

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniero de Sistemas**

**TEMA:
ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES DE LAS UNIDADES EDUCATIVAS DEL
MILENIO (UEM) EN EL ECUADOR Y EL IMPACTO SOBRE EL ÍNDICE DE
POBREZA CONSIDERANDO LOS ACCESOS VIALES, VERSIÓN 2**

**AUTOR:
ANTHONY FABRICIO LOYAGA SUNTAXI**

**TUTOR:
GUSTAVO ERNESTO NAVAS RUILOVA**

Quito, marzo del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Anthony Fabricio Loyaga Suintaxi, con documento de identificación N° 1724600489, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: “ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES DE LAS UNIDADES EDUCATIVAS DEL MILENIO (UEM) EN EL ECUADOR Y EL IMPACTO SOBRE EL ÍNDICE DE POBREZA CONSIDERANDO LOS ACCESOS VIALES, VERSIÓN 2”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Anthony Fabricio Loyaga Suintaxi

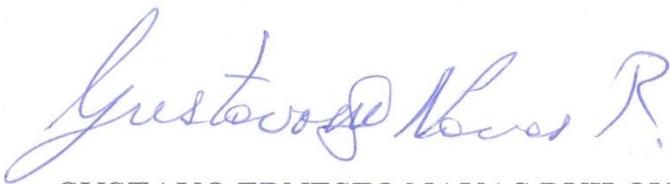
Cédula: 1724600489

Fecha: Quito, marzo del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES DE LAS UNIDADES EDUCATIVAS DEL MILENIO (UEM) EN EL ECUADOR Y EL IMPACTO SOBRE EL ÍNDICE DE POBREZA CONSIDERANDO LOS ACCESOS VIALES, VERSIÓN 2”, realizado por Anthony Fabricio Loyaga Suntaxi, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2020



GUSTAVO ERNESTO NAVAS RUILOVA

CI: 1705675625

Análisis de datos espaciales de las Unidades Educativas del Milenio (UEM) en el Ecuador y el impacto sobre el índice de Pobreza considerando los accesos viales, versión 2

Anthony Fabricio Loyaga Suntaxi ^{#1}, *Gustavo Ernesto Navas Ruilova* ^{#2}

*Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador*

¹ aloyagas@est.ups.edu.ec

² gnavas@ups.edu.ec

Resumen- Para resolver la problemática de desigualdad en la accesibilidad a la educación que enfrentaba el Ecuador a principios del siglo XXI, el país elaboró un proyecto educativo que le permitiera alinearse a la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas, con la intención de alcanzar a sectores históricamente marginados brindando una educación de calidad integral, transformando el modelo de instrucción unidocente al modelo de “Unidades Educativas del Milenio” (UEM). El objetivo de este estudio es comprobar si las UEM realmente se encuentran en los sectores donde existen altos índices de pobreza y cuál es su impacto, esto se realiza por medio de un análisis espacial considerando principalmente los accesos viales que conectan a los estudiantes con la institución. Las áreas de influencia serán elaboradas implementando diagramas de Voronoi apoyándose en el motor de software libre para base de datos PostgreSQL que estará alojado en la plataforma de servicios para computación en la nube de Google (Google Cloud Platform). De esta manera se conoce que el 96,05% de las UEM se asientan efectivamente en zonas que tienen un nivel de pobreza superior al 50%, además, incluyendo la vialidad en el análisis espacial, es posible obtener niveles más altos de precisión en los resultados.

Palabras Clave- Análisis espacial, diagramas de Voronoi, accesos viales, UEM, PostgreSQL, PostGIS., GCP, zonas de cobertura.

Abstract- To solve the problem of inequality in accessibility to education faced by Ecuador at the beginning of the 21st century, the country developed an educational project that allowed it to align with the United Nations Millennium Declaration, with the intention of reaching sectors historically marginalized providing comprehensive quality education, transforming the model of instruction linked to the model of "Millennium Education Units" (EMU). The objective of this study is to determine if EMUs are really in the sectors where there are high poverty rates and what is their impact, this is done through a spatial analysis considering mainly the road accesses that connect students with the institution. The areas of influence will be developed by implementing Voronoi diagrams based on the free software engine for PostgreSQL database that will be hosted on Google's cloud computing services platform (Google Cloud Platform). In this way it is known that 96.05% of EMUs are effectively based in areas that have a poverty level of more than 50%, in addition, including roadway in the spatial analysis, it is possible to obtain higher levels of accuracy in the results.

Keywords- Spatial analysis, Voronoi diagrams, road accesses, EMU, PostgreSQL, PostGIS., GCP, coverage areas.

1. Introducción

La obra emblemática del gobierno presidido por el Ec. Rafael Correa Delgado [1] tuvo su aparición en el año 2008 donde se inauguró la Unidad Cacique Tumbalá siendo la primera UEM en el país [2], [3].

La razón de ser de esta obra consistía en proporcionar infraestructura educativa necesaria para que los niños y jóvenes de los sectores abandonados del país puedan acceder a servicios de educación básica y bachillerato [4], [5].

Dentro de este proyecto se incluyeron también las denominadas “Unidades Educativas Réplicas” para responder a los sectores marginales de las ciudades, integrándose a este plan de mejora educativa [6].

Geográficamente los habitantes más beneficiados de las nuevas obras educativas eran aquellos que residían en sus alrededores, sin embargo, existen casos de estudiantes que provienen de comunidades aledañas, accediendo a estas instalaciones a través de la red vial ecuatoriana, como lo manifiesta Castillo y Moreto [7].

De esta manera, aparece la necesidad de incorporar esta variable al estudio, fundamentada en la importancia que representan las carreteras para interconectar a los estudiantes con las UEM. Así también lo considera Loyola y Albornoz [8], al enfatizar que la utilidad de las redes viales se basa en la movilidad, comunicación e intercambio de los grupos humanos, así como también, el impulso de actividades productivas, el comercio y acceso a servicios de salud y educación [9].

Para analizar el impacto de las UEM sobre las poblaciones con mayor índice de pobreza se usará el factor NBI, basado en las necesidades básicas insatisfechas de la población, elaborado por la CELAC, el cual, permite determinar la pobreza de una región a partir de cinco dimensiones: posibilidad de ingreso a educación básica, recursos económicos, acceso a servicios de agua potable, alcantarillado y luz eléctrica, vivienda y hacinamiento [10].

