

# Mapecto de colores de las rutas de Google Maps con el simulador SUMO

## *Google Maps route color mapping with SUMO simulator*

Ricardo Mena, Felipe Zumárraga, Luis Urquiza y Xavier Calderón

Departamento de Electrónica y Redes de Información Escuela  
Politécnica Nacional  
Quito 170517, Ecuador  
ricardo-navi@hotmail.com {luis.zumarraga; luis.urquiza;  
xavier.calderon}@epn.edu.ec

**Resumen** — El presente artículo detalla las pruebas realizadas en el Simulador Urbano de Movilidad (SUMO), para obtener los rangos de velocidad del tránsito vehicular a los que corresponden los colores presentados en las vías de Google Maps. Para las simulaciones se seleccionaron las tres principales vías de acceso del Distrito Metropolitano de Quito como escenarios de pruebas. Cada escenario se simuló con tres diferentes rangos de horas, lo que significa que se utilizó las estadísticas de tránsito en estos horarios como parámetros de entrada para la densidad vehicular. El objetivo de este mapeo es obtener valores más precisos de la asignación de velocidad por los colores que representan el tráfico vehicular que se visualiza en Google Maps. De forma que eventualmente se analice la posibilidad de asignar un número de vehículos a partir del color de las vías y así se puedan utilizar como variables de entradas en otros escenarios de simulación en SUMO.

**Palabras Clave** - *Mapeo de colores, Simulador SUMO, Google Maps, tráfico vehicular.*

**Abstract** — This article details the tests carried out in the Urban Mobility Simulator (SUMO), to obtain the vehicle traffic speed ranges to which the colors presented on Google Maps roads correspond. For the simulations are selected the three main access roads of the Metropolitan District of Quito as test areas. Each scenario was simulated with three different ranges of hours, which means that traffic statistics are found in these schedules as input parameters for vehicle density. The purpose of this mapping is to obtain more precise values of the speed assignment by the colors that represent the vehicular traffic that is displayed on Google Maps. So that eventually the possibility of assigning a number of vehicles based on the color of the roads is analyzed and so they can be used as input variables in other simulation scenarios in SUMO.

**Keywords** - *Color mapping, SUMO Simulator, Google Maps, vehicular traffic.*

### I. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones de las grandes ciudades hoy en día es el crecimiento exponencial de la población en sectores urbanos y su implicación que ello conlleva en el

tráfico vehicular. Las estadísticas realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC) muestran que las ciudades como Quito, Guayaquil y Cuenca son las más afectadas, con los mayores porcentajes del total de automóviles en el país [1].

Partiendo de una muestra de 2'267.344 vehículos matriculados en el Ecuador durante el 2017, en Guayaquil se registró el 21,49%, de igual manera en Cuenca se matricularon el 6,34% y en Quito el 22,87% [1]. El alto porcentaje que posee la ciudad de Quito hace más evidente la necesidad de generar soluciones al problema de tráfico que la ciudad experimenta, donde una de las opciones inmediatas que se puede utilizar son las herramientas tecnológicas.

Muchas son las aplicaciones que ayudan a las personas a obtener información sobre el tráfico, el transporte y las rutas que pueden tomar para llegar a su destino, como lo son Waze y Google Maps [2]. En este contexto, se utilizó los datos del servidor de aplicaciones de mapas Google Maps, como hipótesis para realizar el mapeo de la asignación de rangos de velocidad en un simulador de vehículos.

El Simulador Urbano de Movilidad (SUMO) es un software que permite simular tráfico vehicular, de código abierto que incluyen herramientas para la caracterización de vehículos, así como la manipulación de sus atributos. Además se puede configurar la ruta que siguen, la velocidad a la que se mueven, los tiempos de semaforización, la asignación de carriles exclusivos, entre otros [3]. Por esta razón SUMO está siendo muy utilizado para diferentes aplicaciones que permiten observar y más importante predecir el comportamiento del tráfico vehicular y desarrollar nuevas estrategias para la gestión de este tráfico [4].

En este artículo se presentan las pruebas realizadas del mapeo de colores sobre las vías de Google Maps, usando SUMO para determinar el rango de velocidad al que corresponde cada uno de estos colores. Esto con el objetivo de que en trabajos futuros se pueda asignar un valor numérico a la cantidad de vehículos que se deberían insertar en el simulador SUMO por color especificado en el servidor de Google Maps.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Configuración de SUMO

Existen diferentes maneras de llevar a cabo la simulación del tráfico vehicular. En [5] y [6] se encuentra la información necesaria para la generación de los mapas, las rutas y todos los archivos necesarios para ser ejecutados en SUMO. Donde de manera resumida y secuencial el proceso consiste en los siguientes pasos:

