

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de movilidad en la ciudad de Quito en horarios pico,
utilizando datos móviles de la empresa Telefónica - Ecuador**

Sistematización de experiencias prácticas de investigación y/o intervención

**Juan Esteban Freire Mullo
Juan Felipe Nájera Puente**

Ingeniería Industrial

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Quito, 19 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Estudio de movilidad en la ciudad de Quito en horarios pico, utilizando datos
móviles de la empresa Telefónica - Ecuador**

Juan Esteban Freire Mullo

Juan Felipe Nájera Puente

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Carlos Suárez, PhD.

Firma del profesor

Quito, 19 de mayo de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Juan Esteban Freire Mullo

Código:

00108541

Cédula de Identidad:

1715913669

Lugar y fecha:

Quito, mayo de 2017

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Juan Felipe Nájera Puente

Código:

00106828

Cédula de Identidad:

1716113160

Lugar y fecha:

Quito, mayo de 2017

Agradecimientos

Queremos agradecer a la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) que apoyó en esta investigación. Damos gracias a nuestros colegas del Departamento de Ingeniería Industrial de la USFQ, que proporcionaron conocimientos y experiencia el cual ayudó en gran medida a esta investigación.

Especialmente queremos agradecer a Telefónica ya que fue la entidad que brindó los datos necesarios para que este estudio sea posible, y sobre todo a José Javier Muñoz por su ayuda en las técnicas y metodologías que fueron usadas en este proyecto.

RESUMEN

La población del área urbana de la ciudad de Quito está creciendo con el paso de los años, esto implica también un crecimiento en el parque automotor, provocando que cada vez se genere mayor tránsito vehicular en la ciudad. Las personas que residen en parroquias aledañas como el valle de Cumbayá y Tumbaco, se ven afectados por los problemas que existen para movilizarse hacia la ciudad de Quito. En los horarios pico de la mañana y la tarde es cuando se genera mayor congestión vehicular, sobre todo en los distintos accesos que conectan Cumbayá y Tumbaco con el hipercentro de Quito, sector que se encuentra la mayor cantidad de comercios. Varios estudios recientes han demostrado que el uso de datos móviles de teléfonos celulares permite saber el movimiento diario de las personas que los usan. El objetivo de este estudio es analizar los eventos generados de los usuarios de Telefónica - Ecuador durante el mes de septiembre en los días laborables, para entender el flujo vehicular de las personas en horarios pico de la mañana y tarde, y así determinar cuál es el mejor acceso a utilizar por día para que su tiempo de viaje sea menor de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito y viceversa.

Palabras clave: Big data, data mining, Quito, tiempos de viaje, datos móviles, origen-destino, polígonos, movilidad.

ABSTRACT

The population of the urban area of Quito is growing over the years, which implies an increase of the vehicle fleet, causing more and more traffic to the city. People who live in parishes of Quito such as Cumbaya and Tumbaco valleys are affected by the problems that exist to transport to the Quito. In the peak hours of the morning and the afternoon is when greater traffic congestion is created, especially in the different accesses that connects Cumbaya and Tumbaco with the “hipocentro” of Quito, sector that concentrates the largest number of industries and commerce. Recent studies have shown that the use of mobile phone data allows to know the daily movement of the people. The objective of this study is to analyze the events generated by users of Telefonica – Ecuador during the month of September on weekdays, to understand the vehicular flow of people in peak hours of the morning and afternoon, and thus determine what is the best access to use per day so that their travel time is the least from Cumbaya/Tumbaco to “hipocentro” Quito and vice versa.

Key words: Big data, data mining, Quito, travel time, mobile data, origin-destiny, polygonos, mobility.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
Revisión de Literatura.....	13
Metodología	14
Resultados.....	16
Conclusiones y Recomendaciones	22
Referencias Bibliográficas	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Descripción de los campos necesarios para el estudio	14
Tabla No. 2. Usuarios que inician su jornada laboral de 08:00–08:30	19
Tabla No. 3. Usuarios que inician su jornada laboral de 09:00–09:30	19
Tabla No. 4. Usuarios que terminan su jornada laboral de 17:00–17:30.....	20
Tabla No. 5. Usuarios que terminan su jornada laboral de 18:00–18:30.....	20
Tabla No. 6. Porcentaje de viajes registrados por acceso.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Flujo de viajes generados de Cumbayá/Tumbaco hacia el hipercentro durante la mañana mediante el acceso de Guápulo.....	16
Figura No. 2. Tiempos de viaje por acceso en la mañana.....	16
Figura No. 3. Tiempos de viaje por acceso en la tarde.....	17
Figura No. 4. Tiempos de viaje por acceso en la mañana, día Lunes.....	18
Figura No. 5. Tiempos de viaje por acceso en la tarde, día Lunes.....	18

Estudio de movilidad en la ciudad de Quito en horarios pico, utilizando datos móviles de la empresa Telefónica - Ecuador

Juan Esteban Freire, Juan Felipe Nájera

Resumen

La población del área urbana de la ciudad de Quito está creciendo con el paso de los años, esto implica también un crecimiento en el parque automotor, provocando que cada vez se genere mayor tránsito vehicular en la ciudad. Las personas que residen en parroquias aledañas como el valle de Cumbayá y Tumbaco, se ven afectados por los problemas que existen para movilizarse hacia la ciudad de Quito. En los horarios pico de la mañana y la tarde es cuando se genera mayor congestión vehicular, sobre todo en los distintos accesos que conectan Cumbayá y Tumbaco con el hipercentro de Quito, sector que se encuentra la mayor cantidad de comercios. Varios estudios recientes han demostrado que el uso de datos móviles de teléfonos celulares permite saber el movimiento diario de las personas que los usan. El objetivo de este estudio es analizar los eventos generados de los usuarios de Telefónica - Ecuador durante el mes de septiembre en los días laborables, para entender el flujo vehicular de las personas en horarios pico de la mañana y tarde, y así determinar cuál es el mejor acceso a utilizar por día para que su tiempo de viaje sea menor de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito y viceversa.

Palabras clave: Big data, Data Mining, Quito, tiempos de viaje, datos móviles, origen-destino, polígonos, movilidad.

Introducción

A nivel global, cada vez hay más personas que viven en áreas urbanas que en áreas rurales. Según las Naciones Unidas, se estimó que en el 2014, el 54% de la población vivía en áreas urbanas [1]. La ciudad de Quito también ha crecido rápidamente en los últimos años. Según el censo realizado por el INEC en el 2010, Guayaquil se encuentra como la ciudad más poblada de todo el Ecuador con 2.3 millones de habitantes, seguida por la ciudad de Quito con 2.2 millones de habitantes. Sin embargo, se proyecta que para el año 2018 Quito pasaría a ser la ciudad más poblada de todo el Ecuador con 2.7 millones de habitantes, seguida por Guayaquil con 2.6 millones de habitantes aproximadamente [2]. Estas proyecciones sirven para realizar una correcta planificación urbana de la ciudad que permita prever posibles escenarios futuros.

Este aumento de la población va relacionado con el crecimiento de la urbanización y con la movilidad urbana dentro de una ciudad. Actualmente, la congestión vehicular en Quito se ha vuelto un problema mayor para las personas que viven y transitan en la ciudad. La calidad de vida de los ciudadanos se ve

afectada por el tiempo de viaje que se incrementa a medida que hay mayor congestión. La Secretaría de la Movilidad, que es parte de la alcaldía del Distrito Metropolitano de Quito, realizó un estudio en el 2014 y mencionó que el sistema de movilidad presenta serias deficiencias que siguen con tendencia a agravarse, principalmente en la fluidez del tráfico, ya que la capacidad vial disponible cada vez se satura más y esto se debe a que no es capaz de atender la creciente demanda de circulación de vehículos. [3] Según Demissie y Antunes, para la planificación del transporte urbano, es importante considerar el crecimiento actual y futuro de estas zonas. [11] El desarrollo urbano trae consigo mayor cantidad de viajes¹, nuevos puntos de inicio y nuevas rutas.

La ciudad de Quito está dividida en varias parroquias rurales y urbanas, pero el problema del congestionamiento vehicular se presenta principalmente en las parroquias urbanas. La zona de mayor concentración vehicular, tanto pública como privada, es en el hipercentro de Quito², ya que en este sector es donde se encuentra la mayor cantidad de comercios, negocios y trabajo [3]. Las personas que viven fuera de la ciudad como en el valle de Cumbayá y Tumbaco (parroquias rurales de la ciudad), deben transportarse todos los días a su trabajo en Quito. Existen cinco vías o accesos³ al hipercentro de la ciudad que conectan con el valle de Cumbayá y Tumbaco. Los habitantes del valle de Cumbayá que se transporta hacia el hipercentro a través de los accesos mencionados, son afectados por el congestionamiento existente. Estos accesos se han convertido en cuellos de botella en el tránsito vehicular, provocando un alargamiento en el tiempo de viaje para las personas que buscan dirigirse a su lugar de trabajo, estudios, etc. durante los horarios pico⁴.