El organismo gubernamental encargado de mantener esta información en el Ecuador es el Instituto Nacional de Estadística y Censos [11], entidad donde se tabularon los datos del último censo del año 2010.

1.1. Investigaciones relacionadas

El crecimiento de los sistemas de información geográfica (SIG) han permitido que el análisis espacial pueda ser cada vez más preciso, y su aplicabilidad diversa [12]. Según una de las bases de datos bibliográfica más importante de la web, Scopus [13], los campos de investigación donde más utilizan este tipo de análisis son: ciencias de la tierra y planetaria (13.6%), ciencias ambientales (12.3%) y ciencias sociales (11,7%); siendo producidos principalmente por científicos de China y Estados Unidos [14].

Precisamente en las ciencias sociales, el análisis espacial se usa para estimar proyecciones demográficas, uso de suelo, economía, industrias, planificación urbana entre otras; a pesar de ello, no son suficientes los estudios que abordan el tema de

planificación urbana en relación a la ubicación de instituciones educativas y el impacto que tiene sobre la población [14].

De los pocos ejemplos que existen en este campo, la mayoría provienen de Asia, donde es posible encontrar un manual basado en GIS realizado por la Agencia técnica de cooperación RMSA-TCA [15], en el estado de Meghalaya, India, este instrumento permite identificar los lugares más pertinentes en los que podría residir un recinto educativo analizando factores como densidad poblacional, análisis de áreas de influencia, asociación y distribución espacial de las instituciones educativas, entre otros. Por otro lado, en el oeste de China, se realizó un análisis de redistribución de distritos escolares rurales [16], dónde implementaron un modelo de gravedad que categoriza el nivel de dificultad que tienen ciertas aldeas para acceder a instituciones de educación superior.

En el contexto ecuatoriano existe un primer acercamiento a través del estudio llevado a cabo por Navas et. al [5], donde se analiza la distribución espacial de las UEM y la zona de cobertura que estas tienen sobre el nivel de pobreza poblacional, utilizando polígonos regulares para la delimitación de las zonas de influencia, que, según Bunzai [17] tomando el estudio de Hagget [18], son más eficaces que los polígonos irregulares al momento de segmentar superficies en relación a los diferentes centros existentes.

Además, según Bunzai [17], la importancia de la distribución espacial dentro del análisis geográfico tiene mayor utilidad al empezar una investigación, siendo clave la comparación de resultados a través de diferentes formas de segmentar las áreas de estudio.

Existen varios métodos que permiten definir las áreas de cobertura, sin embargo, no todas son realmente fáciles de aplicar porque tienden a utilizar funciones matemáticas complejas como lo manifiesta Rezende [19], entre los más comunes, según Gómez [20] se encuentran las áreas circulares, áreas isócronas, áreas empíricas, modelos de gravitación comercial, diagramas de Voronoi y modelos de interacción competitiva.

Debido al avance en los sistemas computacionales [19], métodos como los diagramas de Voronoi pueden ser aplicados en varias áreas de estudio, así se puede encontrar este método en investigaciones como [21], [22], [23], [24], que profundizan su usabilidad en las áreas de química, ciencias sociales, física y genética.

1.2. Utilidad de los diagramas de Voronoi en el análisis espacial

La significación de utilizar diagramas Voronoi en el análisis espacial se debe a que presenta propiedades para describir la relación espacial entre objetos (interacción espacial), que en un escenario de análisis real son de forma adyacente disjunta [25], también permiten resolver varios problemas de proximidad, movimiento libre de colisión (Collision-free Moving), anticentros y detección de puntos más lejanos [26].

Para representar estas formaciones en N objetos espaciales (puntos geográficos), deben generarse N

polígonos de Voronoi que delimitan cada objeto, donde el número de lados de este polígono es de acuerdo al número de vecinos más cercanos, generando consecuentemente un buffer que contiene el área de influencia entorno al objeto. Como se puede observar en la Figura 1, los vecinos más cercanos al punto F son E, D, G, I, J; formando un polígono de 5 lados los cuales comparte con cada uno de sus vecinos, de esta manera, se denomina relación adyacente de Voronoi a la relación entre los objetos que comparten el borde común del polígono de Voronoi [27].

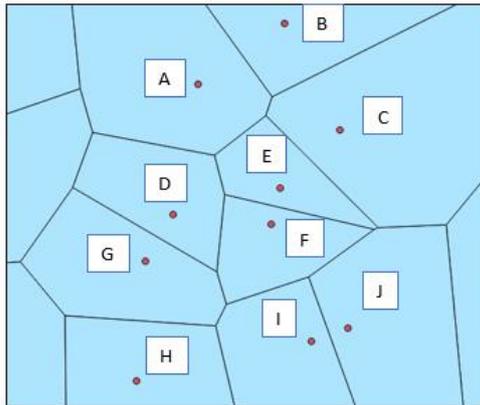


Figura 1. Ejemplo de Diagrama de Voronoi.

2. Materiales y Métodos

La metodología de trabajo aplicada en esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, el cual, a través de un análisis estadístico explicará el impacto que tienen las áreas de influencia de cada Unidad Educativa del Milenio. La metodología consiste en una abstracción de la utilizada por la RMSA-TCA [15] (Determinación de las áreas de influencia con polígonos de Voronoi) y la descrita en el estudio de Navas et. al, [5] (Estimación de la pobreza de cada UEM a través de una ecuación de ponderación).

Para ello se dividirá el procedimiento en dos fases:

1) Recolección y depuración de datos geográficos primarios, y 2) Geoprocesamiento de los datos geográficos.

2.1. Recolección y depuración de datos geográficos

La información utilizada es proveniente de las entidades gubernamentales del Ecuador encargadas del manejo de datos geográficos y estadísticos presentados a través de sus geoportales y/o sitios web oficiales.

Esta información se ha almacenado en una base de datos PostgreSQL incorporada en la plataforma de Google, Google Cloud Platform, aprovechando la potencia de su infraestructura para realizar posteriormente el geoprocesamiento de esta información [28].

2.1.1. Datos geográficos de las UEM

La fuente usada para la recolección de datos geográficos de las UEM fue el geoportal del Ministerio de Educación [29], donde se encuentra alojada la información geográfica de 76 UEM registradas. La

claridad con la que se encontraban los datos facilitó continuar con el proceso sin realizar una depuración extensa.