- *Descarga del mapa georreferenciado*, se puede realizar visualmente desde la página web del servidor de mapas OpenStreetMap o mediante comandos de consola con las coordenadas de los límites del mapa.
- *Optimización y unión de los mapas*, en caso de que el escenario de simulación sea muy grande se deberá descargar por partes. Una vez se establezcan todos los archivos se utiliza la herramienta JOSM (Java OpenStreetMap) para disminuir la cantidad de información presente en el mapa, de manera que, al momento de simular se utilice la menor cantidad posible de recursos computacionales.
- *Caracterización de los mapas*, es convertir el formato del mapa a uno legible por SUMO, corregir errores y detalles que se puedan presentar en el mapa.
- *Caracterización de los vehículos*, se define el tipo de vehículo, el factor por límite de velocidad, el color del vehículo, dimensiones, etc.
- *Generación de rutas*, se puede realizar manualmente o mediante alguna de las herramientas especializadas para la creación de rutas.
- *Validación de las rutas*, se verifica que los vehículos sigan las rutas establecidas.
- *Generación del archivo de configuración*, antes de ejecutar la simulación se define un archivo de configuración global, donde se indican los diferentes ficheros que se van a utilizar en la simulación como el número y tipo de vehículos, las rutas, el modelo de tráfico vehicular y los diferentes parámetros de entrada. También se describen los nombres y los tipos de reportes que se requieren generar, así como la duración de la simulación.

#### 1. Configuración de los sensores

Se configura los sensores para obtener el promedio de velocidad en uno o varios puntos en específico y para esto es necesaria la creación de un archivo adicional que para las pruebas se llamó “sensores.xml” y que luego fue referenciado en el archivo de configuración general [7]. En el archivo se definen los atributos de cada sensor, como el identificador del sensor, el identificador del carril y la posición en metros donde se ubicará dicho sensor. También se especifica la frecuencia con la que se tomarán los datos y la ruta en la que se almacenará el archivo de salida.

A continuación se muestra un ejemplo con la configuración de dos sensores, donde se describe la frecuencia (freq) para que cada 3600 segundos se genere un estado con el promedio de velocidad con la cual circulan por ese sensor y que el archivo de salida tendrá el nombre “sensor\_OUT.xml”.

```
<additional>
<inductionLoop id="1_D"
lane="432173008#1_0" pos="1100"
freq="3600" file="sensor_OUT.xml"
friendlyPos="true" splitByType="true"/>
<inductionLoop id="1_I"
lane="432173008#1_1" pos="1100"
freq="3600" file="sensor_OUT.xml"
friendlyPos="true" splitByType="true"/>
</additional>
```

En este caso también se configuró la opción friendlyPos para que en caso de algún error el sensor sea reubicado en una posición por defecto y splitByType para que los flujos se separen de acuerdo con el tipo de vehículo.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de la ubicación de sensores en una intersección. Los cuadros amarillos representan cada uno de los sensores configurados.

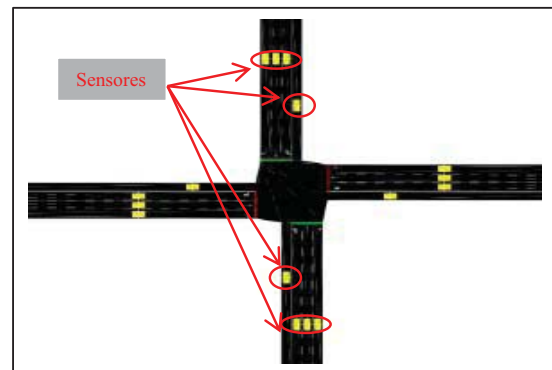


Fig. 1. Representación de los sensores en el mapa

#### 2. Entradas de configuración de SUMO

Una vez configurados los sensores se debe añadir una línea en el archivo de configuración global, para insertar una referencia al archivo que ha sido creado. En la sección de los archivos de entrada adicionales se debe colocar el nombre del archivo “sensores.xml”. El siguiente ejemplo muestra la forma como quedó el segmento de código etiquetado como input.

```
<input>
<net-file
value="quitosantodomingo.net.xml"/>
<route-files
value="quitosantodomingo.rou.xml"/>
<additional-files
value="quitosantodomingo.poly.xml,
sensores.xml"/>
</input>
```

### B. Colores de tráfico de Google Maps

De acuerdo con la información proporcionada por Google sobre sus mapas, “el código de colores indica la velocidad de circulación de la carretera” [8]. Se definen tres colores básicos para las rutas hacia un determinado destino y en base a los tres

colores se generan distintas tonalidades que varían en función de la hora, el día, la clase de vía y la cantidad de tráfico.