La mayoría de los estudios de movilidad del gobierno y la alcaldía de Quito son empíricos [3], mismos que se basan en encuestas acerca de los viajes, que proporcionan descripciones detalladas de la demografía, el lugar de residencia y los atributos de viaje a nivel individual o familiar [4]. El obtener esta información presentan riesgos significativos: los recursos económicos son elevados [5], la información obtenida es sesgada y existe una holgura de 10 años para su actualización. Este tipo de metodologías suelen ser bastante complejas y requieren de largos tiempos de implementación. Nuevas herramientas de análisis son vitales para aprovechar los recursos eficientemente. Estudios enfatizan el impacto positivo que se podría generar en la administración del tráfico a partir del uso de datos de ubicación y movimiento de telefonía celular [4] [13]. Según Pucci, Manfredini y Tagliolato, estudios tradicionales (como censo, encuestas y entrevistas) no pueden producir la misma información que generaría el monitoreo de tráfico de teléfonos celulares [12].

¹ Un viaje es definido como un movimiento unidireccional desde un punto de origen hasta un punto de destino. [15]

² El hipercentro es la zona delimitada del Panecillo a Av. Inca (sur a norte) y de la Av. América a 6 de Diciembre (oeste a este). [3]

³ Estos son: Granados, Túnel Guayasamín, Av. El Inca, Guápulo y La Floresta.

⁴ Horas con mayor congestión vehicular.

El crecimiento radical de los teléfonos celulares ha permitido que las personas estén más comunicadas, como también la generación de un gran volumen de datos. En el 2013, había casi tantas suscripciones de teléfonos celulares como gente en el mundo; las tarjetas SIM de teléfono celular activadas por cada 100 habitantes eran 96% globalmente; 128% en los países desarrollados; y 89% en los países en desarrollo [11]. El Ecuador, un país en desarrollo, con una población de 16.5 millones de personas, tiene registradas 14.8 millones de líneas activas hasta Octubre del 2016 [10]. Por lo tanto la cantidad de datos que es generada hoy en día permitiría entender cómo funciona la población en una ciudad [20], proporcionando formas de percibir la presencia y movimiento de las personas [7].

Los datos generados se crean cada vez que una persona utiliza su teléfono celular. Este aparato se conecta a una radiobase⁵ la cual registra el monitoreo con la hora y la ubicación aproximada del evento realizado [8], sea si se realizó una llamada telefónica, o uso de datos (internet). Todo este registro de los usuarios se llama el CDR (Call Detail Record), y las empresas de telecomunicaciones lo almacenan automáticamente [9]. Explorando el registro de los CDRs, se puede generar un algoritmo que analice los datos, y luego de hacer un estudio exhaustivo se pueda identificar viajes origen y destino de las ubicaciones más frecuentadas de los usuarios (hogar, trabajo, otros) entre las diferentes horas del día [8].

En este estudio, se utiliza datos de telefonía celular para inferir acerca de patrones de movilidad. Específicamente con estos datos analizados, se busca cuantificar el tiempo de viaje de las personas que se movilizan de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito en la mañana, y de igual manera las personas que se transportan desde el hipercentro a Cumbayá/Tumbaco en la tarde, en las horas pico por los accesos. Los datos a utilizar son de los usuarios de la empresa de telecomunicaciones Telefónica - Ecuador, el cual según la ARCOTEL⁶ tiene un market share de 63% en la ciudad de Quito [10]. Un estudio realizado en España concluyó que con tener los celulares encendidos de un solo operador de telefonía celular es información suficiente para poder inferir en patrones de tránsito, ya que un operador tiene constantemente una base de datos actualizada de la posición de todos los teléfonos celulares que están en uso [13]. Por tanto, la data proporcionada por Telefónica provee robustez al estudio.

En este documento, se encuentra en la sección dos una revisión de estudios realizados en el campo investigado, junto con los resultados obtenidos y sus supuestos. La sección tres describe la metodología utilizada para realizar este estudio. La sección cuatro se encuentra una descripción de los resultados obtenidos por el estudio. La sección cinco tiene las conclusiones y recomendaciones del estudio.

⁵ Se define como una antena fija que se conectan los teléfonos celulares. [Telefónica]

⁶ Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones del Ecuador.

Revisión de Literatura

La Municipalidad de Quito en el 2010 implementó el pico y placa, una medida de restricción vehicular para mitigar el tráfico dentro de la ciudad, especialmente en el hipercentro de Quito. Esta política impone una restricción obligatoria del movimiento en el área urbana para los vehículos privados en horarios pico, dependiendo del último número de la placa del auto [3]. En Quito las horas restringidas de circulación para estos vehículos son de 07:00 a 09:30 y de 16:00 a 19:30⁷, de lunes a viernes [14]. En un inicio esta medida funcionó, sin embargo, los resultados fueron disminuyendo en el transcurso del tiempo debido al incremento del parque automotor [3].

Se busca comprender el movimiento de las personas en los horarios pico en la ciudad de Quito; para esto, se han investigado varios estudios realizados en ciudades alrededor del mundo que buscan analizar patrones de movilidad para proponer soluciones viables. El estudio de Anapolsky, Et. Al. en Buenos Aires, Argentina, busca comparar los resultados obtenidos de una encuesta de movilidad realizada en el 2009 con los datos móviles generados. Inició dividiendo los días de la semana con franjas horarias (horarios pico), analizando los viajes de cada día. Los supuestos del estudio son: de lunes a jueves los días son hábiles típicos, los viernes pueden tener cierta variación en el patrón de viaje, y los fines de semana varían al ser días no laborables y sin escuelas [6]. Para el análisis de los datos, se trabajó únicamente con datos de llamadas (entrantes y salientes) en un periodo de 5 meses ya que aumentaba las probabilidades de que se genere una llamada. Finalmente los datos obtenidos del estudio de telefonía celular fueron comparables con la encuesta de movilidad de la ciudad. Dada la similitud en los resultados encontrados en este estudio, se puede concluir que a partir de estudios de telefonía celular se obtienen nuevas oportunidades para analizar la movilidad a un menor costo, mayor tamaño de muestra y mayor frecuencia de actualización [4].

Calabrese et Al., realizaron su estudio en Massachusetts, el cual mencionan que los datos de rastreo de telefonía móvil consisten en estimaciones de ubicación anónimas. En este estudio de tres meses de datos, se registró aproximadamente 1 millón de teléfonos móviles conectados a la red celular, realizando eventos como: generación de llamadas, envíos de SMS de texto y uso de internet (utilizando navegadores web, email, redes sociales, etc.) [4]. Con toda esta información, la data fue anonimizada y agregada a partir de cada usuario individual que tenga los mismos patrones de comportamiento. Estudios previos de investigación sobre movilidad adoptan enfoques analíticos similares que implican la agregación de datos [16]. Una técnica usada en varios estudios para agrupar datos es el análisis Clúster, el cual agrupa un conjunto de datos que tiene características similares entre sí en relación con los demás. [4] Como resultado, obtuvieron la duración promedio diaria de los viajes totales de cada usuario.

La identificación de los viajes origen destino ha sido una herramienta utilizada en varios estudios. Uno de estos, realizado por Demissie en Senegal, menciona que

⁷ Horarios pico dentro de la ciudad de Quito.

para proveer soluciones a la ciudad se debe tener claro cuál es el patrón de movilidad. Para identificar este patrón, es importante identificar cuál es su origen y destino [11]. Se ha demostrado que utilizar un único punto de destino no es efectivo debido a que los individuos pasan una cantidad de tiempo significativo en más de un solo lugar [17]. Por lo tanto, Demissie definió su estudio en el análisis de patrones de movilidad entre su hogar y sus destinos más frecuentados. El origen estaría definido a partir de la radiobase de mayor uso entre las horas de la noche (10pm - 7am), mientras que sus destinos son las cinco ubicaciones con mayor tiempo de parada. Sus resultados son independientes de la variable tiempo, su fin era proponer rutas de tránsito sugeridas, e identificar zonas que no existe la cobertura o accesibilidad adecuada para la demanda de transporte público [11]. Como resultado, se propuso planes de nuevas rutas de tránsito y la ampliación de rutas existentes para satisfacer la demanda, maximizando la cobertura y accesibilidad de los buses.

Estudio similar fue realizado por Çolak et al., donde se aplica el concepto de viajes origen destino. Inicia determinando las paradas que genera un usuario y luego los viajes que realiza entre estos puntos [8]. La parada es categorizada en base a la hora que se genera el evento. Esta es registrada como “hogar” durante las horas de la mañana; mientras que su “trabajo” será la segunda parada más visitada en el horario diferente a la mañana. Las paradas que no pertenezcan a ninguno de estos tipos de evento, se clasifica como “otros”. Caso similar se utiliza en otro estudio realizado por Demissie [15], donde se identifica el tipo de actividad en las paradas de mayor estadía para inferir los posibles viajes que generaría un usuario a futuro.

Estos estudios tienen stakeholders en común; operadores de transporte público, autoridades y ciudadanos pueden verse beneficiados por estas soluciones [11]. La planificación de transporte tendría nuevas oportunidades para analizar y mejorar; siempre y cuando existan las herramientas necesarias que permitan comprender dichos patrones de movilidad de las personas en la ciudad [6].

Metodología

El propósito de este estudio es analizar la data generada por los usuarios de Telefónica que viajan desde el valle de Cumbayá y Tumbaco, y se dirigen hacia el hipercentro de Quito, para obtener el tiempo de viaje durante los horarios pico de ingreso y salida, en los días laborables.⁸ Las horas a analizar son de 07:00 a 9:30 en la mañana y de 16:00 a 19:30 en la tarde y noche. Al identificar el origen y destino de los usuarios que atraviesan uno de los cinco accesos, se determina cuál es su tiempo de viaje.