El conjunto de datos de las instituciones se presenta en formato ShapeFile, con campos que detallan el nombre, provincia, cantón, zona y coordenadas geográficas de las instituciones educativas, estas últimas estaban comprendidas dentro del sistema de referencia geográfica UTM zona 17S en el Datum WGS84 correspondiente al código EPSG/SRID 32717 [30].

2.1.2. Datos geográficos de la división política del Ecuador

Esta información fue accedida también a través del INEC, en su apartado “Clasificador Geográfico Estadístico” [31], es posible encontrar la última actualización de la división político administrativo presentado el 2012. Estos documentos se encontraron en formato ShapeFile igualmente con un identificador EPSG/SRID 32717.

2.1.3. Datos geográficos de la red vial ecuatoriana

En el geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM) es posible acceder a datos geográficos de aeropuertos, islas, lagos o lagunas, poblados, represas, ríos, líneas de ferrocarriles y vías. Permite el libre acceso a todos estos datos, sin embargo, el sistema de referencia en el que se encuentran es el EPSG/SRID 4326 que concierne al convencional sistema WGS84.

La incorporación de los datos geográficos de las UEM, división política del Ecuador, y la red vial ecuatoriana se realizaron a través del módulo de PostGIS para la exportación e importación de archivos tipo ShapeFile, aunque también es posible usar SPIT, herramienta de QGIS, que admite importar datos en formato ShapeFile en una base de datos PostgreSQL [32].

En el caso de la red vial es necesario cambiar el sistema de referencia por los inconvenientes de coherencia topológica que suelen presentarse al momento de procesar esta información en sistemas de referencia diferentes [33]. De esta manera, para transformar del EPSG 4326 al EPSG 32717 se creó otra tabla con la operación ST_Transform para que se realice el cambio:

```
CREATE TABLE vias_ecuador AS
SELECT gid, f_code, tipo, transitabl,
ST_Transform(geom_vias,32717) as geom_vias
FROM public.vias;
```

2.1.4. Datos estadísticos de pobreza en el Ecuador

En el portal web del INEC se encuentran los datos depurados del nivel de pobreza organizado por provincias, cantones y parroquias en un archivo formato XSL [11].

Para este estudio se seleccionó la información tabulada por parroquia, contemplando información referente al código de parroquia, cantidad de personas

consideradas pobres, cantidad de personas no pobres, y el nivel de pobreza de la parroquia.

Para facilitar la importación de los datos fue necesario convertir el documento en formato CSV y usar el siguiente comando en la consola de PostgreSQL.

```
COPY public.pobreza FROM
[ubicación_del_archivo]';
```

Los datos de pobreza fueron integrados a los datos que contiene la información geográfica de cada parroquia (descritos en el paso 2). De esta manera, es posible visualizar en la Figura 2, el nivel de pobreza en el Ecuador distribuido por parroquia.

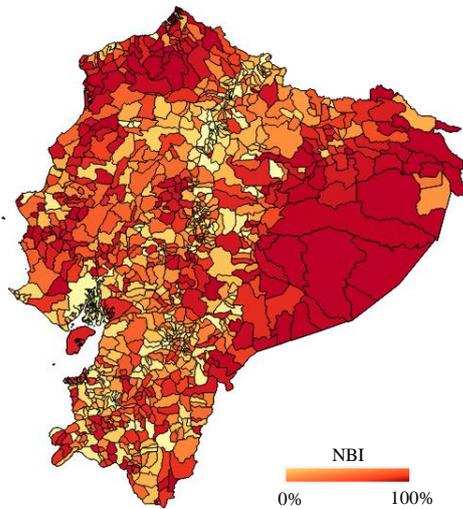


Figura 2. Mapa de pobreza del Ecuador por parroquias según el indicador NBI [31], [11].

2.2. Geoprocesamiento de datos geográficos

En esta sección se describirá los pasos necesarios para desarrollar los dos principales *DataSets*, el primero tendrá datos geográficos de las instituciones educativas y los resultados del geoprocesamiento se irán apilando en las mismas tablas, incrementando nuevas columnas para cada capa, el segundo utilizará el mismo proceso de apilamiento como nuevas columnas para las capas resultantes de los datos geográficos de la red vial del Ecuador. Una vez obtenido los resultados de estos dos conjuntos de datos se procederá relacionarlos a través de operaciones de intersección los cuales arrojarán un conjunto de polígonos entrelazando las vías aledañas a las UEM siendo limitadas por las áreas de cobertura desarrolladas con Voronoi, para posteriormente estimar la ponderación estadística del nivel de pobreza que cubre estos recintos educativos.

2.2.1. Segmentación del plano ecuatoriano con diagramas de Voronoi

En esta ocasión es necesario contar con el polígono que describa el límite político de la región ecuatoriana. Existe una aproximación que tiene estas características en el geoportel del IGM, sin embargo, las presenta el perímetro del Ecuador de forma separada, por un lado, el límite continental y por el otro el límite costero. Es

posible utilizar estas dos fuentes de datos y procesarlas hasta obtener un polígono que represente la región ecuatoriana, pero, existe el inconveniente de que al rivalizar el mapa de las parroquias con los límites costero y continental no se consideren algunas islas, otro inconveniente se presenta en el nivel de precisión del polígono en relación a los golfos y bahías (véase Figura 3).

Por esta razón se prefirió utilizar la operación “Union” para convertir el conjunto de parroquias en una sola geometría de tipo *MultiPolygon* [34], este campo será la base para construir el conjunto de polígonos de Voronoi, para ello se crea una tabla auxiliar que permita almacenar el resultado de esta operación, cabe recalcar que esta operación solo involucra a la zona continental ecuatoriana excluyendo a las Islas Galápagos:

```
CREATE TABLE
ecuador_aux_lim_parroquias
AS SELECT st_union(geom) as geo_limites
FROM public.mapa_pobreza;
```

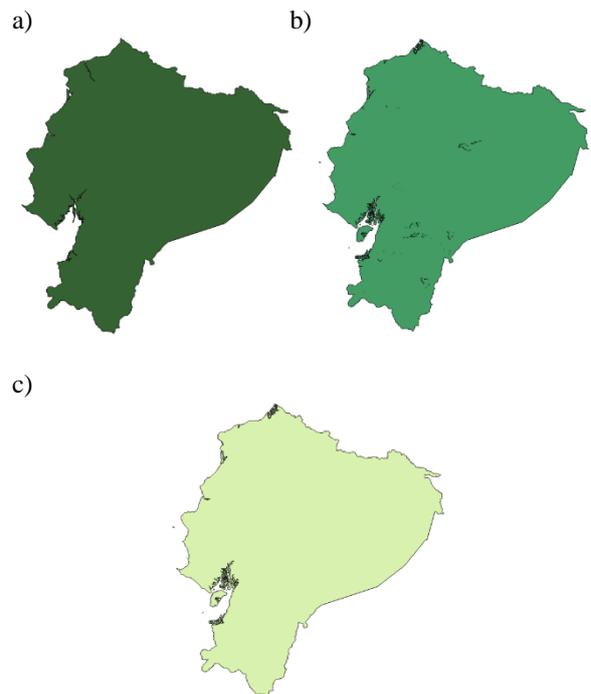


Figura 3. Límite del Ecuador conformado por: a) Límite costero y continental b) Resultado de la unión de parroquias c) Depuración del resultado de unión de parroquias.