Los colores establecidos por Google para representar la cantidad de tráfico vehicular son [8]:

- *Verde*: la densidad vehicular es muy baja y se puede circular con normalidad.
- *Naranja*: significa que se presenta una densidad de tráfico media.
- *Rojo*: hay detenciones de tráfico. Cuanto más oscuro sea el rojo, más lenta será la velocidad de circulación.

### C. Situación actual de la movilidad vehicular en Quito

El tráfico vehicular en la ciudad de Quito es un gran inconveniente a medida que la zona urbana sigue creciendo de manera desordenada. Según el Anuario de Estadísticas de Transporte del 2017 (último hasta la fecha actual), elaborado por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) [1], la ciudad de Quito presenta los mayores índices de vehículos matriculados por ciudad del Ecuador durante ese año.

Durante el desarrollo de este artículo se utilizaron los datos obtenidos de la Secretaría de Movilidad, Dirección de Políticas y Planeamiento de la Movilidad, Área de Sistemas de Información de Tránsito del Distrito Metropolitano de Quito [9]. En estos documentos se detallan las estadísticas del flujo vehicular promedio por hora y por día de la semana, entre los meses de enero a julio del 2017.

Las pruebas se las realizaron en tres escenarios que constituyen las principales vías de acceso a la ciudad Quito y son los siguientes: Quito – Santo Domingo, Quito – Los Bancos y Quito – Ibarra.

## III. CONDICIONES DE SIMULACIÓN

Antes de ejecutar la simulación es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones importantes, como la cantidad de vehículos que se insertarán y el tiempo de duración de la simulación. Esto es por motivo de que se requieren obtener datos más precisos, por lo que se debe tener un número considerable de vehículos en la simulación y el tiempo de simulación ser el suficiente para permitir que los vehículos insertados tereminen el viaje por las vías seleccionadas.

Para realizar la comparativa de las velocidades promedio que tienen los vehículos simulados con los patrones de medida de velocidades promedio que tiene Google Maps, se determinó la velocidad de los vehículos simulados en lugares establecidos por medio de la ubicación de sensores. La ubicación geográfica de estos sensores se realizó visualmente en los mapas, seleccionando sectores en donde existían variaciones de tráfico entre la hora de mayor congestión y su correspondiente hora anterior.

Luego de ubicar los sensores se determinó el porcentaje de cada tipo de vehículo (automóviles, buses y camiones) en base al total de vehículos matriculados en todo el territorio

ecuatoriano durante el año 2017. Esta información se presenta en la Tabla I.

TABLA I  
NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO

TIPO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Autos	1388250	61.23 %
Buses	78738	3.47 %
Camiones	800356	35.30 %
TOTAL	2267344	100.00 %

A continuación, para determinar el número de vehículos para cada uno de los escenarios se utilizaron los datos provistos del promedio de automotores por hora, por cada ruta y aplicando los porcentajes obtenidos se construyen las tablas para cada uno de los escenarios.

En cada uno de los escenarios se han tomado en cuenta tres posibles casos: el primero es un caso en el que se eligieron las cuatro horas con el mayor flujo de tráfico, el segundo es donde se seleccionaron las horas con la menor densidad vehicular y el último caso representan las horas en las que se tiene una cantidad promedio y que no se crucen con la selección de horarios de los anteriores casos.

Para obtener resultados más realistas, se utilizó la versión 1.1.0 del simulador SUMO ya que esta considera una distribución normal de la velocidad que asume cada vehículo simulado en base a un factor de desviación que puede ser programado en el archivo de configuración. De forma predeterminada este factor es igual a 0.1, lo que significa que un vehículo puede conducir hasta un 20% por encima del límite de velocidad o un 20% por debajo del límite de velocidad.

Para el primer escenario que corresponde a la ruta Quito – Santo Domingo, se encontró que el horario en el que se registra la mayor cantidad de vehículos es desde las 15h00 hasta las 19h00, información que se muestra en la tabla II.

TABLA II  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - SANTO DOMINGO  
LUNES A VIERNES – CASO 1

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
15:00 – 16:00	832	509	29	294
16:00 – 17:00	833	510	29	294
17:00 – 18:00	819	502	28	289
18:00 – 19:00	753	461	26	266

En el segundo caso de esta ruta se determinó que el horario en el que la densidad vehicular es la más baja es a partir de las 11h00 hasta las 15h00. Estos datos se presentan en la tabla III.

TABLA III  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - SANTO DOMINGO  
LUNES A VIERNES – CASO 2

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
11:00 - 12:00	733	449	25	259
12:00 - 13:00	678	415	24	239
13:00 - 14:00	756	463	26	267
14:00 - 15:00	813	498	28	287

El último caso para el primer escenario se construyó tomando en cuenta las horas en las que el flujo tiene un valor promedio y corresponden al período entre las 06h00 hasta las 10h00, lo cual detalla en la Tabla IV.

