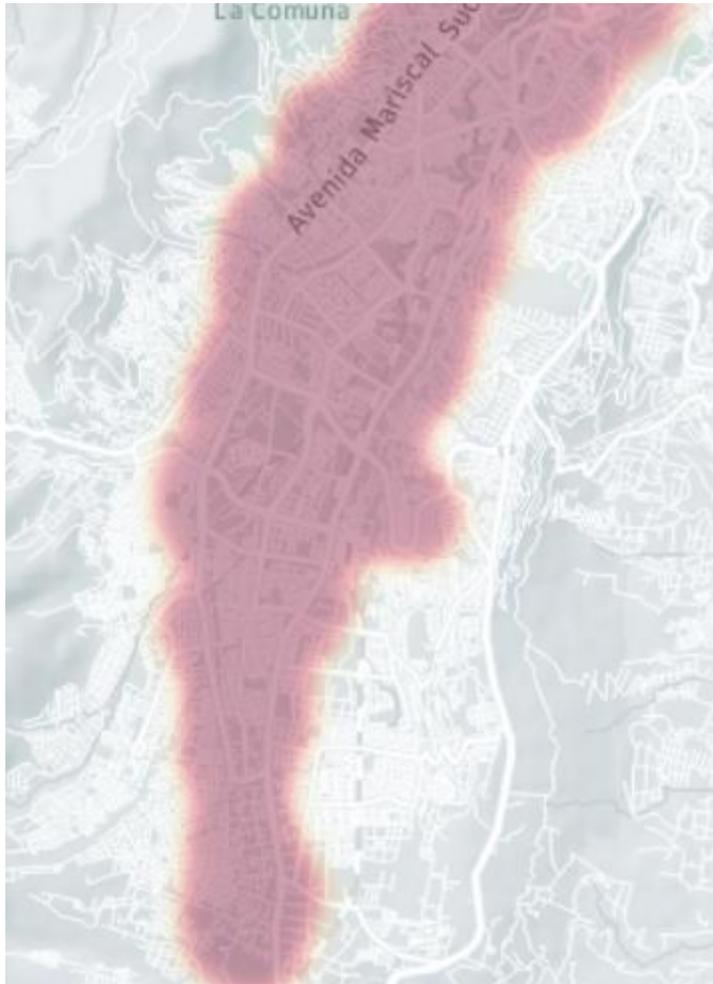


# Pruebas y Resultados



# Pruebas y Resultados





# Pruebas y Resultados

RSSI	Number of base stations	Link Quality indicator
-114dBm < RSSI	3	EXCELLENT
-127dBm < RSSI ≤ -114dBm	3	GOOD
-114dBm < RSSI	1 or 2	GOOD
-127dBm < RSSI ≤ -114dBm	1 or 2	AVERAGE
RSSI ≤ -127dBm	any	LIMIT

2021-11-10 18:50:24	1	2787	04df97befd1a9dc2	8D03	-108.00	920.8049		
2021-11-10 18:49:59	1.4	2786	c0d497befa1a9dc2	8D03	-105.00	920.8574		
2021-11-10 18:43:27	2.5	2785	02bc95be2a1a9dc2	8D03	-99.00	920.7539		
2021-11-10 18:43:03	2.7	2784	23a195be231a9dc2	8D03	-102.00	920.7372		
2021-11-10 18:42:37	1.8	2783	e55495be0c1a9dc2	8D03	-102.00	920.8170		