Para eliminar los residuos que se generan al unir las parroquias, hay que construir el área con el contorno exterior del polígono formado a través de la separación de todos los componentes residuales almacenados en el campo *geo_limites* de la tabla *ecuador_aux_lim_parroquias*, de esta operación se obtiene un polígono que contiene el límite político del Ecuador que se almacenará en la tabla *ecuador_limite*. En la Figura 3, se visualiza los diferentes resultados encontrados durante la creación de un polígono general.

```
CREATE TABLE ecuador_limite AS
SELECT ST_BuildArea (ST_LineMerge
(ST_Collect (ST_ExteriorRing (geo_limites)))) AS
geom_area_limites FROM ( SELECT ( ST_Dump(
geo_limites)).geom As geom_limites FROM
ecuador_aux_lim_parroquias) As ealp
```

La segmentación de los diagramas de Voronoi se realizó a partir de los puntos referentes a la posición de cada UEM con el siguiente conjunto de operaciones:

```
CREATE TABLE uems_voronoi AS
SELECT I as gid, (ST_Dump
(ST_CollectionExtract
(ST_VoronoiPolygons(geom), 3))),geom As
geom_voronoi_uems
FROM (SELECT ST_Collect(coordenada_uem) as
geom FROM public.uems) As geom;
```

El identificador de cada UEM no pudo ser implementado en esta tabla auxiliar por el tipo de operaciones que se utilizó (combinación de *ST_VoronoiPolygons*, *ST_CollectionExtract*, *ST_Dump*), incidencia que se solventó comprobando a través de la operación “*ST_Contains*”, permitiendo distinguir el área que encierra cada coordenada geográfica de las UEM [34].

```
UPDATE uems_voronoi
SET gid=subquery.gid
FROM (SELECT gid, coordenada_uem
FROM uems ) AS subquery
WHERE ST_Contains(geom_voronoi_uems,
subquery.coordenada_uem)=TRUE;
```

Una vez asignado los identificadores de cada UEM se prosiguió a combinar los polígonos de los diagramas de Voronoi con cada UEM en una nueva tabla denominada *cobertura_voronoi_uem*, así, en la Figura 4 se distingue el área correspondiente a cada institución educativa de acuerdo a Voronoi.

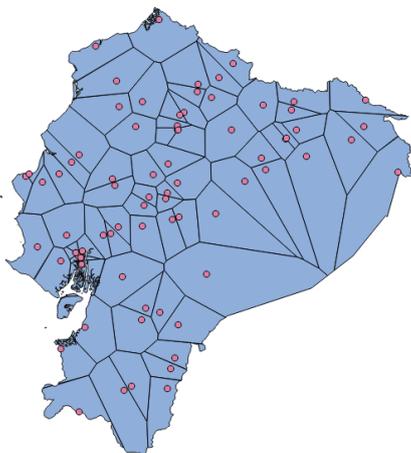


Figura 4. Área de cada UEM segmentado con diagramas de Voronoi.

La geografía del Ecuador (constituida en tres regiones continentales costa, sierra y oriente), influye directamente en la ubicación y disposición que tienen

algunas unidades educativas del milenio, por ejemplo, la UEM “Tarqui” ubicada en la provincia de Pastaza tiene una cobertura teóricamente correcta de acuerdo a los polígonos de Voronoi, sin embargo, esta cobertura abarca casi la mitad de la provincia. Esta situación se presenta a menudo en los análisis de geomarketing, en los cuales utilizan los vértices más alejados del punto de referencia del polígono para estimar la creación de nuevas sucursales, debido a los bajos niveles de afluencia [35]. Por esta razón y de acuerdo a Huistrón [17], citado por Navas [5], se procedió a delimitar estas zonas con un área circular desestimando los vértices más alejados del polígono de Voronoi de cada UEM.

Según el estudio de Rodríguez [36], existen casos de beneficiados que viven en la misma comunidad donde se encuentra ubicada la UEM, a ellos les toma entre 5 a 40 minutos llegar caminando a la institución. Por otro lado, existen estudiantes que residen en comunidades vecinas, que se encuentran entre 10 y 20 km del recinto escolar [7], [37], de esta manera el gobierno nacional incorporó el servicio de transporte escolar que ayuda también a los docentes para llegar a su sitio de trabajo. En base a estas premisas el autor estimó necesario considerar un radio de 20 km para las áreas circulares que intersecan los diagramas de Voronoi de cada UEM véase en la Figura 5.

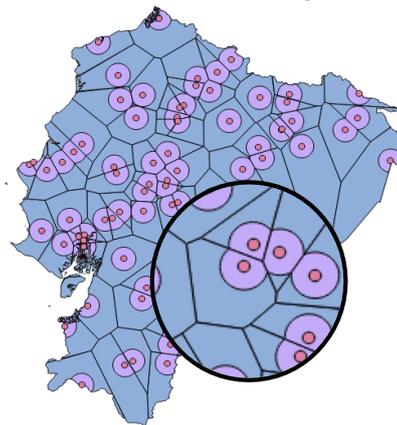


Figura 5. Intersección de polígonos de Voronoi de cada UEM con Buffer de 20 km.

2.2.2. Geoprocusamiento de los accesos viales

El geoprocusamiento de la red vial ecuatoriana consistió en generar un perímetro alrededor de las carreteras que signifiquen las zonas con más probabilidad de uso. Para ello se creó un buffer lineal de la distancia máxima que un estudiante puede llegar a caminar hacia la vía más cercana.