TABLA IV  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - SANTO DOMINGO  
LUNES A VIERNES – CASO 3

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
06:00 - 07:00	804	492	28	284
07:00 - 08:00	786	481	28	277
08:00 - 9:00	712	436	25	251
09:00 - 10:00	696	426	24	246

El segundo escenario comprende la ruta Quito - Los Bancos y la construcción de los escenarios se realizó de la misma manera. A diferencia de la ruta Quito – Los Bancos, en este nuevo escenario, el horario en el que se encuentra la mayor cantidad de vehículos es desde las 18h00 hasta las 22h00, información que se encuentra en la Tabla V.

TABLA V  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - LOS BANCOS  
LUNES A VIERNES – CASO 1

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
18:00 – 19:00	1916	1174	66	676
19:00 – 20:00	2028	1242	70	716
20:00 – 21:00	1763	1080	61	622
21:00 – 22:00	1283	787	46	453

Los valores de densidad vehicular más bajos se encuentran entre las 06h00 y las 10h00, y se distribuyen en la simulación tal como se muestra en la Tabla VI.

TABLA VI  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - LOS BANCOS  
LUNES A VIERNES – CASO 2

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
06:00 - 07:00	1,366	837	47	482
07:00 - 08:00	1,540	943	53	544
08:00 - 9:00	1,370	839	48	483
09:00 - 10:00	1,351	827	47	477

Por otro lado, para el tercer caso de este escenario se establece la Tabla VII, donde se presenta las cantidades promedio que se obtuvieron en el período de 12h00 a 16h00.

TABLA VII  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - LOS BANCOS  
LUNES A VIERNES – CASO 3

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
12:00 - 13:00	1,583	969	55	559
13:00 - 14:00	1,526	934	53	539
14:00 -15:00	1,516	928	53	535
15:00 - 16:00	1,635	1001	57	577

El último escenario de pruebas planteado es la ruta Quito – Ibarra y se presenta también la distribución vehicular de los tres casos. La tabla VIII muestra los valores más altos de densidad vehicular que corresponden al horario comprendido entre las 06h00 hasta las 10h00.

TABLA VIII  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - IBARRA  
LUNES A VIERNES – CASO 1

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
06:00 - 07:00	1416	867	49	500
07:00 - 08:00	1652	1012	57	583
08:00 - 9:00	1268	776	44	448
09:00 - 10:00	1262	773	44	445

Para el segundo caso las cantidades mínimas de vehículos en esta ruta se encuentran entre los horarios de las 12h00 y las 16h00, información que se detalla en la Tabla IX.

TABLA IX  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - IBARRA  
LUNES A VIERNES – CASO 2

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
12:00 - 13:00	1,102	675	38	389
13:00 - 14:00	1,083	663	38	382
14:00 -15:00	1,229	753	43	433
15:00 - 16:00	1,197	733	42	422

Y por último caso se de este escenario se establece los flujos promedios que se encuentran en la tabla X y se han obtenido del período de 18h00 hasta las 22h00.

TABLA X  
NÚMERO DE VEHÍCULOS PARA LA RUTA QUITO - IBARRA  
LUNES A VIERNES – CASO 3

HORA	TOTAL	AUTOS	BUSES	CAMIONES
18:00 - 19:00	1,337	819	46	472
19:00 - 20:00	1,270	778	44	448
20:00 - 21:00	966	591	34	341
21:00 - 22:00	710	435	25	250

#### IV. PRUEBAS REALIZADAS

En cada uno de los escenarios propuestos se han realizado pruebas para determinar los porcentajes de la velocidad promedio respecto a la velocidad máxima permitida para cada tipo de carretera. De esta manera se estableció para todos los

escenarios la ubicación de los sensores, el tipo de carretera en esta ubicación y la velocidad máxima correspondiente a este tipo de carretera. En la tabla XI las características de cada sensor en la ruta Quito – Santo Domingo.

TABLA XI  
UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN LA RUTA QUITO – SANTO DOMINGO

ID	NODO SENSOR	TIPO DE CARRETERA	VELOCIDAD MÁXIMA TIPO DE CARRETERA
1	Av. Maldonado (Salida de Quito)	Urbano	13,89
2	Av. Maldonado (Cementerio de Cutuglagua)	Urbano	13,89
3	Av. Maldonado (Curva de Santa Rosa)	Rural	27,78
4	Semáforo Tambillo	Rural	27,78
5	Escuela de Policías – Tambillo	Rural	27,78
6	Intercambiador Aloag	Rural	27,78
7	Aloag	Rural	27,78
8	Km. 23 vía Santo Domingo	Rural	27,78
9	Yolán	Rural	27,78
10	Tandapi	Rural	27,78
11	La Unión	Rural	27,78
12	Alluriquín	Rural	27,78
13	Entrada a Santo Domingo	Rural	27,78

Para este escenario se han simulado los tres casos de densidad vehicular (que corresponden a diferentes horas del día) y se han medido las velocidades promedio en cada sensor y en base a esto se calcula el porcentaje que esta velocidad representa respecto del límite. Por último, se registra el color que muestra Google Maps en ese punto y en la hora correspondiente. Esta información se muestra en la tabla XII para los casos 1, 2 y 3 respectivamente.