Para el estudio se utilizaron los datos generados únicamente por llamadas de voz y uso de datos móviles⁹ del 1 al 24 del mes de Septiembre del año 2016 de los usuarios que generaron más de 30 eventos en el área de Cumbayá y se hayan

⁸ Los días laborables son de lunes a viernes.

⁹ Uso de internet en teléfonos celulares.

registrado eventos en Quito, en un radio de 2 km cerca a cada punto de acceso definido. La base fue conformada por un valor aproximado de 319 millones de registros.

Los campos solicitados para el estudio se especifican en la Tabla No. 1. Esta información fue evaluada para identificar qué tipo de tratamientos se debe realizar para iniciar con el procesamiento de los datos. Se inició con una limpieza y preparación para el análisis posterior [19]. El proceso de limpieza se basa en la eliminación de registros en blanco, días no deseados (sábados y domingos), y puntos en áreas no deseadas. Para identificar las áreas del estudio, se generaron polígonos que agrupen los datos relevantes al estudio. Estos polígonos fueron generados utilizando la herramienta QGIS [22]. En el Anexo 1 se puede observar cómo fueron definidas las áreas del hipercentro de Quito, Cumbayá y los puntos de acceso.

Tabla No. 1: Descripción de los campos necesarios para el estudio

Campo	Descripción
IdUsuario	Número de identificación que tiene cada usuario de teléfono celular. Sirve para poder distinguir a cada usuario.
Hora	Hora, minuto y segundo en que se inició el evento.
Longitud	Longitud de la radio base más cercana que se conectó el usuario al realizar un evento.
Latitud	Latitud de la radio base más cercana que se conectó el usuario al realizar un evento.
CeldaOrigen	Identificación de radio base (antena) que registra el evento generado por el usuario.
Fecha	Día, mes y año en que se generó el evento.

Se debe tener en cuenta que al manejar grandes volúmenes de datos, los tiempos de procesamiento pueden ser extensos, por lo que se decidió dividir la base por días, teniendo un total de 17 archivos por los 17 días laborables del mes de septiembre que fueron analizados.

La primera etapa del estudio es identificar el origen y destino de los usuarios. En base a un análisis realizado con la base, se ha comprobado que los usuarios pueden ser identificados en sus hogares, por lo que se decidió analizar la base filtrando por los rangos de hora pico ya definidos, tanto para la mañana como la tarde. Se identificaron a los usuarios que realizaron sus viajes y registraron una estadía mayor a 5 minutos en los puntos de interés. Una estadía se denomina cuando el usuario ha pasado un tiempo determinado en una misma posición sin registrar movimiento. El algoritmo que permite identificar dicha estadía se muestra a continuación.

Fórmula No. 1: Código de identificación de estadías de usuarios

```

i <- 1; x <- 1
while(i <= nrow(BD)){
while(BD[i,"Usuario"]==BD[i+x,"Usuario"] & BD[i,"ZCode"]==BD[i+x,"ZCode"]){
  x <- x+1
}
if((BD[i+x-1,"Hora"]-BD[i,"Hora"])>5 & BD[i,"Usuario"]==BD [i+x-1,"Usuario"]){
  "Registrar estadía del usuario"
}
i=i+x
x<-1}

```

La siguiente etapa del estudio busca identificar los tiempos de viaje que tienen los usuarios. Para analizar el viaje que tienen los usuarios a través de los accesos, se dividió el viaje total en dos viajes. El primero viaje es del origen hacia el acceso, y el segundo viaje es del acceso hacia el destino. El tiempo de viaje total del usuario será la diferencia de la hora de llegada al destino con la hora de salida del origen. Con estos resultados se puede continuar con el análisis para cumplir con el objetivo del estudio, proponer horas de salida por acceso para reducir los tiempos de viaje.

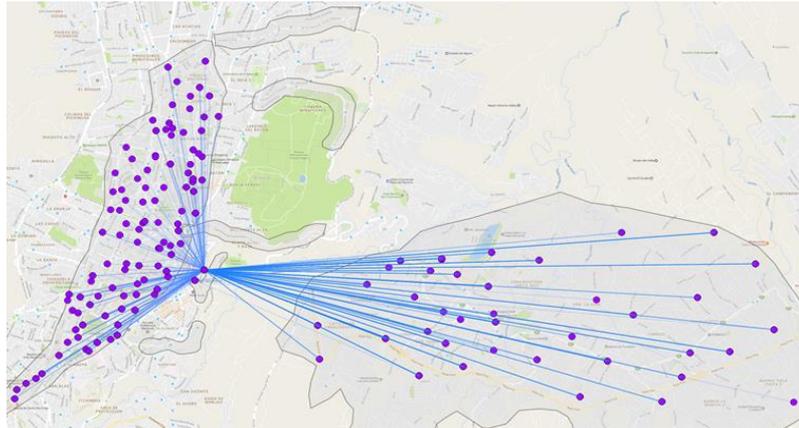
El estudio tiene varios supuestos: 1) los usuarios generan eventos al salir de su origen y al llegar a su destino, 2) los usuarios generan eventos durante su viaje y 3) los usuarios realizan un viaje directo hacia su destino. Dado que estos supuestos no se cumplen en su totalidad, se encontraron valores atípicos que afectaban los resultados. Estos valores fueron identificados mediante el análisis boxplot y los tiempos mayores a 1.5 veces el rango intercuartil fueron eliminados.

Resultados

Una vez que los valores atípicos fueron depurados, se identificó que aún existían valores extremos que generaban una alta variabilidad en los datos. Dado que la media, siendo una medida de tendencia central, es sensible a valores extremos [23] se decidió utilizar la mediana como estadístico para la interpretación de los resultados del estudio. La razón por la cual se utilizó la mediana se debe a que no es afectada fuertemente por los valores extremos que tienen los resultados obtenidos.

Se obtuvo los tiempos de viaje de los usuarios que se movilizaron de Cumbayá/Tumbaco hacia el hipercentro, y viceversa, tanto para la mañana como la tarde, durante el periodo definido. Estos tiempos de viaje fueron clasificados en función del acceso que el usuario tomó para llegar hacia su destino. El flujo de los usuarios que se trasladaron durante la mañana hacia el hipercentro se puede observar en el gráfico No. 1. En la gráfica se ha encontrado viajes hacia puntos muy lejanos del acceso, sin embargo la cantidad de estos viajes son poco frecuentes. Se debe tomar en cuenta que los puntos en el mapa pertenecen a la ubicación de la radiobase que captó el evento generado.

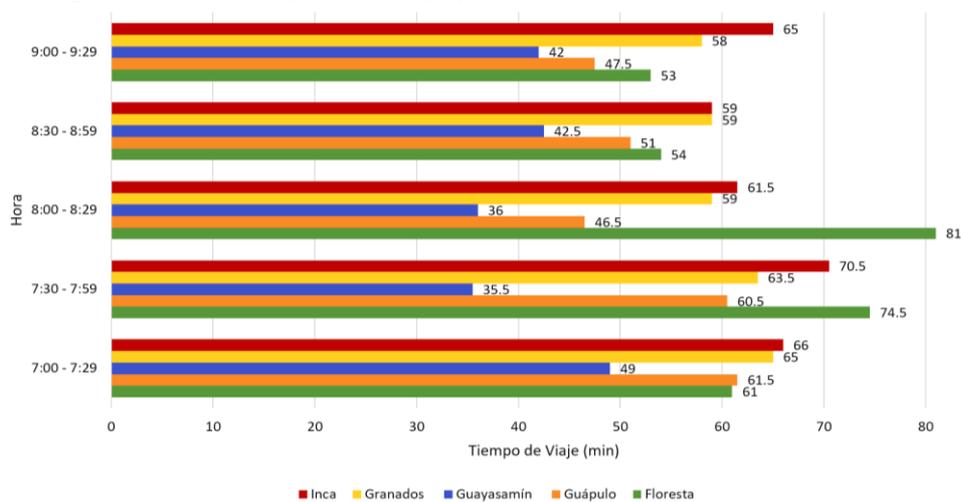
Figura No. 1: Flujo de viajes generados de Cumbayá/Tumbaco hacia el hipercentro durante mañana mediante el acceso de Guápulo