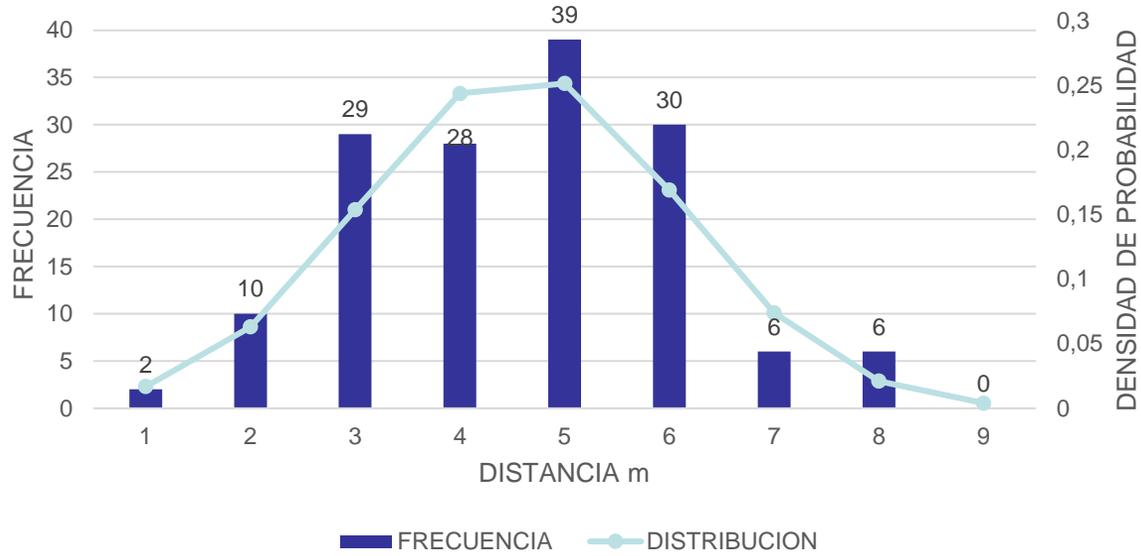
2021-10-27 20:27:22	2.1	2065	020105bed6f39cc2	913E	-117.00	920.8371		
2021-10-27 20:25:05	1.8	2063	7ee30bbe6bf29cc2	8F40	-108.00	920.7626		
2021-10-27 20:24:38	2.1	2062	7ee30bbe6bf29cc2	8F40	-116.00	920.7406		
				913E	-104.00	920.7406		
				8D03	-122.00	920.7413		
2021-10-27 20:24:12	2	2061	7ee30bbe6bf29cc2	913E	-101.00	920.7591		
				8D03	-124.00	920.8276		
				8F40	-118.00	920.7591		

# Pruebas y Resultados

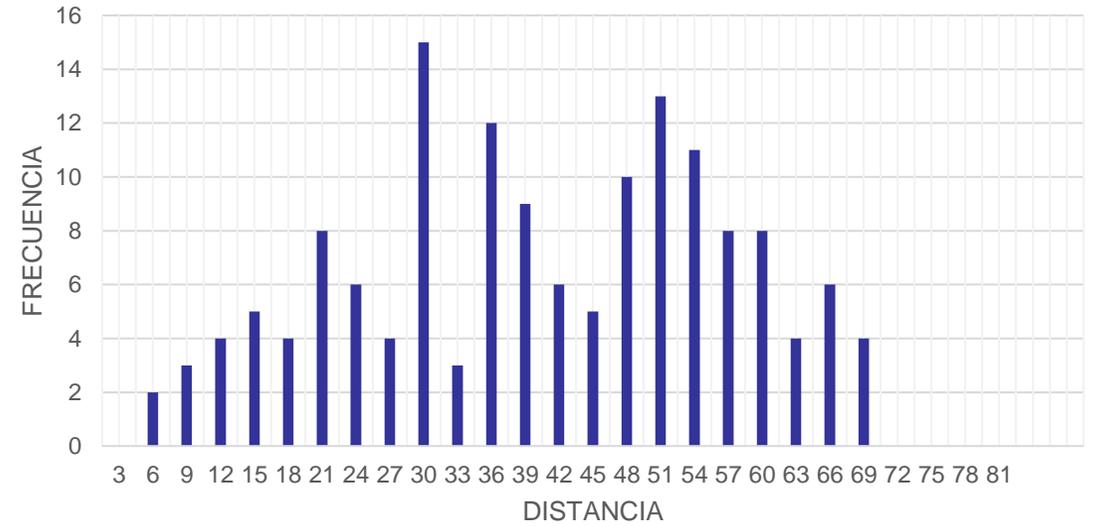
2021-11-10 18:50:00	320	728597bec61a9dc2			
2021-11-10 18:43:33	319	0bba95be2b1a9dc2			
2021-11-10 18:43:07	318	90a895be271a9dc2			
2021-11-10 18:41:24	316	b1dc92be9d199dc2			
2021-11-10 18:35:40	307	a0d88dbec2179dc2			