CASO 1				CASO 2			CASO 3		
ID	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.	COLOR
1	9,55	68,76	Naranja	9,84	70,83	Verde	9,75	70,16	Verde
2	11,14	80,23	Verde	11,24	80,89	Verde	11,28	81,22	Verde
3	20,69	74,46	Verde	20,95	75,41	Verde	21,00	75,59	Verde
4	14,96	53,85	Naranja	14,93	53,75	Naranja	15,03	54,09	Naranja
5	23,52	84,68	Verde	23,66	85,15	Verde	23,66	85,19	Verde
6	18,63	67,06	Naranja	18,69	67,28	Verde	18,79	67,63	Naranja
7	23,27	83,78	Verde	23,49	84,55	Verde	23,32	83,93	Verde
8	23,63	85,06	Naranja	23,73	85,41	Verde	23,63	85,06	Verde
9	23,36	84,09	Naranja	23,63	85,05	Verde	23,51	84,61	Verde
10	20,03	72,11	Naranja	20,00	72,01	Naranja	20,24	72,85	Verde
11	13,04	46,92	Naranja	13,43	48,34	Naranja	13,45	48,43	Naranja
12	12,10	43,54	Naranja	12,22	44,00	Naranja	12,21	43,94	Naranja
13	17,23	62,03	Naranja	17,19	68,78	Verde	17,25	69,01	Verde

Para este primer escenario como se esperaba al ser una vía mayormente rural, la mayoría de sensores marcan un color verde o naranja, ya que en la mayor parte de la ruta hay

ausencia de obstáculos como semáforos, señalización de pare, etc.

TABLA XIII  
UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN LA RUTA QUITO – LOS BANCOS

ID	NODO SENSOR	TIPO DE CARRETERA	VELOCIDAD MÁXIMA TIPO DE CARRETERA
1	Escuela Superior de Policía (Semáforo)	Perimetral	25
2	Escuela Superior de Policía	Perimetral	25
3	Unidad Educativa Espejo (Semáforo)	Perimetral	25
4	Unidad Educativa Espejo	Perimetral	25
5	Pomasqui	Urbano	13,89
6	Entrada a La Pampa (Semáforo)	Perimetral	25
7	Entrada a La Pampa	Perimetral	25
8	Moraspungo (Semáforo)	Rural	27,78
9	Moraspungo	Rural	27,78
10	Entrada a Pululahua	Rural	27,78
11	Entrada a Calacalí	Rural	27,78
12	Entrada a Nanegalito	Rural	27,78
13	Salida de Nanegalito	Rural	27,78
14	Mindo	Rural	27,78
15	Entrada a los Bancos	Rural	27,78

Para el segundo escenario, en la ruta Quito – Los Bancos se han dispuesto 15 sensores tal como se muestra en la tabla XIII. Se les ha asignado igualmente un identificador y se presenta también el tipo de carretera junto con el límite permitido por la misma. Al igual que para la anterior ruta, se han simulado los tres casos presentados y en la tabla XIV se muestran los resultados.

CASO 1				CASO 2			CASO 3		
ID	VEL PROM (M/S)	% LIM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LIM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LIM VEL.	COLOR
1	11,54	46,17	Naranja	14,24	56,94	Naranja	14,20	56,79	Naranja
2	13,28	53,11	Verde	17,94	71,77	Verde	18,05	72,21	Verde
3	11,22	44,88	Naranja	14,95	59,78	Naranja	14,75	59,02	Naranja
4	11,54	46,16	Naranja	17,19	68,76	Verde	16,97	67,87	Verde
5	7,91	56,96	Naranja	9,87	71,05	Verde	9,88	71,12	Naranja
6	11,09	44,36	Naranja	13,71	54,85	Naranja	13,29	53,14	Naranja
7	8,25	32,98	Naranja	15,13	60,53	Naranja	13,89	55,57	Naranja
8	14,45	52,03	Naranja	14,42	51,90	Naranja	14,50	52,20	Naranja
9	18,32	65,93	Verde	18,31	65,91	Naranja	18,24	65,65	Naranja
10	17,46	62,84	Verde	17,52	63,06	Naranja	17,45	62,81	Naranja
11	17,46	62,84	Verde	17,50	62,98	Naranja	17,42	62,71	Verde
12	17,31	62,31	Verde	17,24	62,07	Naranja	17,27	62,16	Naranja
13	17,42	62,72	Naranja	17,39	62,60	Naranja	17,47	62,88	Naranja
14	15,40	55,44	Verde	14,66	52,76	Verde	14,94	53,77	Naranja
15	22,49	80,97	Verde	22,46	80,83	Verde	22,90	82,42	Verde

De igual manera esta ruta la mayoría de los sensores corresponden a un tipo de carretera rural y por lo tanto se espera que Google Maps marque un color naranja en estos puntos ya que este tipo de vías presentan una cantidad regular



de vehículos sin importar la hora del día en la que se realice la prueba.