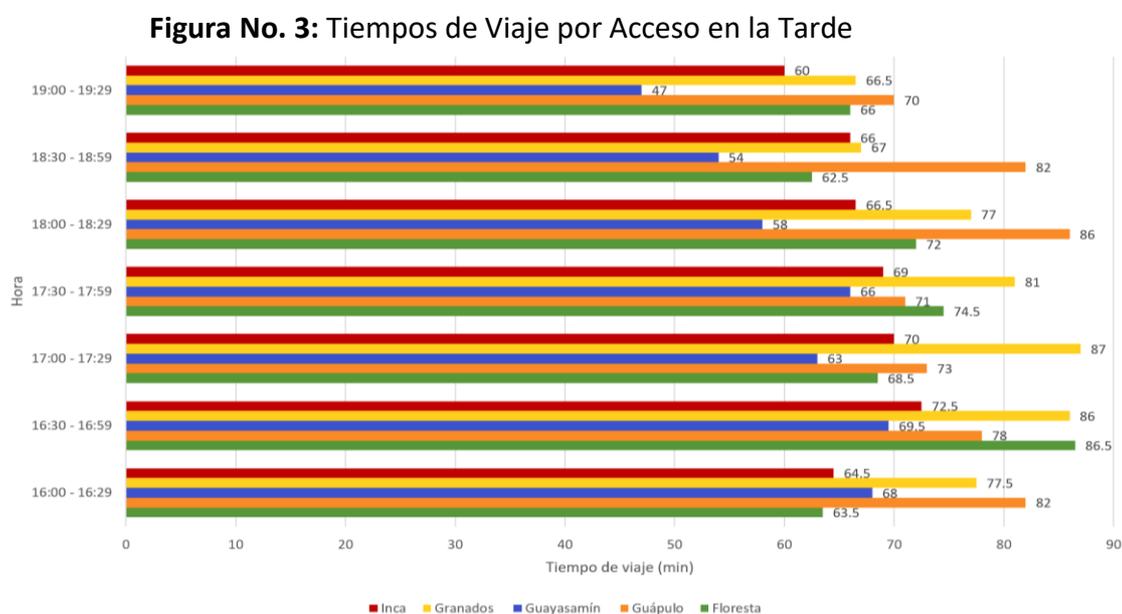
En el Anexo 2 se puede observar el flujo de los viajes generados para los 4 accesos restantes. Dado a que el polígono de Cumbayá/Tumbaco es extenso, los resultados de los tiempos de viaje son independientes de la distancia del viaje y la velocidad a la que se movilicen los usuarios. Los resultados de los tiempos de viaje se muestran en la Gráfica No. 2, estos resultados han sido divididos por franjas de 30 minutos, en las horas pico, para tener una mejor visibilidad del tiempo de viaje que tienen los usuarios para llegar a su destino.

Cada uno de los accesos (Floresta, Guápulo, Guayasamín, Granados e Inca) ha sido identificado con un color para un mejor entendimiento de los datos. En la Gráfica No. 2 se puede observar que los viajes representan únicamente aquellos que fueron generados en las horas de la mañana. El tiempo de viaje mínimo para un usuario que se moviliza hacia el hipercentro de Quito es de 35 minutos tomando el acceso de Guayasamín. En general, los tiempos de viaje a través de este acceso son menores, dado a que este acceso es el que conecta directamente con el hipercentro a diferencia del resto. De igual manera se debe considerar que los tiempos de viaje de los accesos más alejados como es Floresta e Inca, son los más elevados debido a su lejanía.

Figura No. 2: Tiempos de Viaje por Acceso en la Mañana

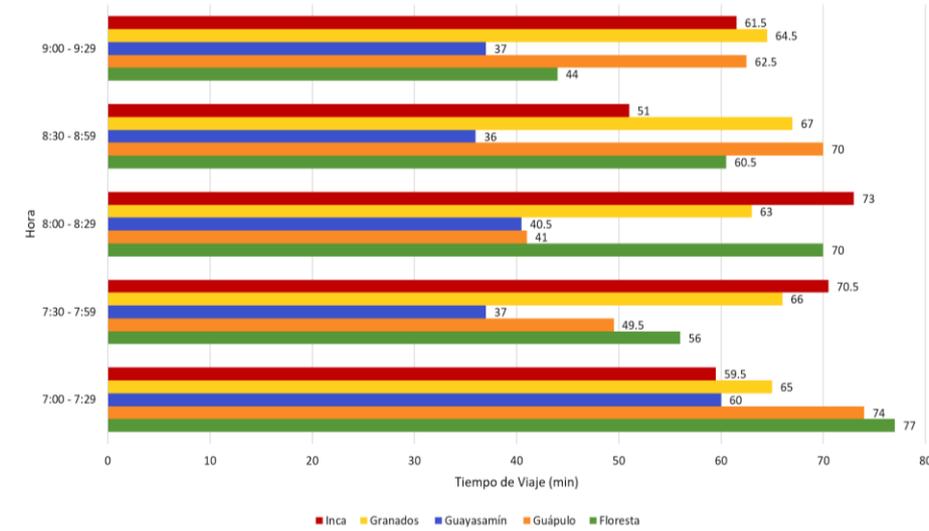


Así mismo, se ha generado un gráfico para entender el comportamiento de los viajes en las horas de la tarde. En el Gráfico No. 3 se muestran los tiempos de viaje por acceso para los usuarios que se movilizan hacia Cumbayá/Tumbaco durante las horas pico. En el caso de la tarde, los tiempos de viaje tienden a ser mayores, a comparación con la mañana. El tiempo mínimo de viaje es de 47 minutos a través del acceso Guayasamín, mientras que los tiempos de viaje más elevados los tienen Guápulo y Granados.



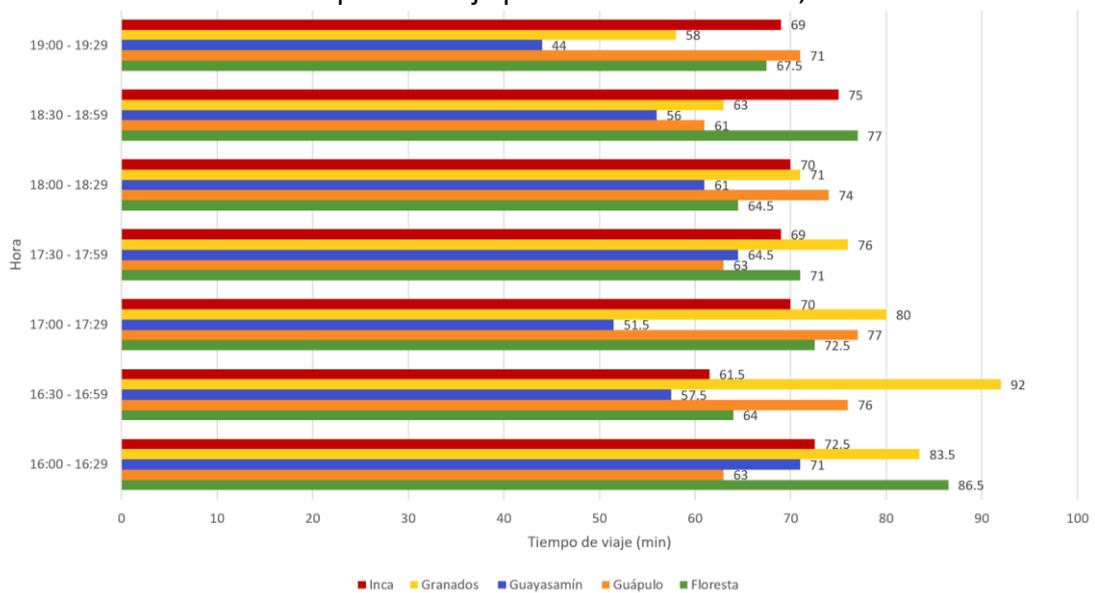
Parte del análisis es comparar los tiempos de viaje que existen entre los diferentes días de la semana para cada uno de los accesos. Bajo la suposición de que cada día tiene un comportamiento diferente, se ha decidido comparar los tiempos de viaje de cada día para identificar cuál es el mejor acceso para circular según el rango de hora. Debido a que el lunes registró la mayor cantidad de viajes generados del total de nuestra base, se ha decidido presentar sus resultados en la gráfica No. 4. Esta gráfica contiene los tiempos únicamente para la mañana del día lunes, se puede observar que cada media hora el mejor acceso puede diferir, pero a partir de las 7:30 AM uno de los mejor accesos para ingresar al hipercentro de Quito es Guayasamín.

Figura No. 4: Tiempos de Viaje por Acceso en la Mañana, día Lunes



En lo que se refiere a la tarde, se ha encontrado que de igual manera los tiempos de viaje por cada día difieren. Por lo tanto, en la gráfica No. 5 se encuentran los tiempos que le toma a un usuario llegar a su destino en Cumbayá/Tumbaco en la tarde a través de cada uno de los accesos en rangos de 30 minutos. Pese a que los tiempos en cada día son diferentes, el acceso que tiene los menores tiempos de viaje es Guayasamín, así como en algunos casos, el acceso de Guápulo es el óptimo. Existen accesos que mantienen sus tiempos de viaje constantes, como es el caso de Guápulo. Por otra parte, el acceso de Granados presenta un pico en sus tiempos de viaje de 16:30 a 17:00, pasada esta hora, los tiempos de viaje empiezan a tener un decrecimiento constante. Se debe tener en cuenta que en los tiempos de la tarde no se ha logrado definir cuál acceso es el menos recomendable de forma general. Se puede observar que en cada rango de media hora definido existe un acceso diferente que toma el tiempo de viaje más elevado.

Gráfica No. 5: Tiempos de Viaje por Acceso en la Tarde, día Lunes



Ya con todos los resultados, es importante saber qué acceso se debe utilizar para obtener un menor tiempo de viaje y en qué día. En base a los resultados que se han obtenido con los tiempos de viaje de cada acceso en los 5 días laborables de la semana, se ha generado un resumen de estos resultados. En la tabla No. 2 se puede observar el menor tiempo de viaje de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito para los usuarios que inician su jornada laboral de 08:00 - 08:30 y qué acceso se recomienda utilizar. Por lo tanto, según los eventos generados por los usuarios de Telefónica en los días laborables de septiembre, se recomienda que los días lunes utilicen el acceso Guayasamín o Inca, los días martes y miércoles el acceso Guayasamín, el día jueves el acceso Guápulo y el día viernes los accesos Guayasamín o Floresta.