Latitud	Longitud	LQI	RSSI	Referencia
-0.09403	-78.47534	Limit	-130.00dBm	Supermaxi Carcelén (N)
-0.19311	-78.47718	Limit	-131.00dBm	Banco Pichincha Gonzales Suarez (NE)
-0.13719	-78.5015	Limit	-131.00dBm	Agencia Metropolitana de Transito (NO)
-0.25942	-78.5538	Average	-116dBm	Mercado Mena dos (SO)
-0.24485	-78.50732	Limit	-128.00dBm	Centro Médico PIO XII (SE)
-0.32902	-78.5533	Limit	-131.00dBm	Guamaní Alto (S)

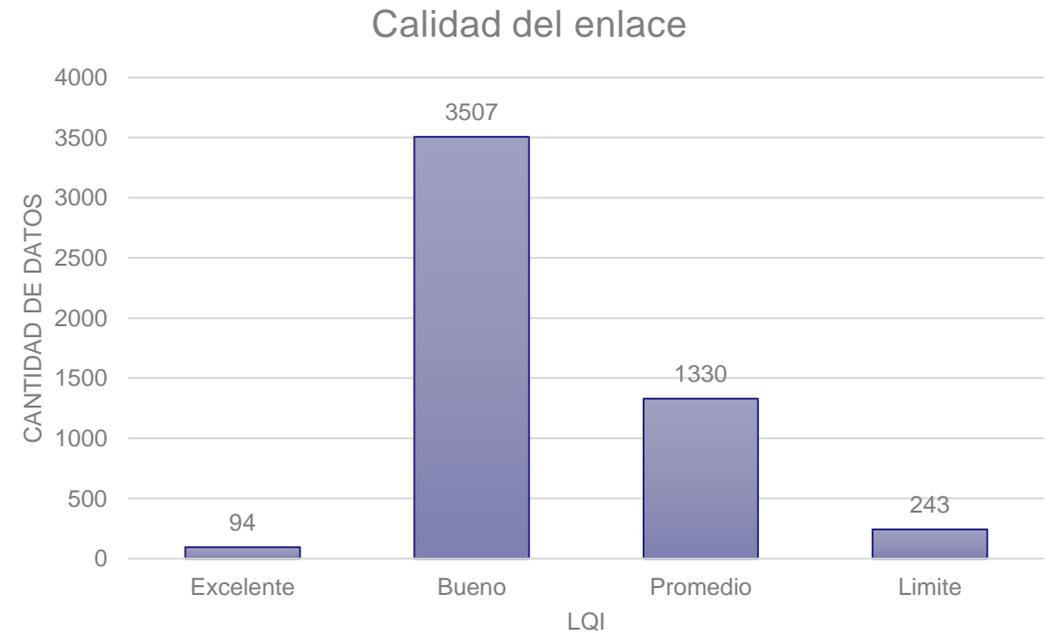
PROTOTIPO GEOPOSICIONAMIENTO Y GPS XIAOMI



DISTANCIA PROTOTIPO DE GEOPOSICIONAMIENTO Y PARADA



RSSI	Number of base stations	Link Quality indicator
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	3	EXCELLENT
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	3	GOOD
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	1 or 2	GOOD
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	1 or 2	AVERAGE
$\text{RSSI} \leq -127\text{dBm}$	any	LIMIT



# Pruebas y Resultados

Entries: 5174



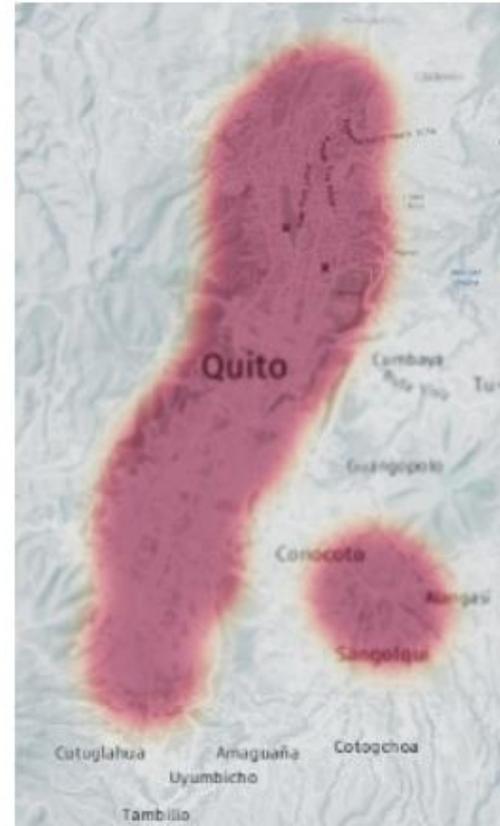


## Mapa de Cobertura de Sigfox

El Site Survey de la Red LPWAN Sigfox se lo realizó en zonas estratégicas del cantón Quito donde se puedan realizar aplicaciones de IoT, de esta forma se puede asegurar la calidad de servicio de la red y no generar inconvenientes a los usuarios.