Por último, para el escenario Quito – Ibarra se han colocado 12 sensores ubicados a lo largo de esta vía, como se observa en la tabla XV.

TABLA XV  
UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN LA RUTA QUITO – IBARRA

ID	NODO SENSOR	TIPO DE CARRETERA	VELOCIDAD MÁXIMA TIPO DE CARRETERA
1	Km. 7 vía albarra	Rural	27,78
2	Peaje Cochasquí	Rural	27,78
3	Entrada a Tabacundo	Rural	27,78
4	Tabacundo semáforo 1 vía a Ibarra	Rural	27,78
5	Tabacundo semáforo 2 vía a Ibarra	Rural	27,78
6	Salida de Tabacundo	Rural	27,78
7	Redondel de Cajas	Rural	27,78
8	Laguna San Pablo	Rural	27,78
9	Entrada Otavalo	Urbano	13,89
10	Salida Otavalo	Urbano	13,89
11	Atuntaquí	Urbano	13,89
12	Entrada Ibarra	Urbano	13,89

En la tabla XVI se muestran los resultados de los tres casos en la ruta Quito Ibarra, donde como se detalla para el caso 1 y caso 2 se han simulado con la densidad vehicular más alta y baja respectivamente, pero se tiene rojo en los sensores 4 y 5. Esto se debe principalmente a que se han ubicado en los semáforos en Tabacundo y por esta razón Google Maps marca estos puntos con este color, lo que no pasa para el caso 3 ya que corresponde naranja en lugar de rojo.

TABLA XVI  
RESULTADOS DE LA RUTA QUITO – IBARRA

CASO 1			CASO 2			CASO 3		
ID	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.	COLOR	VEL PROM (M/S)	% LÍM VEL.
1	22,23	80,03	Verde	22,98	82,72	Verde	23,04	82,95
2	21,56	77,62	Naranja	22,21	79,95	Verde	22,17	79,82
3	21,95	79,00	Verde	22,55	81,16	Verde	22,67	81,62
4	8,75	31,50	Rojo	8,66	31,17	Rojo	8,58	30,87
5	9,81	35,32	Rojo	10,59	38,11	Rojo	10,59	38,12
6	21,32	76,74	Verde	21,31	76,71	Verde	21,28	76,61
7	6,00	21,61	Naranja	6,08	21,87	Naranja	6,13	22,06
8	21,04	75,72	Verde	21,39	77,02	Verde	21,42	77,09
9	7,89	56,78	Naranja	8,82	63,53	Naranja	8,56	61,65
10	8,35	60,13	Naranja	8,56	61,66	Naranja	8,72	62,77
11	11,05	79,53	Verde	11,25	81,01	Verde	11,30	81,38
12	11,77	84,76	Verde	11,87	85,45	Verde	11,83	85,18

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se analizan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas, el objetivo de este procesamiento es encontrar los límites que corresponden a cada color presentado por Google Maps. En base a los

porcentajes obtenidos en las pruebas y la relación con el límite de velocidad, se ha buscado los valores máximos, mínimos y promedios de cada color.

Tomando en cuenta los valores obtenidos para cada color se puede determinar la desviación estándar de cada uno y se pueden obtener los límites utilizando el valor de la desviación estándar y el porcentaje promedio respectivo de cada color. Esta información se presenta en la tabla XVII en la que se realiza el mapeo de los tres colores presentados por Google Maps (verde, naranja y rojo) mediante SUMO.

TABLA XVII  
MAPEO DE GOOGLE MAPS CON SUMO

COLOR	MÍN.	MÁX.	PROM.	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	LÍMITE MÍN.	LÍMITE MÁX.
Verde	52,76	80,97	76,08	8,56	67,52	84,64
Naranja	21,61	62,72	55,92	13,48	42,44	69,40
Rojo	31,17	38,11	34,03	3,31	30,72	37,34

En base a los límites encontrados en la tabla XVII se puede obtener para cada color una gráfica que represente la cantidad de muestras que corresponden a cada uno de los colores en los diferentes porcentajes respecto al límite de velocidad permitida. Para el color rojo, el caso más sencillo, la figura 2 presenta una gráfica en la que únicamente se tienen muestras que caen dentro del rango de 30% a 40%. Se puede ver también que este rango está muy cercano a la media que se encuentra representada con la línea morada. En este caso, las muestras están dentro de los límites. La línea roja continua representa la tendencia, pero en este caso particular, al tener las muestras solo dentro de un rango se puede ver como crece y decrece rápidamente.