Para determinar la distancia proporcional de cobertura a los lados de la carretera se utilizó como base la investigación de Castillo [7] donde menciona casos de estudiantes de las UEM que caminan hasta 30 minutos para alcanzar la vía que le permita acceder a un medio de transporte que le dirigiese al recinto escolar. Si se toma en consideración que la velocidad media de caminata para un adulto es de 5 Km/h establecida por la ACSM [38], se podría determinar que

un adulto podría recorrer una distancia aproximada de 2,5 km en 30 minutos.

Sin embargo, en el caso de estudio no se cuenta con un fundamento teórico preciso que determine cuanto podría recorrer un estudiante, a partir de ello, el autor estableció una aproximación empírica de 2 km teniendo en consideración que el sujeto de observación no es un adulto, además, existen implementos escolares (mochila, cuadernos, lonchera) que el estudiante lleva consigo.

```
ALTER TABLE vias_ecuador ADD COLUMN
geom_buffer_vias geometry;
UPDATE vias_ecuador
SET geom_buffer_vias=subquery.buffer
FROM (Select ve.gid, ST_Buffer( geom_vias, 2000,
'endcap=round join=round') as buffer from
public.vias_ecuador as ve) AS subquery
WHERE vias_ecuador.gid=subquery.gid;
```

La información geográfica utilizada no estipula los nuevos accesos viales de las UEM creadas a la par con la infraestructura del centro educativo, por lo cual se consideró a la distancia euclidiana más corta entre la UEM y el segmento de la red vial ecuatoriana como la ruta más adecuada de acceso. Estas líneas se crearon y se actualizaron dentro de la misma tabla perteneciente a la información de cobertura de cada UEM.

2.2.3. Integración de la red vial combinando el área de influencia de las UEM

Para completar la generación de los polígonos de cobertura de las UEM se necesitó unir los segmentos viales contenidos en las áreas generadas con Voronoi de cada institución educativa como se puede visualizar en la Figura 6.

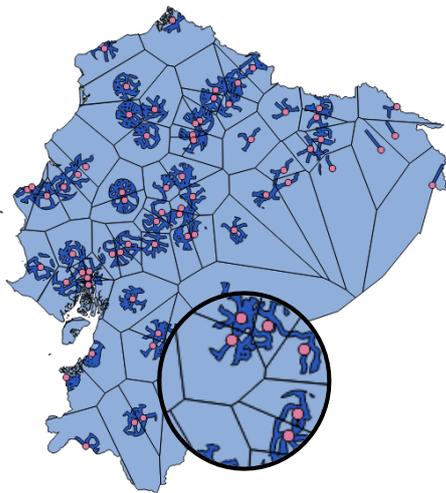


Figura 6. Área de cobertura de cada UEM a través de sus accesos viales.

2.2.4. Cálculo del área de influencia de cada UEM sobre el índice de pobreza

Para determinar el valor correspondiente al impacto de las UEM sobre el índice de pobreza es necesario utilizar

la información del área de influencia final (resultado del paso anterior) y los valores de pobreza por parroquia que se integraron en el paso 2 de la primera fase, para ello, es necesario realizar el procedimiento descrito por Navas et. al, [5], el cual a través de la fórmula (1) de ponderación de un grupo de datos X_1, X_2, \dots, X_n considerando una serie de coeficientes, denominados pesos W_1, W_2, \dots, W_n se puede determinar el nivel de pobreza ponderada de cada polígono irregular [39].

$$\bar{X}_w = \frac{(w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_nX_n)}{(w_1 + w_2 + \dots + w_n)} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que el área de cobertura de cada UEM converge en una o más parroquias es necesario estatuir el área de los segmentos que intersecan con la parroquia correspondiente para asignarle el valor de pobreza que comprende ese segmento, de esta forma se va definiendo los niveles de pobreza de cada parcela acumulándose para determinar el valor ponderado de pobreza que cubre cada Unidad Educativa del Milenio. Por consiguiente, se define la ecuación (1) de la siguiente manera en PostgreSQL/PostGIS:

```
SELECT u.nam,
(sum((st_area(st_intersection(mp.geom,u.geom_areas_vias_min_line)))/st_area(u.geom_areas_vias_min_line))*mp.p_pobres)/(sum(st_area(st_intersection(mp.geom,u.geom_areas_vias_min_line))/st_area(u.geom_areas_vias_min_line))) as
media_ponderada_area_accesos from
"mapa_pobreza" mp, "cobertura_voronoi_uem"u
GROUP BY u.nam
ORDER BY u.nam
```

3. Resultados

En el proceso de creación de las áreas de influencia de cada UEM a través de la metodología planteada se detectó que en unidades educativas situadas en el nororiente ecuatoriano no tenían el estilo de polígonos irregulares presentes en el resto de casos, sin embargo, al examinar detenidamente las capas superpuestas comparando los polígonos de cobertura de cada UEM y la red vial, se encontró que estos polígonos tenían relación directa al segmento de acceso (línea con menor distancia de la carretera más cercana a la UEM) con la carretera, por lo tanto, cumplían con los criterios planteados inicialmente. De este modo se encuentra que 73 de las 76 instituciones educativas superan el 50% del nivel de pobreza.

Siendo únicamente las Unidades Educativas “Réplica Vicente Rocafuerte”, “Réplica 28 de Mayo”, “Réplica 28 de Mayo” los 3 casos que no superan el punto medio con un porcentaje de 47.13%, 48.5% y 48.91% respectivamente.

En el estudio realizado por Navas et. al [5], se tenían 53 UEM registradas en el geoportal del Ministerio de educación, actualmente llegan a 76, incorporándose 23

nuevas instituciones educativas. En la tabla 1, se encuentra el análisis de cobertura a partir de áreas circulares con radios de 5 km, 10 km y 20 km, a la que se aumenta en la cuarta fila, datos obtenidos con áreas considerando los accesos viales.