## MAPA DE COBERTURA GENERAL DE LA RED LPWAN SIGFOX EN EL CANTON QUITO



Descripción



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



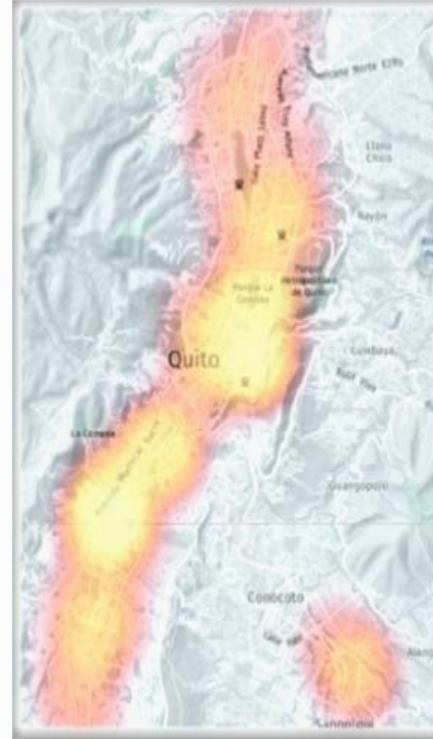
## Mapa de Cobertura parte Norte.

La parte Norte presenta buena cobertura de la señal, subriendo dos parques importantes como lo son El Bicentenario y La Carolina.



## Mapa de calor.

El mapa de calor nos permite observar la intensidad de la señal de la red Sigfox que existe en el cantón Quito para realizar aplicaciones de IoT en sectores donde exista mejor cobertura.



## Desarrollo del Site Survey mediante el dispositivo de geoposicionamiento.

Vídeo explicativo de la implementación.



# Conclusiones

- Los prototipos utilizados en el proyecto de investigación fueron desarrollados previamente por miembros de nuestro Centro de Investigación de Redes Ad Hoc (CIRAD) y Grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes (WiCOM-Energy) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, estos dispositivos nos permitieron realizar las mediciones de los niveles de RSSI, esta información es contenida en los mensajes que son enviados por estos dispositivos, los cuales se monitorizaron mediante el Backend de Sigfox, ya que ahí llega la información de los mensajes.
- El prototipo de geoposicionamiento permitió realizar distintas mediciones en las paradas generadas en el cantón Quito donde se tiene cobertura de la tecnología según indica el mapa general de cobertura que se encuentra en la página web de Sigfox, cada medición realizada presenta un valor de RSSI a parte de los datos enviados por el dispositivo que son latitud y longitud, esto fue posible porque el contrato del prototipo tenía este parámetro habilitado, de esta manera se midieron los valores de RSSI en cada mensaje y con esos valores se realizó el mapa de cobertura de la Red Sigfox.



# Conclusiones

- El prototipo conectado a la red Sigfox nos proporciona el valor del RSSI, coordenadas de latitud y longitud por cada parada, de esta forma se creó un *Callback* para enviar esta información específica hasta la API de almacenamiento de datos *ThingSpeak* donde se analizaron y utilizaron los datos para cumplir el objetivo del proyecto de investigación, mediante la conexión entre *ThingSpeak* y la base de datos Mongo dB se obtuvo un mapa de intensidad de la señal y un mapa de cobertura a partir de los niveles de RSSI obtenidos en cada medición.
- Se generó una base de datos mediante los dos prototipos de geoposicionamiento que presenta un total de 5174 mediciones de los cuales 3568 mensajes pertenecen al prototipo que tiene el contrato con el parámetro habilitado del RSSI y el total de la base de datos consta con el parámetro LQI enviado por ambos prototipos de geoposicionamiento.