Tabla No. 2: Usuarios que inician su jornada laboral de 08:00 - 08:30

Hora	Día	Acceso	Tiempo Viaje
7:00 - 7:30	Lunes	Guayasamín/Inca	60 min
7:00 - 7:30	Martes	Guayasamín	38 min
7:00 - 7:30	Miércoles	Guayasamín	54 min
7:00 - 7:30	Jueves	Guápulo	31 min
7:00 - 7:30	Viernes	Guayasamín/Floresta	31 min

En la tabla No. 3 se observa el menor tiempo de viaje de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito para los usuarios que inician su jornada laboral de 09:00 - 09:30 y qué acceso se recomienda utilizar. Por lo tanto, según los eventos generados por los usuarios de Telefónica en los días laborables de septiembre, se recomienda que los días lunes utilicen el acceso Guayasamín o Guápulo, y los días martes, miércoles, jueves y viernes utilicen el acceso Guayasamín.

Tabla No. 3: Usuarios que inician su jornada laboral de 09:00 - 09:30

Hora	Día	Acceso	Tiempo Viaje
8:00 - 8:30	Lunes	Guayasamín/Guápulo	41 min
8:00 - 8:30	Martes	Guayasamín	29 min
8:00 - 8:30	Miércoles	Guayasamín	29 min
8:00 - 8:30	Jueves	Guayasamín	40 min
8:00 - 8:30	Viernes	Guayasamín	35 min

En cambio, en la tabla No. 4 se observa el menor tiempo de viaje del hipercentro de Quito a Cumbayá/Tumbaco para los usuarios que terminan su jornada laboral de 17:00 - 17:30 y qué acceso se recomienda utilizar. Por lo tanto, según los eventos generados por los usuarios de Telefónica en los días laborables de septiembre, se recomienda que los días lunes y viernes utilicen el acceso Guayasamín, y los días martes, miércoles y jueves y viernes utilicen el acceso Guápulo.

Tabla No. 4: Usuarios que terminan su jornada laboral de 17:00 - 17:30

Hora	Día	Acceso	Tiempo Viaje
17:00 - 17:30	Lunes	Guayasamín	52 min
17:00 - 17:30	Martes	Guápulo	66 min
17:00 - 17:30	Miércoles	Guápulo	55 min
17:00 - 17:30	Jueves	Guápulo	58 min
17:00 - 17:30	Viernes	Guayasamín	57 min

Por último, en la tabla No. 5 se observa el menor tiempo de viaje del hipercentro de Quito a Cumbayá/Tumbaco para los usuarios que terminan su jornada laboral de 18:00 - 18:30 y qué acceso se recomienda utilizar. Por lo tanto, según los eventos generados por los usuarios de Telefónica en los días laborables de septiembre, se recomienda que los días lunes utilicen los accesos Guayasamín o Floresta, los días martes y miércoles los accesos Guayasamín o Inca, y los días jueves y viernes el acceso Guayasamín.

Tabla No. 5: Usuarios que terminan su jornada laboral de 18:00 - 18:30

Hora	Día	Acceso	Tiempo Viaje
18:00 - 18:30	Lunes	Guayasamín/Floresta	63 min
18:00 - 18:30	Martes	Guayasamín/Inca	66 min
18:00 - 18:30	Miércoles	Guayasamín/Inca	59 min
18:00 - 18:30	Jueves	Guayasamín	51 min
18:00 - 18:30	Viernes	Guayasamín	61 min

De esta manera, se pudo determinar cuál es el mejor acceso a utilizar por cada día de la semana para que los tiempos de viaje de Cumbayá/Tumbaco al hipercentro de Quito y viceversa sea el menor. De forma general, se tiene en porcentaje los viajes registrados por acceso en todo el mes de septiembre, tomando en cuenta los horarios pico de la mañana y la tarde.

Tabla No. 6: Porcentaje de viajes registrados por acceso

Acceso	% Viajes registrados
Floresta	10%
Guápulo	5%
Guayasamín	25%
Granados	20%
Inca	40%

Se observa que el acceso del Inca es el acceso con más viajes registrados durante el mes de septiembre. Además que los accesos con menor viajes registrados son la Floresta y Guápulo. Hay que tomar en cuenta que el Inca es el acceso con mayor capacidad que los otros accesos. De igual forma, la Floresta y Guápulo por ser vías estrechas tienen menor capacidad que los otros accesos.

Conclusiones y Recomendaciones

La ciudad de Quito crece con el paso de los años, donde la gente comienza a vivir fuera de la ciudad y a sus alrededores, lo que implica que se genere tránsito en los distintos accesos que conectan los valles de Quito con el hipercentro, y sus tiempos de viaje cada vez sean mayores. Con este estudio se delimitó las áreas del hipercentro de Quito y los valles de Cumbayá/Tumbaco, para así identificar la posición de los usuarios. En base al algoritmo definido, se identificó todos los usuarios que comienzan sus viajes en Cumbayá/Tumbaco y llegan a su destino al hipercentro de Quito. Con los eventos generados por los usuarios de Telefónica en los días laborables de septiembre, se logró proponer el uso del mejor acceso dependiendo del día para que su tiempo de viaje sea el menor.

Con todo esto, en el mes de septiembre, tomando en cuenta los días laborables, en horario pico de la mañana, se concluye que no todas las persona utilizan el celular mientras manejan, por lo que no se registran sus viajes en la base con el código generado. Se observó que el menor registro de viajes se identificó en la Floresta y Guápulo, con el 10% y 5% respectivamente, dado a las condiciones de la vía de estos accesos ya que su camino suele ser muy estrecho y es poco probable que personas que transiten por esos lugares realicen eventos mientras manejan. Además independiente de la cercanía de su destino, los usuarios se mueven por los 5 accesos. Hay que tomar en cuenta que los tiempos de viaje indicados anteriormente son independientes de la distancia del viaje del usuario, por lo que se debería realizar un análisis más profundo tomando en cuenta la distancia para así tener resultados más robustos.

Como se observó, en la mayoría de los casos, el menor tiempo de viaje entre los 5 accesos es el Túnel Guayasamín. Esto se debe a que existe el contraflujo en los horarios pico, de la mañana y de la tarde, además de la distancia corta que tiene el acceso al hipercentro de la ciudad. Se debe tomar en cuenta que en varios días, a las 06:00 de la mañana, se observó un tiempo de viaje mayor de 50 minutos. Esto se podría deber a que hay personas que viven en Cumbayá/Tumbaco y se movilizan al hipercentro antes de que inicie el pico y placa en la ciudad.

Es importante resaltar que los datos obtenidos para este estudio fueron del mes de septiembre del 2016, el cual en la ciudad de Quito, estaba en construcción el paso a desnivel en la Avenida Granados. Esto pudo haber generado un mayor tiempo de viaje en los usuarios que transitaban por esta zona en los horarios pico, y también hizo que varios usuarios opten por irse por otros accesos como El Inca o el Túnel Guayasamín. En este mes tampoco estaba habilitado el tercer carril del Túnel Guayasamín que se usa en horarios pico actualmente, ya que esta solución vial se habilitó a finales del mes de noviembre de ese año.

Se recomienda para mejorar el estudio y análisis de este trabajo se obtenga una base de datos del mes de septiembre de 2016 de la Agencia Metropolitana de Tránsito con los registros de todos los accidentes ocurridos durante ese mes. De

esta manera se puede determinar días que se haya obtenido tiempos de viaje más largos de lo normal, para así analizar las causas de estos tiempos atípicos. De igual forma se podría obtener datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, para obtener los datos de ese mes de los días que se registró lluvias, y analizar el impacto del clima frente al tiempo de viaje de los usuarios.

Para tomar en cuenta las distancias de los viajes realizados de los usuarios registrados durante el mes de septiembre, se recomienda delimitar varios polígonos circulares o rectangulares en las entradas del hipercentro de Quito por cada acceso. Con esto se llegaría a resultados más precisos, tomando en cuenta el lugar y distancia del origen y destino de los usuarios.

Finalmente, para dar mayor confiabilidad en los resultados, se recomienda el uso de ANOVA para identificar factores significativos en los viajes de los usuarios, es decir si todos los días se comportan de la misma forma, estadísticamente hablando, para así tener conclusiones y resultados más robustos. Sería útil tener datos de los últimos días del mes de septiembre, e incluso tener un mes adicional para así comparar los datos, sin embargo, hay que tomar en cuenta que con solo 24 días del mes de septiembre se tuvo una base con 319 millones de registros, el cual con un mes adicional podría duplicar la cantidad de datos.