Tabla 1. Métodos de cobertura (circulares y considerando accesos viales) vs. Cuantiles de índice de pobreza según el indicador NBI

Área de cobertura	Índice Pob. 0 - 25 %	Índice Pob. 25 - 50%	Índice Pob. 50 - 75%	Índice Pob. 75 - 100%
5 km de radio	0	1	22	53
10 km de radio	0	10	17	49
20 km de radio	0	1	22	53
Con carreteras	0	3	23	50

Los índices de pobreza de los estudiantes que pertenecen a las UEM considerando los accesos viales, alcanza resultados muy cercanos a los que se estimó con áreas circulares de 5 y 20 km, los mínimos cambios están presentes en la reducción un 5% en el cuartil 4 (rango entre 75% y 100%), el aumento de 1% en el cuartil 3 (rango entre 50% y 75%), y el aumento de 3% en el cuartil 2 (rango entre 25% y 50%), y en el caso del cuartil 1, al igual que en los otros estudios, no se encontró presencia de UEM que cubran estos niveles de pobreza bajos. La tendencia al igual que en los otros tres tipos de análisis apuntan a que las UEM están presentes en poblaciones donde existen problemas socioeconómicos altos como se puede visualizar en la Figura 7.

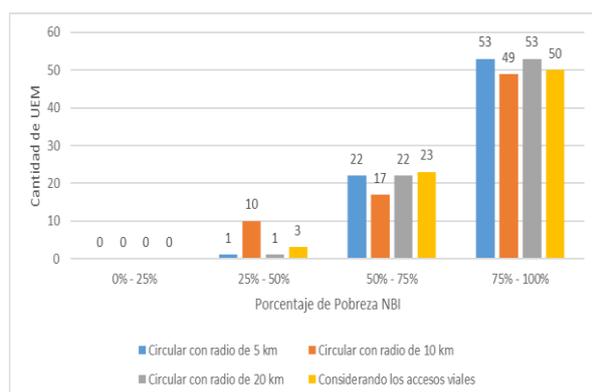


Figura 7. Comparativa de porcentajes de UEM en rango de pobreza [5].

Por encontrarse mayor presencia de cobertura en los niveles de pobreza superiores a la media, se profundiza el análisis en los cuantiles 4 y 3, este rango comprendido desde el punto medio hasta el máximo nivel de pobreza se segmentará en razón de 10% categorizando los quintiles de forma descendente: “muy alta (90 - 100%), alta (80 - 90%), media (70 - 80%), media baja (60 - 70%) y baja (50%-60%)” [5].

Destacando que los niveles de pobreza en la cobertura considerando los accesos viales están por encima de la media en las categorías: “baja (+2,33), media baja (+2), alta (+3), muy alta (+0,33) y por debajo solo la categoría media (-2,33).

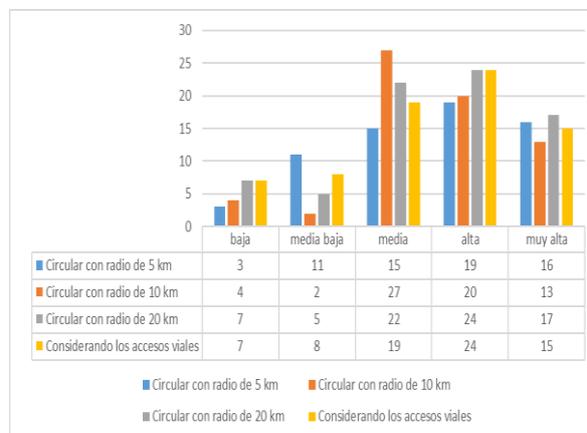


Figura 8. Categorización de UEM en quintiles de 10% [5].

Entre las instituciones que tienen un mayor impacto frente al nivel de pobreza son: UEM Chontapunta, UEM Cuyabeno, UEM Nuevo Rocafuerte, con porcentajes de pobreza de 99.7%, 98.7%, y 98.2% respectivamente; y en el otro extremo, la Unidad Educativa Réplica 28 de Mayo, Unidad Educativa Réplica 24 de Mayo y Unidad Educativa Réplica Vicente Rocafuerte, que alcanzan un nivel de pobreza de 48.9%, 48.5% y 47.5% respectivamente.

Continuando el análisis particular de cada UEM, en la Figura 9 se puede notar los cambios que tienen posicionalmente algunas instituciones en comparación al estudio de áreas circulares. La mediana ahora ya no se encuentra ubicada en la UEM de Paiguara (76,65%), sino que la comparten la UEM Victoria Del Portete y la UEM Simon Plata Torres con un valor de 80,46% (diferenciándose en 4,01%). Así mismo, la media aritmética cambia pasando de 74,29% a 78,33%, lo que significa que 43 UEM están por encima de la media.

4. Discusión y Conclusiones

Teniendo en cuenta la necesidad que sugiere Bunzai [17], al emerger un estudio de este tipo, contrastar y validar diferentes metodologías de aplicación permite visualizar el contexto real en el que se encuentra el área de estudio.

Existen grandes acercamientos entre los resultados del estudio elaborado el 2019 por Navas et. al [5] y el presente estudio, resaltando fundamentalmente la similitud de los resultados en el nivel de pobreza que enfrentan las UEM, ya que el 96.05% de las instituciones se ubican en lugares donde el índice NBI sobrepasa el 50%, especialmente en zonas con pobreza media, alta y muy alta.

La ventaja de implicar la variable de vialidad para la creación de zonas de influencia delimitado con polígonos de Voronoi permitió generar resultados con mayor precisión que los creados con áreas circulares,

evidenciado a través de la relación existente entre el nivel más alto y más bajo de pobreza, encontrándose así a la UEM de Chontapunta con un nivel de cobertura de pobreza de 99,72% y la UE Replica Vicente Rocafuerte con 47,13% (Rango de 52,6%), en comparación a la investigación aplicando áreas circulares para determinar las zonas de influencia que presenta la UEM de Chontapunta con un nivel de cobertura de pobreza de 99,61% y la UE Réplica Montúfar con 34,16% (Rango de 61,1%). Si bien no existe gran variación entre estos dos tipos de generación de áreas de cobertura (áreas circulares vs. Áreas considerando los accesos viales), es propicio mencionar que, en este estudio prácticamente todas las UEM cubren más del 50% de pobreza, y las que no lo hacen, están muy cercanas a este valor (en total 3: 48.9%, 48.5% y 47.5%); contrariamente al aplicar polígonos circulares se llega a considerar valores muy alejados de la media como el caso de la UE Réplica Montúfar que tiene un impacto de 34,16%.

Existieron algunos cambios de posición de UEM con niveles bajos de cobertura de pobreza, encontrándose mayoritariamente en este sector las denominadas “Unidades Educativas Réplicas”. Estas instituciones también forman parte del proyecto “Unidades Educativas del Milenio”, no obstante, su creación tiene otros objetivos específicos, ya que su localidad no siempre es una zona rural, sino que brindan servicios a las ciudades donde la demanda estudiantil lo amerita. Por eso es que dentro del análisis espacial se visibiliza un menor impacto frente al nivel de pobreza [6].