# Conclusiones

- El prototipo de geoposicionamiento con respecto al GPS incorporado en el celular Xiaomi tiene un rango de error de 3 m a 6 m, por lo que el prototipo no es un equipo de alta precisión, ya que depende de la conexión que tiene entre la estación base de Sigfox y si hay o no cobertura en ese lugar, a su vez el prototipo con respecto al radio establecido en la parada necesita de 11 m para estabilizarse y poder comunicarse con las estaciones base de Sigfox, por lo que se identificó que la precisión del equipo es de  $\pm 5m$
- En los cantones Mejía sector Machachi y en el cantón de Latacunga sector San Buenaventura no es posible conectarse hacia la red Sigfox a pesar de que el mapa general de cobertura proporcionado por Sigfox nos indica la existencia de cobertura en esos lugares, por lo cual se logra afirmar que ese mapa es de poca confiabilidad.



# Conclusiones

- Para una correcta visualización de los resultados se desarrolló una página web donde cualquier usuario o empresa pueda acceder a los resultados obtenidos en este proyecto de investigación de forma gráfica y conozca como se realizó la implementación hacia esta tecnología Sigfox mediante un video en donde se detalla información importante sobre el desarrollo del *Site Survey*.
- El *Site Survey* desarrollado en este proyecto de investigación permite al usuario conocer los lugares que presentan cobertura de la red Sigfox en el cantón Quito, esta red presenta un 67.74% de calidad de enlace buena de esta forma un usuario o empresa puede desarrollar cualquier tipo de aplicación de IoT sin preocuparse de pérdida de datos, fallas de conexión, interferencias. El mapa de cobertura de la red Sigfox que se generó en este proyecto de investigación tiene una gran confiabilidad ya que las mediciones se realizaron en distintos escenarios y con un tiempo dedicado de 5 meses.



- Se recomienda utilizar dispositivos más actuales para no tener problemas en la cantidad de líneas de código que soporta el dispositivo de Sigfox ya que los dispositivos que se trabajaron en este proyecto de investigación solo tienen 17kB de memoria RAM
- Para el correcto funcionamiento es necesario tener esta versión específica de los siguientes programas Node.js 14.17.6, Python 2.7.18, Visual Studio Code 1.58.2, Pymaker 1.1.12 y siempre actualizar el firmware del dispositivo desde el computador.
- Se recomienda que el contrato de los dispositivos de esta tecnología Sigfox tengan todos los parámetros necesarios para poder implementar la aplicación IoT en base al objetivo del proyecto.

# Recomendaciones y Trabajos Futuros

- Ampliar la base de datos colocando paradas en los puntos medios de la base de datos original y de igual forma generar una nueva base de datos para el cantón Rumiñahui.
- Desarrollo de un *Site Survey* de alta resolución mediante técnicas de *Deep Learning* en el cual se pueda reducir la resolución de 200m a 10m entre paradas mediante distintos métodos y técnicas para poder calcular o predecir la ubicación exacta en donde se encuentra la estación base de la red en el cantón Quito.
- Desarrollo de un modelo de propagación de la red LPWAN Sigfox en la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE ya que se sabe la ubicación exacta, de esta se puede tomar datos con línea de vista y sin línea de vista.



- Estudiar la degradación de la señal de la red LPWAN Sigfox en zonas urbanas con vegetación y sin vegetación.
- Desarrollo de un *Site Survey* mediante prototipos de geoposicionamiento con tecnologías LoRa y NB-IoT para realizar una comparación de las tecnologías LPWAN y presentar cual tecnología es la mas óptima para el desarrollo de aplicaciones IoT en el cantón Quito.





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - “ESPE”

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA :“DESARROLLO DE UN SITE SURVEY DE LA RED LPWAN SIGFOX MEDIANTE UN PROTOTIPO DE GEOPOSICIONAMIENTO EN EL CANTÓN QUITO.”**

**AUTORES: Chasi Laica, Jonathan Alexander y Gutiérrez Pallo, José Antonio**

**Director del Proyecto: Ing. Román Lara. PhD.**

**Docente Evaluador: Ing. Alejandro Castro. PhD.**

**Director de Carrera: Ing. Carlos Daniel Altamirano. PhD.**

**Secretaria Académica: Abg. María Fernanda Jaramillo.**

VERSIÓN: 1.1