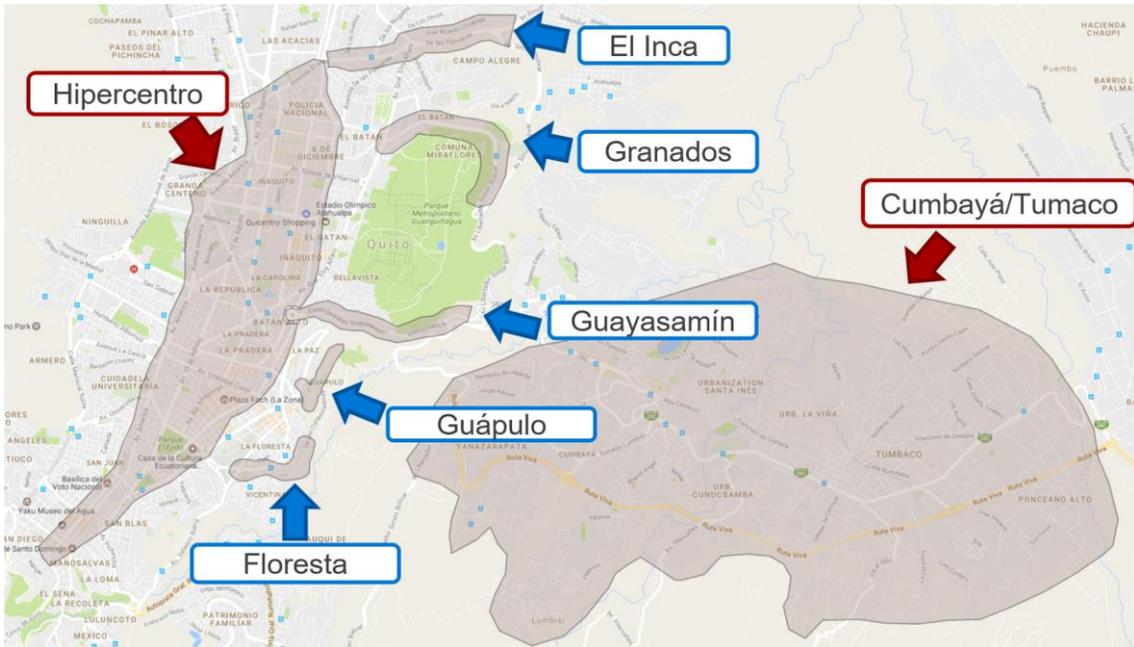
Referencias Bibliográficas

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014). World Urbanization Prospects. The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)
- [2] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC. (2016) Proyección de la Población Ecuatoriana, por años calendario, según cantones 2010-2020.
- [3] Secretaría de Movilidad. Diagnóstico de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito para el Plan Metropolitano de Desarrollo Territorial. (2014) Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- [4] Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira, J., & Ratti, C. (2013). Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation Research: Part C*, 26301-313. pp. 13.
- [5] Handy, S., 1996. Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior. *Transportation Research Part D* 1 (2), 151–165.
- [6] Anapolsky, S., Lang, C. Et. Al. (2014) Exploración y análisis de datos de telefonía celular para estudiar comportamientos de movilidad en la Ciudad de Buenos Aires. XVIII Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano (CLATPU). Argentina. pp. 14.
- [7] M.G. Demissie, “Combining datasets from multiple sources for urban and transportation planning: emphasis on cellular network data,” Ph.D. dissertation, Dept. Civil. Eng., Coimbra Univ., Coimbra, Portugal, 2014.
- [8] Çolak, S., Alexander, L. Et. Al. (2014) Analyzing Cell Phone Location Data for Urban Travel: Current Methods, Limitations, and Opportunities. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology. pp. 17.
- [9] Esposito F. 2009. Enabling Real-Time Business Intelligence: Third International Workshop, BIRTE 2009, Held at the 35th International Conference on Very Large Databases. Lyon, France, August 24, 2009.
- [10] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, ARCOTEL. (2016) Densidad de líneas activas y participación de mercado.
- [11] Demissie, M., Antunes, F. Et. Al. (2016) Inferring Passenger Travel Demand to Improve Urban Mobility in Developing Countries Using Cell Phone Data: A Case Study of Senegal, *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* Sept, 2016 13th International Conference on, pp. 13.
- [12] Pucci, P., Manfredini, F., Tagliolato, P. (2015) Mobile Phone Data to Describe Urban Practices: An Overview in the Literature. *PoliMI SpringerBriefs*.
- [13] Steenbruger, J., Borzacchiello, M. Et. Al. (2011) Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment: a

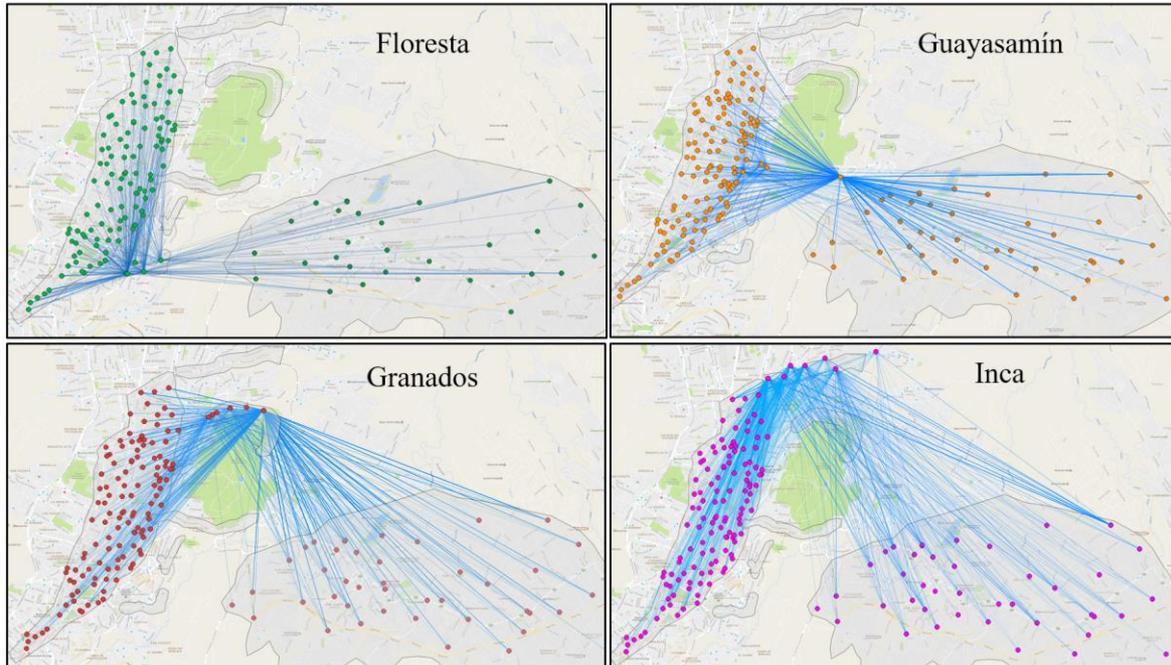
review of applications and opportunities. Department of Spatial Economics. VU University. Amsterdam, Netherlands.

- [14] Agencia Metropolitana de Tránsito, AMT (2016). Pico y Placa. Obtenido el 2 de Diciembre del 2016 de <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>.
- [15] Demissie, M., Antunes, F. Et. Al. (2016) Inferring origin-destination flows using mobile phone data: A case study of Senegal, Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2016 13th International Conference on, pp. 1-6.
- [16] Lindsey, M., Schofer, J., Durango-Cohen, P., Gray, K., 2011. The effect of residential location on vehicle miles of travel, energy consumption and greenhouse gas emissions: Chicago case study. *Transportation Research Part D* 16, 1–9.
- [17] Ahas, R.; Silm, S.; Jrv, O.; Saluveer, E.; and Tiru, M. (2010) Using mobile positioning data to model locations meaningful to users of mobile phones. *Journal of Urban Technology*, vol. 17, no. 1, pp. 3–27.
- [18] Berlingerio, M.; Calabrese, F.; Et. Al. (2015). AllAboard: a System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. Springer International Publishing. Ireland. pp. 4.
- [19] Subramanian, P.; Palaniappan, S. (2015). Telecom Data Integration and Analytics - Proposed Model to Enhance Customer Experience. *International Journal of Conceptions on Computing and Information Technology*. Malaysia University of Science and Technology. Malaysia. pp. 6.
- [20] Pithakkitnukoon, S.; Horanont, T.; Et. Al. (2013) Activity-Aware Map: Identifying human daily activity pattern using mobile phone data. Springer International Publishing. pp. 13.
- [21] Tiwarkhede, A.; Kakde, V. (2013). A Review Paper on Big Data Analytics. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. SGBAU Amravati University. India. pp. 4.
- [22] Sistema de Información Geográfica QGIS, (2017).
- [23] Minitab (2016). Medidas de la tendencia central (media, mediana, moda y media recortada). Obtenido el 11 de mayo del 2017 de <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/summary-statistics/measures-of-central-tendency/>.