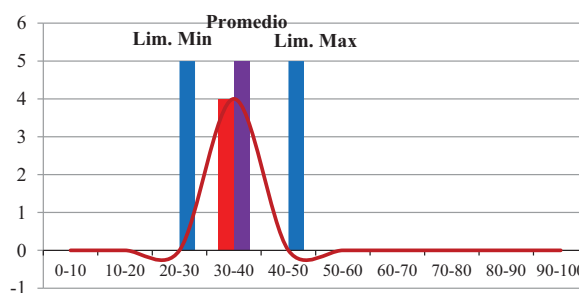


Fig. 2. Tendencia de las muestras encontradas para el color rojo

Para el color naranja se ha realizado el mismo análisis en la figura 3 y para este color se obtuvo la mayor cantidad de muestras distribuidas en los diferentes rangos definidos. Sin embargo, se puede observar que existen varias muestras que se encuentran por fuera de los límites encontrados (líneas azules). La línea continua color naranja representa la tendencia y claramente al llegar al límite mínimo crece rápidamente hasta encontrar su pico en cerca del límite máximo. Al pasar este límite máximo se encontraron también algunas muestras, sin embargo, no son muy representativas.

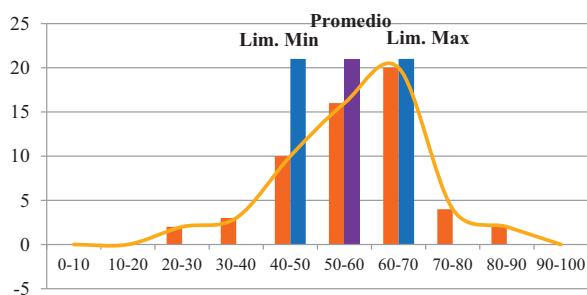


Fig. 3. Tendencia de las muestras encontradas para el color naranja

Por último, para el color rojo se realizó el mismo análisis y se obtuvo la gráfica que se presenta en la figura 4. Tal como se esperaba, las muestras únicamente se encontraron dentro de los rangos más altos. Esto representa al ser el color verde el que representa los tramos de las rutas en los que se puede circular con una velocidad media – alta. La línea continua que representa una vez más la tendencia, crece cuando se encuentra dentro de los límites y disminuye bruscamente cuando sale de estos límites.

Una vez que se probaron los límites de cada color, se determinaron los rangos de porcentaje que corresponderán a cada uno de los colores. Donde se asignó un valor coherente con los límites obtenidos y se realizó la comparativa empíricamente con los porcentajes de velocidades que asigna Google Maps a cada color de tráfico como se muestra en la tabla XVIII.

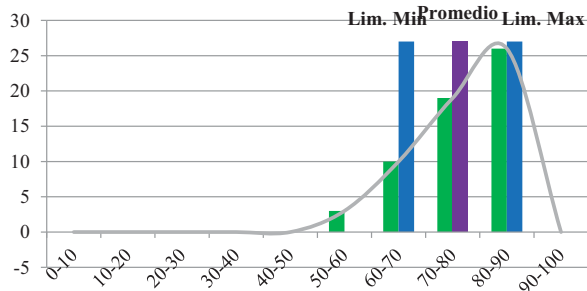


Fig. 4. Tendencia de las muestras encontradas para el color verde

COLOR DE GOOGLE MAPS	PORCENTAJE ASIGNADO
Verde	67,50% al 100%
Naranja	37,50% al 67,50%
Rojo	0% al 37,50%

De acuerdo con los porcentajes establecidos en la tabla XVIII para cada color se pueden calcular los rangos de velocidades que corresponden a los diferentes tipos de carreteras, tomando en cuenta que el límite máximo permitido para una vía urbana es 50 km/h, para una vía perimetral es 90 km/h y para una carretera rural es 100 km/h. Con esto se obtienen los valores que se presentan en la tabla XIX.

COLOR DE GOOGLE MAPS	VÍA URBANA (KM/H)	VÍA PERIMETRAL (KM/H)	VÍA RURAL (KM/H)
Verde	33,75 - 50	60,75 - 90	67,5 - 100
Naranja	18,75 - 33,75	33,75 - 60,75	37,5 - 67,5
Rojo	0 - 18,75	0 - 33,75	0 - 37,5

## VI. CONCLUSIONES

Para el color verde el rango de velocidades asignado por Google Maps está entre 67,50% y 100% y representa los lugares en los que se puede circular a alta velocidad.