En el geoprocesamiento de las regiones de influencia de cada UEM elaboradas con los polígonos de Voronoi demostró que alrededor de la región sierra y costa se concentran más instituciones educativas, específicamente en Manabí, Pichincha y Guayas.

La utilidad de los vértices generados por la intersección de polígonos de Voronoi posibilitará en investigaciones futuras, analizar ubicaciones estratégicas para la creación de nueva infraestructura educativa en base a la distribución espacial de las UEM existentes. Por ello es de gran importancia la depuración previa del límite político de la región ecuatoriana que se implementó en esta investigación.

Según el informe de resultados educativos 2017 – 2018 elaborado en el gobierno actual, la tasa de asistencia en educación básica mejoró, pasando del 87,9% al 94,5%; y, en el caso del bachillerato, se notó un cambio aún más impactante, ya que escaló 97,5 puntos porcentuales [40]. A pesar de ello, existen algunas opiniones y estudios que destacan más los problemas que se han desarrollado durante la existencia de las UEM, uno de ellos, por ejemplo, es la incapacidad de implementar medidas acordes a la realidad de las nacionalidades indígenas, elaborando mallas curriculares deficientes en el modelo de educación intercultural bilingüe como lo manifiesta Miño y Monge [41].

Sin duda, emplear recursos en temas de educación puede llegar a ser una buena estrategia que deberían ejercer los gobiernos de turno, realmente pensando en los futuros beneficiarios, apuntalando proyectos que muestran síntomas de progreso y beneficios a la población, es decir, rescatar las buenas ideas en favor de nuestros niños niñas y adolescentes.

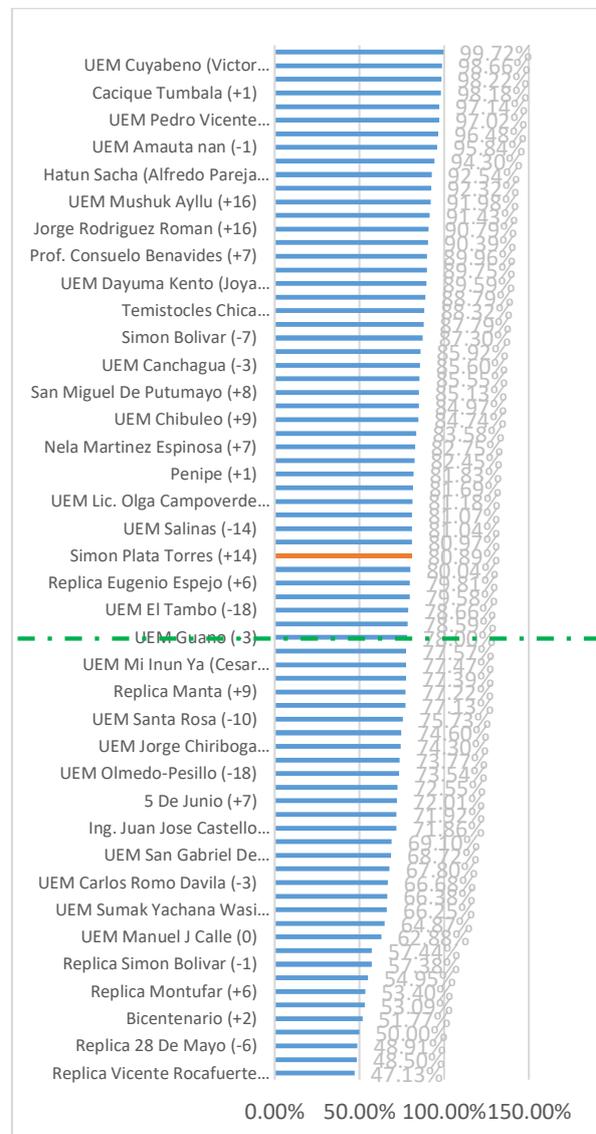


Figura 9. Lista ordenada de las UEM según el índice de pobreza [5].

5. Referencias

- [1] G. Cevallos, V. Ficooseco, and E. Couto, “The presence on facebook of the ‘Millennium Educational Units’ (UEM-Ecuador),” *Prax. Educ.*, vol. 22, no. 1, pp. 51–63, Apr. 2018, doi: 10.19137/praxiseducativa-2018-220105.
- [2] El Comercio, “Cacique Tumbalá acoge a 900 niños,” *El Comercio*, 30-Mar-2010.
- [3] E. del P. Calderon Paredes, “Educación para el buen vivir: alcances y limitaciones,” 2014.
- [4] Ministeriod de Educación, “Unidades Educativas del Milenio,” 2019. [Online].