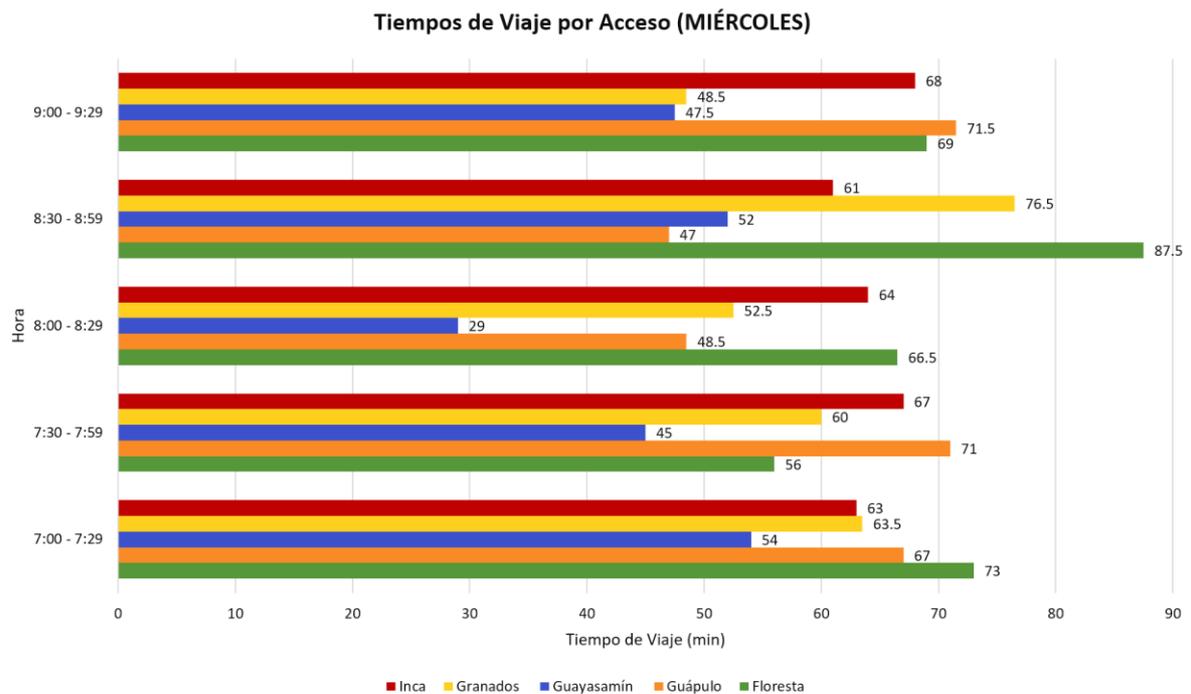
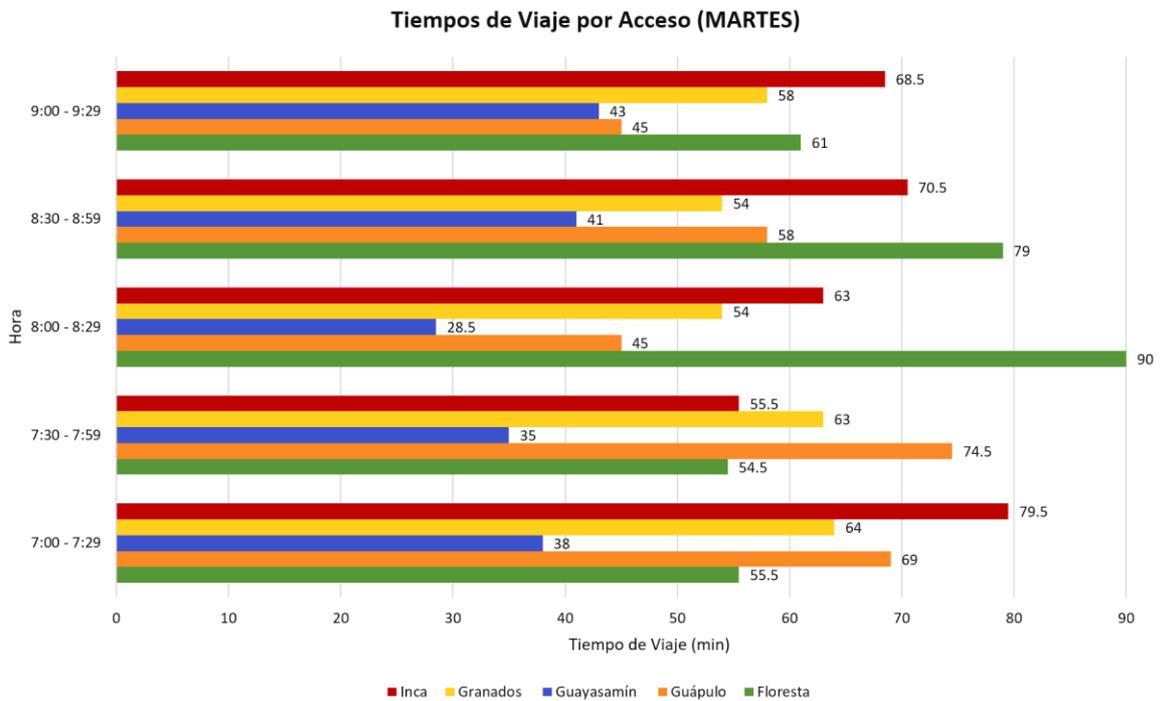
ANEXO 1: POLÍGONOS CREADOS DE CADA ÁREA



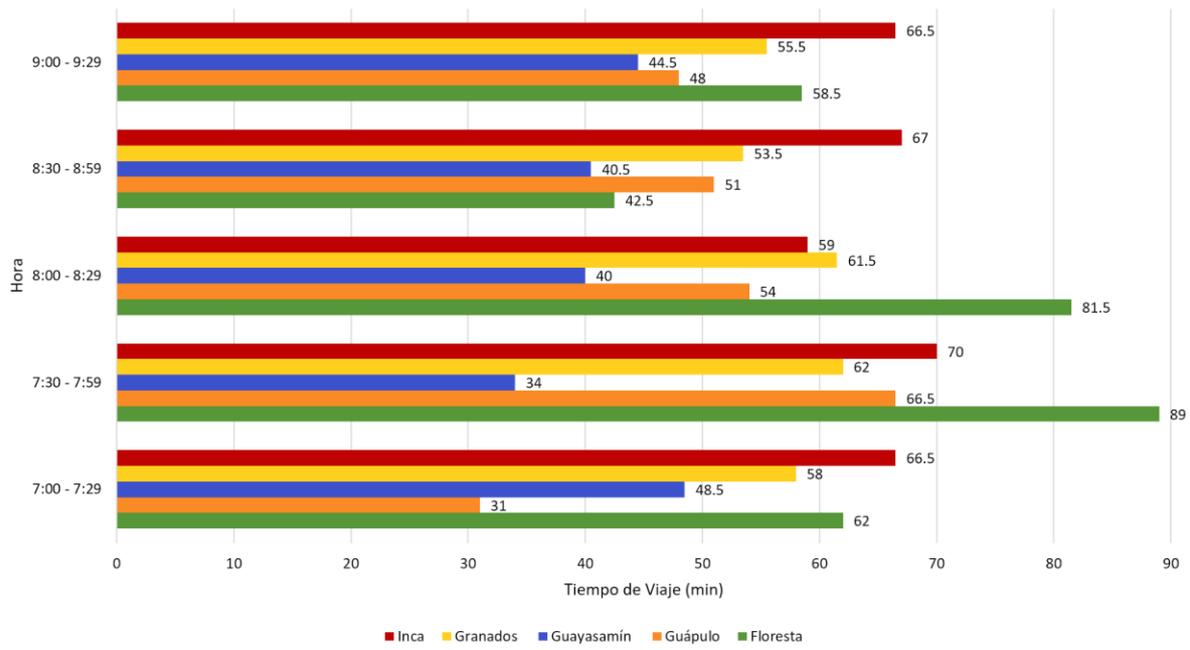
ANEXO 2: FLUJO DE VIAJES GENERADOS DE CUMBAYÁ/TUMBACO HACIA EL HIPERCENTRO DURANTE LA MAÑANA EN LOS DISTINTOS ACCESOS