El rango correspondiente al color naranja va desde 37,50% a 67,50%. Cuando se muestra este color en alguna ruta de Google Maps significa que se puede transitar a una velocidad media.

En el caso del color rojo, que representa lugares por los cuales se puede circular a una velocidad baja, el rango establecido está entre 0% y 37,50%. Este color por lo general se presenta en zonas pobladas o en lugares donde se presenta gran cantidad de tráfico vehicular debido a obstáculos como semáforos, redondeles, peajes, etc.

Algunos de los errores que se han obtenido como muestras puntuales que están muy fuera de los límites encontrados para cada color se deben principalmente a que los sensores han sido ubicados gráficamente en el mapa de Google y en algunos casos esta ubicación ha coincidido con semáforos o lugares en los que existe señalización de reducción de la velocidad y por lo tanto los vehículos han debido bajar la velocidad con la que estaban circulando.

## REFERENCIAS

- [1] Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, Anuario de estadística de transporte 2016, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/> [Último acceso: 15 07 2019].
- [2] E. Oliver, "Entre Waze y Google Maps ¿cuál es tu aliado de viaje favorito?", Digital Trends Español, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/tendencias/apps-waze-y-google-maps/>. [Último acceso: 15 07 2019].
- [3] "Sumo at a Glance - Eclipse SUMO - Simulation of Urban Mobility", Sumo.sourceforge.net, 2017. [En línea]. Disponible en: [http://sumo.sourceforge.net/userdoc/Sumo\\_at\\_a\\_Glance.html](http://sumo.sourceforge.net/userdoc/Sumo_at_a_Glance.html). [Último acceso: 15 07 2019].
- [4] M. Behrisch, L. Bieker and J. Erdmann, "SUMO – Simulation of Urban Mobility: An Overview", Barcelona, 2011.
- [5] R. Mena, "Análisis, caracterización y simulación del transporte de vehículos de carga pesada (Caso de estudio: Quito)", Maestría, Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [6] Mena, R., Urquiza-Aguilar, L., Calderón-Hinojosa, X., Zambrano, A. "Simulación y Análisis de Tráfico Vehicular en las Rutas de Acceso para la Ciudad de Quito con Mapas Geográficos en SUMO (Simulación de Movilidad Urbana)". Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, 3(JIEE2018), 26–34.
- [7] "SUMO – Simulation of Urban Mobility.", Institute of Transportation Systems, 2017. [En línea]. Disponible en: [http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931\\_read-41000/](http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/). [Último acceso: 15 07 2019].
- [8] Ayuda de Google Maps [En línea]. Disponible en: <https://support.google.com> [Último acceso: 15 07 2019].

- [9] "Secretaría de Movilidad - Municipio del Distrito Metropolitano de Quito", Quito.gob.ec, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.quito.gob.ec/index.php/secretarias/secretaria-de-movilidad>. [Último acceso: 15 07 2019].



**Ricardo I. Mena Villacís** nació el 11 de Julio de 1986 en Quito-Ecuador, se graduó en el Instituto Nacional Mejía, especialidad Fisicomatemático en el año 2004, obtuvo el grado de Ingeniera en Electrónica y Redes de Información en el año 2014, el grado Magister en Conectividad y Redes de

Telecomunicaciones en el año 2018 en la Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador. Acreditado como investigador auxiliar 1 por la SENESCYT y sus intereses van dirigidos hacia Smartcities y las redes de sensores.



**Luis F. Zumárraga Cadena** nació en Atuntaqui, provincia de Imbabura, el 26 de junio de 1997. Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio San Francisco en la ciudad de Ibarra. Actualmente cursa el octavo semestre de la carrera de Electrónica y Redes de Información en la Escuela Politécnica

Nacional, en la ciudad de Quito. Sus intereses están enfocados en el análisis de datos y el aprendizaje automático.



**Luis Urquiza Aguiar** es ingeniero en Electrónica y Redes de Información por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) de Ecuador. Recibió los títulos de Máster y Doctor en Ingeniería Telemática por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) de España en 2012 y 2016, respectivamente. Tiene la acreditación de

Investigador Agregado 2 de la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Actualmente se desempeña como profesor Auxiliar en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la EPN. Sus intereses de investigación en enfocados en la redes vehiculares y optimización.



**Xavier A. Calderón Hinojosa** nació el 16 de Agosto de 1972 en Quito-Ecuador, se graduó en el Colegio La Salle, especialidad Fisicomatemático en el año 1990. En el 2011 obtiene el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional y en el 2002 se

gradúa como Máster en Tecnologías de la Información en Fabricación en la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente trabaja en la Escuela Politécnica Nacional donde es profesor principal a tiempo completo. Jefe del Laboratorio de Informática de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.