- Available: <http://bit.ly/362BqEy>. [Accessed: 18-Jul-2019].
- [5] G. E. Navas Ruilova, R. Llerena Paz, and F. Vaca, "Análisis espacial de las unidades educativas del milenio en el Ecuador y su cobertura en zonas de pobreza.," *La Granja*, vol. 30, no. 2, pp. 121–133, Aug. 2019, doi: 10.17163/lgr.n30.2019.10.
- [6] Ministerio de Educación, "Proyecto emergente de Unidades Educativas del Milenio y Establecimientos Réplica," *Administración escolar*, 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/2R2nWV2>. [Accessed: 15-Jan-2020].
- [7] L. Castillo and M. Moreto, "Expectativa y preocupación por las unidades del Milenio," *El Comercio*, 2017.
- [8] C. Loyola Gómez and E. Albornoz Del Valle, "Flujo, movilidad y niveles de accesibilidad en el centro de Chillan año 2007. propuesta de mejoramiento mediante SIG Flow, mobility and levels of accessibility in the city centre of Chillan: proposals for improvement through SIG," *Rev. URBANO 18. Págs*, pp. 17–27, 2009.
- [9] S. Espinosa and P. Medrano, "¿Carreteras para el progreso o vías de la muerte?: Efecto de las carreteras en la fauna silvestre del Ecuador," *Nuestra Nuestra Cienc.*, vol. 17, no. 17, pp. 21–23, 2015.
- [10] J. C. Feres and X. Mancero, "El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina," in *División de Estadística y Proyecciones Económicas de las Naciones Unidas*, 2001, pp. 5–53.
- [11] INEC, "Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas," *Ecuador en cifras*, 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/37bUKAZ>. [Accessed: 05-Aug-2019].
- [12] G. D. Buzai, "Evolución del pensamiento geográfico hacia la geografía global y la neogeografía," in *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones*, 2015, pp. 4–16.
- [13] L. Codina, "Scopus: el mayor navegador científico de la web," *El Prof. la Inf.*, vol. 14, no. 1, p. 49, 2005.
- [14] Elsevier B.V., "Scopus - Document search results," 2020. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/>. [Accessed: 07-Jan-2020].
- [15] RMSA TCA, "Gis Based Analysis for Planning School Locations," p. 115, 2016.
- [16] Y. Yang, Y. Sun, and Y. Yang, "Analysis of spatial accessibility for rural school redistricting in West China: A case study of the Primary Schools in Zhenyuan County, Yunnan Province," in *Proceedings - 2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering, ICISCE 2017*, 2017, pp. 193–197, doi: 10.1109/ICISCE.2017.50.
- [17] G. D. Buzai, "Geografía Y Sistemas De Información Geográfica Evolución Teórico- Metodológica Hacia Geography and Geographic Information Theoretical and Methodological Developments Into Emerging Fields," *Rev. Geográfica América Cent.*, vol. Edición Es, pp. 582–600, 2011.
- [18] P. Haggett, *Análisis locacional en la geografía humana*, no. 17. Gustavo Gili, 1976.
- [19] F. A. V. S. Rezende, R. M. V. Almeida, and F. F. Nobre, "Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro," *Cad. Saude Publica*, vol. 16, no. 2, pp. 467–475, 2000, doi: 10.1590/s0102-311x2000000200017.
- [20] P. Gómez, "Determinación y cálculo de áreas de influencia de empresas comerciales en un espacio periurbano circular," p. 55, 2014.
- [21] C. Fonseca Guerra, J. W. Handgraaf, E. J. Baerends, and F. M. Bickelhaupt, "Voronoi Deformation Density (VDD) Charges: Assessment of the Mulliken, Bader, Hirshfeld, Weinhold, and VDD Methods for Charge Analysis," *J. Comput. Chem.*, vol. 25, no. 2, pp. 189–210, Jan. 2004, doi: 10.1002/jcc.10351.
- [22] V. Springel, "E pur si muove: Galilean-invariant cosmological hydrodynamical simulations on a moving mesh," *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 401, no. 2, pp. 791–851, Jan. 2010, doi: 10.1111/j.1365-2966.2009.15715.x.
- [23] E. Agrell, T. Eriksson, A. Vardy, and K. Zeger, "Closest point search in lattices," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 48, no. 8, pp. 2201–2214, Aug. 2002, doi: 10.1109/TIT.2002.800499.
- [24] L. Lo Conte, C. Chothia, and J. Janin, "The atomic structure of protein-protein recognition sites," *J. Mol. Biol.*, vol. 285, no. 5, pp. 2177–2198, Feb. 1999, doi: 10.1006/jmbi.1998.2439.
- [25] C. Yan, T. Guo, W. Sun, and J. Bai, "Voronoi diagrams' eccentricity measurement and application," in *2010 18th International Conference on Geoinformatics, Geoinformatics 2010*, 2010, doi: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567718.
- [26] M. Erwig, "The graph Voronoi diagram with applications," *Networks*, vol. 36, no. 3, pp. 156–163, 2000, doi: 10.1002/1097-0037(200010)36:3<156::AID-NET2>3.0.CO;2-L.
- [27] J. Chen, R. Zhao, and Z. Li, "Voronoi-based k-order neighbour relations for spatial analysis," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 59, no. 1–2, pp. 60–72, Aug. 2004, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2004.04.001.
- [28] K. Xu, M. Song, X. Zhang, and J. Song, "A cloud computing platform based on P2P," *ITME2009 - Proc. 2009 IEEE Int. Symp. IT*

- Med. Educ.*, no. 2007, pp. 427–432, 2009, doi: 10.1109/ITIME.2009.5236386.
- [29] Ministerio de Educación, “Geoportal Institucional,” 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/2NuSLQc>. [Accessed: 25-Nov-2019].
- [30] H. Kim, D. Olave-Rojas, E. Álvarez-Miranda, and S. W. Son, “In-depth data on the network structure and hourly activity of the central chilean power grid,” *Sci. Data*, vol. 5, 2018, doi: 10.1038/sdata.2018.209.
- [31] INEC, “Clasificador Geográfico Estadístico – DPA,” 2019. [Online]. Available: <http://bit.ly/2TvJGPJ>. [Accessed: 29-Nov-2019].
- [32] D. Mikiewicz, M. Mackiewicz, and T. Nycz, *Mastering PostGIS: create, deliver, and consume spatial data using PostGIS*. .
- [33] V. Olaya, “La calidad de los datos espaciales,” in *Sistemas de Información Geográfica*, CreateSpac., 2014, pp. 185–200.
- [34] The PostGIS Development Group, “PostGIS 3.0.1dev Manual,” *Postgis Docs*, 2019. [Online]. Available: <https://postgis.net/docs/index.html>. [Accessed: 29-Nov-2019].
- [35] “Taller de Geomárketing Caso práctico,” in *Las Jornadas de Tecnologías Libres de Información Geográfica y Datos Abiertos*, 2014, pp. 1–8.
- [36] M. Rodríguez, “Unidades educativas del Milenio, educación intercultural bilingüe y (des) igualdad en el acceso a la educación en Ecuador. Un análisis desde la investigación etnográfica,” *Runa*, vol. 38, no. 2, pp. 41–56, 2017.
- [37] Plan V, “Lo bueno, lo malo y lo feo de las Escuelas del Milenio,” *Sociedad*, 2017. [Online]. Available: <http://bit.ly/2tsgSrT>. [Accessed: 17-Dec-2019].
- [38] American College of Sports Medicine, “ACSM’s guidelines for exercise testing and prescription,” 2006.
- [39] I. K. Paz, “Media Aritmética simple,” *Boletín Electrónico* 7, p. 13, 2007.
- [40] Ineval, “La educación en Ecuador: Logros alcanzados y nuevos desafíos Resultados educativos 2017-2018,” *Minist. Educ.*, p. 212, 2018.
- [41] A. P. Miño Viteri and D. R. Monge Villavicencio, “¿Funcionan las unidades educativas del milenio?,” 2018.