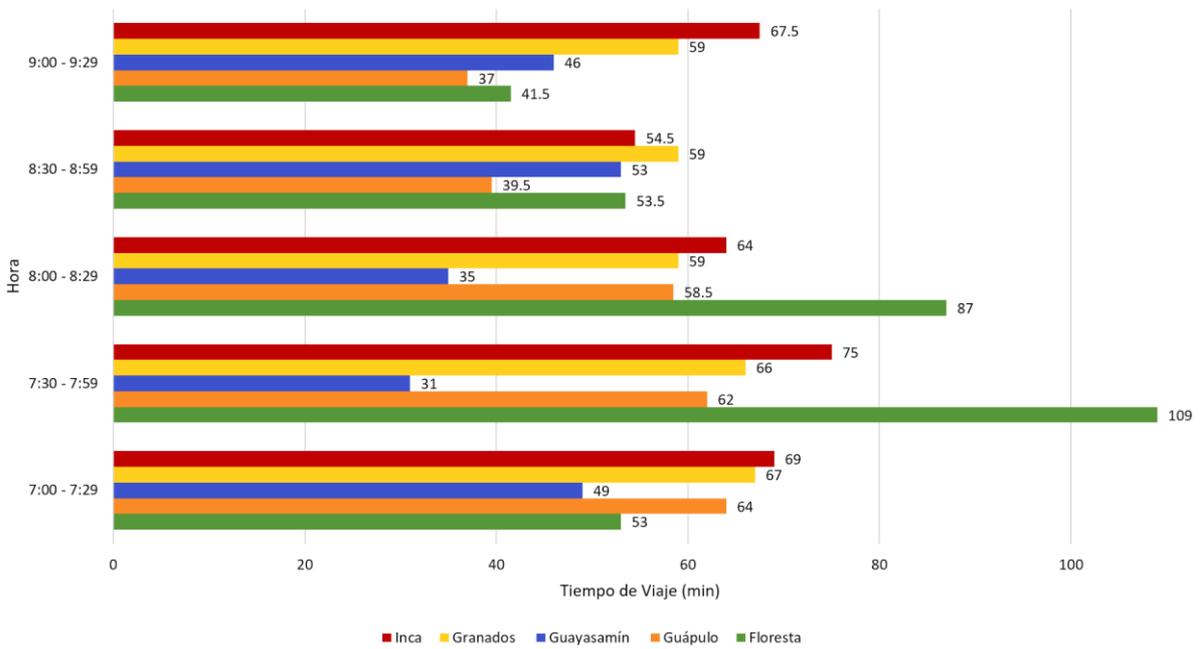
ANEXO 3: TIEMPO DE VIAJE EN LA MAÑANA POR ACCESO, POR DÍA DE MARTES A VIERNES



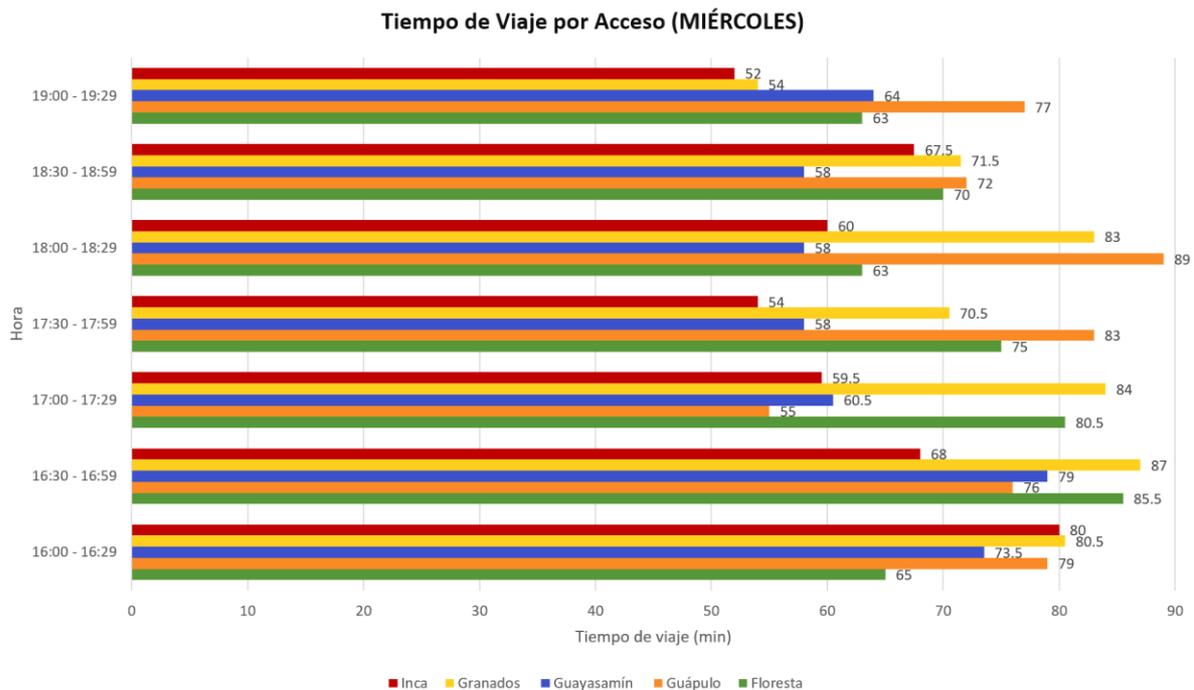
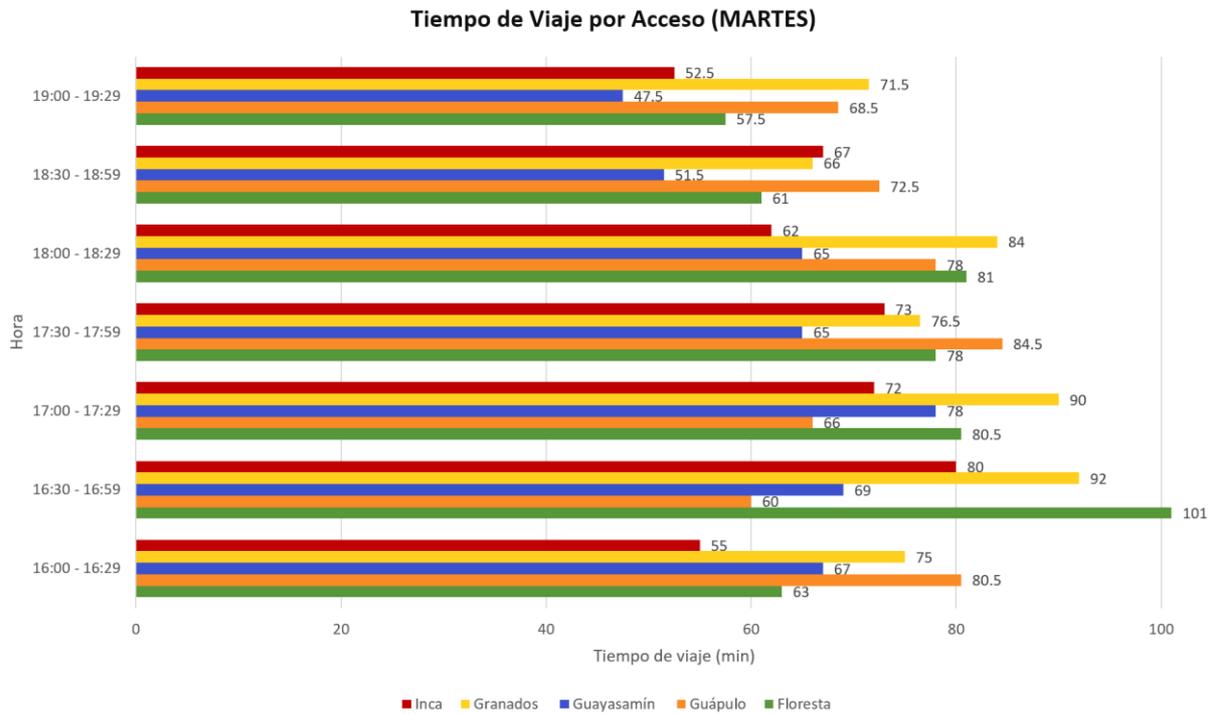
Tiempos de Viaje por Acceso (JUEVES)



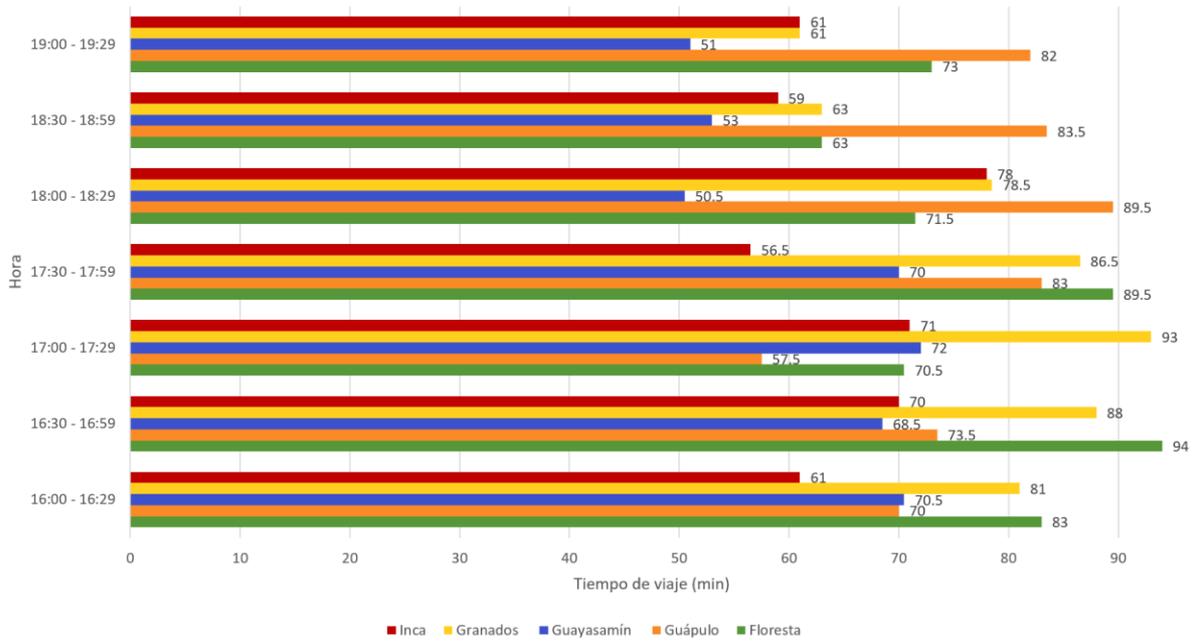
Tiempos de Viaje por Acceso (VIERNES)



ANEXO 4: TIEMPO DE VIAJE EN LA TARDE POR ACCESO, POR DÍA DE MARTES A VIERNES



Tiempo de Viaje por Acceso (JUEVES)



Tiempo de Viaje por Acceso (VIERNES)

