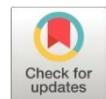


Evaluación de los modelos de propagación de la señal móvil LTE y atenuación por vegetación en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH

Evaluation of LTE Mobile Signal Propagation Models and Vegetation Attenuation in the Livestock Department at ESPOCH

- ¹ Cinthia Belén Campoverde Mora  <https://orcid.org/0009-0005-4793-5510>
Carrera de Ingeniera en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
cintiadoen@gmail.com
- ² Mateo Sebastián Benavidez Sisalima  <https://orcid.org/0009-0007-7133-1543>
Carrera de Ingeniera en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
mateo.benavidez@esPOCH.edu.ec
- ³ Víctor Hugo Arias Moya  <https://orcid.org/0009-0000-5017-2634>
Carrera de Ingeniera en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
victorh.arias@esPOCH.edu.ec
- ⁴ Milton Manuel Torres Torres  <https://orcid.org/0009-0008-4597-6310>
Carrera de Ingeniera en Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
milton.torres@esPOCH.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 12/05/2023

Revisado: 28/06/2023

Aceptado: 01/08/2023

Publicado: 30/08/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.396>

Cítese:

Campoverde Mora, C. B., Benavidez Sisalima, M. S., Arias Moya, V. H., & Torres Torres, M. M. (2023). Evaluación de los modelos de propagación de la señal móvil LTE y atenuación por vegetación en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. AlfaPublicaciones, 5(3), 167–184. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i3.396>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Palabras
claves:**
Modelos de
propagación,
recepción de
potencia,
atenuación,
tecnología LTE,
factor de
corrección

Keywords:
Propagation
models, power
reception,
attenuation,
LTE
technology,
correction
factor

Resumen

Introducción: Los modelos de propagación predicen la pérdida de potencia, o información, entre una antena transmisora (Tx) y una antena receptora (Rx). Los datos de potencia de recepción en una zona específica se pueden medir empíricamente, de esta forma se pueden realizar comparaciones y encontrar los modelos que mejor se ajusten a los datos reales medidos. **Objetivo:** Comparar los modelos de propagación Okumura-Hata, Ericsson 9999 y SUI con mediciones de potencia de recepción obtenidas empíricamente en una antena LTE, para conocer el mejor modelo de predicción, en las áreas abiertas de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. **Metodología:** Enfoque cuantitativo, analítico y racionalista. Investigación científica de campo; recolectando datos empíricos. **Resultados:** El modelo SUI muestra una tendencia exponencial en la predicción de pérdida de potencia, mientras que los modelos Okumura-Hata y Ericsson 9999 no muestran una tendencia en particular, debido a que estos están condicionados de acuerdo con la atenuación por vegetación presente en la zona. **Conclusión:** El modelo urbano Okumura-Hata con atenuación de la vegetación es el más adecuado para predecir las pérdidas de potencia en las zonas abiertas de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. **Área de estudio general:** Telecomunicaciones. **Área de estudio específica:** Propagación de ondas.

Abstract

Introduction: Propagation models predict the power, or information, loss between a transmitting antenna (Tx) and a receiving antenna (Rx). The receive power data in a specific area can be measured empirically, so that comparisons can be made, and models can be found that best fit the actual measured data. **Objective:** To compare the Okumura-Hata, Ericsson 9999 and SUI propagation models with empirically obtained reception power measurements in an LTE antenna, to know the best prediction model in the open areas of the Department of Livestock Sciences of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. **Methodology:** Quantitative, analytical, and rationalistic approach. Scientific field research; collecting empirical data. **Results:** The SUI model shows an exponential trend in the prediction of power loss, while the Okumura-Hata and Ericsson 9999 models do not show a particular trend, because they are conditioned according to the attenuation by

vegetation present in the area. **Conclusion:** The Okumura-Hata urban model with vegetation attenuation is the most adequate to predict power losses in the open areas of the Department of Livestock Sciences of ESPOCH.

Introducción

El ser humano desde su origen ha buscado una forma de transmitir ideas, y a lo largo de la historia la comunicación entre las personas ha evolucionado a la par con la tecnología. Hoy en día, las telecomunicaciones son un factor crucial y la base fundamental para estar siempre conectados, especialmente las comunicaciones móviles.

Ecuador ha crecido en el campo de las telecomunicaciones, según reportes del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2022), en 2022 el 52,2% de las personas tenían un teléfono celular inteligente, y un 69,7% utilizaban internet. Debido a esto, es importante que se realicen investigaciones sobre la recepción y transmisión de señales que llevan la información de un lugar a otro, a través de sistemas de radiocomunicaciones.

El término "comunicaciones móviles" se puede describir como "cualquier enlace de radiocomunicación entre dos terminales, al menos uno de los cuales está en movimiento, o parado, pero en ubicaciones indeterminadas, siendo el otro un terminal fijo, como una estación base" (López, 2000, p. 27).

Para recibir o emitir señales de radio a través de un medio aéreo se necesitan antenas. "Una antena transmisora transforma las corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una antena receptora realiza la función inversa" (Huidobro, 2013). Las antenas transmisoras tienen una frecuencia de transmisión específica, que depende de la generación de la red móvil. Hoy en día existen generaciones denominadas 1G, 2G, 3G, 4G y 5G. La red móvil 4G (LTE) es la más utilizada, aunque en el futuro la tecnología 5G podría sustituirla, ya que según Pérez (2020) "habilitará la subida y baja de archivos más rápida, el uso de apps de realidad aumentada y trabajos a distancia que requieren precisión, como la conducción de vehículos a distancia".

Para Solís (2016) "la tecnología LTE (Long Term Evolution, 4G) brinda mejora en la transferencia de datos de internet en los dispositivos móviles, ofrece una conectividad 10 veces mayor a su antecesora 3.5G" (p. 3). Es decir, está diseñada para proporcionar una alta tasa de datos y optimización de paquetes. Si se desea conocer la potencia recibida en nuestro dispositivo móvil, se puede hacer uso de la aplicación Network Cell Info Lite, la cual "permite comprobar la cobertura que se está recibiendo en el dispositivo. Cubre todas las redes celulares incluyendo LTE, HSPA+, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA, EVDO" (De Luz, 2017), es decir, nos muestra la potencia recibida de la señal de referencia (RSRP) respecto a la antena transmisora.

Por otra parte, la transmisión de señales a través de la atmósfera presenta distintos tipos de pérdidas de potencia, a estas pérdidas se las llama atenuaciones. Estas atenuaciones se dan debido a la cantidad y el tipo de vegetación, la nieve, la lluvia y otros fenómenos naturales, cada factor es una contribución a la atenuación. Según la recomendación de la ITU-R P.530-13 (International Telecommunication Union, 2009), “cada una de estas contribuciones tiene sus características propias en función de la frecuencia, la longitud del trayecto y la ubicación geográfica” (p. 3). Las pérdidas de información son inevitables, y por esto se debe tener en cuenta los factores antes enunciados.

Si se busca conocer una predicción acerca de las pérdidas de potencia, se hace uso de los modelos de propagación. “Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado” (Vidal-Beltrán et al. 2017, p. 4). En otras palabras, son ecuaciones matemáticas que predicen las pérdidas de potencia en el trayecto de enlace entre una antena transmisora y una antena receptora. Algunos de los modelos de propagación más conocidos son: Log-Distancia, Okumura-Hata para entornos urbanos y rurales, Walfish-Bertoni, modelo SIU, etc. Todos estos utilizan datos como frecuencia, distancia, obstáculos en el medio, entre otros.

Para determinar si un modelo es adecuado para predecir las pérdidas de potencia en una zona determinada, deben realizarse comparaciones entre diferentes modelos y elegir el ideal. Este tipo de análisis ha sido realizado en varios estudios (Bayas, 2022; Andy et al., 2022), para diferentes sectores de la ciudad de Riobamba, con la operadora móvil CLARO.

En este artículo se realiza un análisis comparativo entre los resultados obtenidos aplicando los modelos de propagación y los datos reales medidos empíricamente en los alrededores de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), en la ciudad de Riobamba; en donde se han considerado los siguientes factores: tipo de área, tipo de cobertura (LTE), potencia medida, atenuación por vegetación y distancia entre la estación base y la estación móvil.

Marco Teórico

Los modelos de propagación predicen las pérdidas de señal que pueden producirse entre una estación base y un receptor, ya sea móvil o fijo. Para calcular estas pérdidas, se debe conocer las características de la entre el transmisor (Tx) y el receptor (Rx).

Modelo Okumura-Hata

Basándose en los estudios de Okumura, el modelo de propagación inicial de Hata se modificó proponiendo el uso de un factor de corrección de las pérdidas de trayecto

definido a partir del "tamaño" de la ciudad, la frecuencia y el tipo de zona: urbana, suburbana o rural (Sosa-Pedroza et al., 2010).

Las pérdidas de propagación en un entorno urbano se determinan a partir de la ecuación:

$$L_{OH}(urban)(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) \quad (1)$$

$$+ (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Donde,

f_c : frecuencia de trabajo

h_{te} : altura de la antena emisora

h_{re} : altura de la antena receptora

d : Distancia entre Tx y Rx

$a(h_{re})$: factor de corrección

Para una ciudad pequeña o mediana, el factor de corrección es:

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) (dB) \quad (2)$$

y para una gran ciudad, viene dada por,

para $f_c \leq 300 MHz$

$$a(h_{re}) = 8.29 (\log(1.54 h_{re}))^2 - 1.1 \quad (3)$$

para $f_c \geq 300 MHz$

$$a(h_{re}) = 3.2 (\log(11.75 h_{re}))^2 - 4.97 \quad (4)$$

Modelo Ericsson 9999

“Este modelo fue desarrollado por la compañía Ericsson, para el direccionamiento de redes; es una extensión del modelo de Hata. Hace un ajuste en parámetros de acuerdo con el escenario en que se esté aplicando el modelo” (Jiménez y Morán, 2018, p.19). Este modelo se utiliza para frecuencias superiores a 1900 MHz.

Las pérdidas de trayecto se describen de la siguiente manera:

$$L_e = a_0 + a_1 \log(d) + a_2 \log(h_{te}) + a_3 \log(h_{te}) \log(h_d) \quad (5)$$

$$- 3.2 (\log(11.75 h_{re}))^2 + g(f_c)$$

El factor de corrección

$$g(f_c) = 44.9 \log(f_c) - 4.78(\log(f_c))^2 \quad (6)$$

Donde,

f_c : frecuencia de trabajo

h_{te} : altura de la antena emisora

h_{re} : altura de la antena receptora

d : Distancia entre Tx y Rx

$g(f_c)$: Factor de corrección

En la Tabla 1 se describen los diferentes coeficientes para las distintas zonas:

Tabla 1

Parámetros para diferentes zonas del modelo Ericsson 9999

Parámetros	Urbano	Suburbano	Rural
a1	36.2	43.20	45.95
a2	30.2	68.93	100.6
a3	-12	-12	-12
a4	0.1	0.1	0.1

Fuente: Jiménez & Morán (2018)

Modelo SUI

Para calcular la pérdida de propagación básica, el modelo SUI propone agrupar los escenarios de propagación en tres categorías diferentes, cada una con sus propias características (Shabbir et al., 2011, p. 28):

- Categoría a: terreno montañoso con niveles de vegetación medios y altos, correspondientes a condiciones de alta pérdidas.
- Categoría b: terreno montañoso con niveles bajos de vegetación, o zonas llanas con niveles medios y altos de vegetación. Nivel medio de pérdidas.
- Categoría c: zonas llanas con muy baja o nula densidad de vegetación. Corresponde a trayectos en los que las pérdidas son bajas.

La ecuación de pérdidas del trayecto se expresa como:

$$L_{SUI} = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h \quad (7)$$

Los valores de los parámetros dados por,

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\gamma}\right) \quad (8)$$

$$\gamma = a - bh_{te} + \frac{c}{h_{te}} \quad (9)$$

$$X_f = 6.0 \log\left(\frac{f_c}{2000}\right) \quad (10)$$

Zona urbana y suburbana,

$$X_f = -10.8 \log\left(\frac{h_{re}}{2000}\right) \quad (11)$$

Zona rural,

$$X_f = -20 \log\left(\frac{h_{re}}{2000}\right) \quad (12)$$

El valor de los parámetros para las 3 categorías diferentes se indica en la Tabla 2:

Tabla 2

Parámetros para diferentes categorías. Modelo SUI

Parámetros	Categoría a	Categoría b	Categoría c
a	4.6	4.0	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Fuente: Shabbir et al. (2011)

Atenuación por vegetación

La vegetación puede provocar una atenuación en la señal de radio que la atraviesa, esto se da en función del tipo de especie y de la densidad de la vegetación. En ciertos casos, la atenuación debida a la vegetación puede ser importante, tanto para los sistemas terrenales como para los sistemas Tierra-espacio. Pero la gran diversidad de condiciones y tipos de follaje dificultan la elaboración de un procedimiento de predicción general

(International Telecommunication Union, 2021). En general y de la forma más básica, existen dos tipos de pérdidas debidas a la vegetación.

Perdida de vegetación frondosa:

$$L_{veg,1} = 15.6f^{-0.009}d^{0.26} \quad (13)$$

Perdida de vegetación con pocas hojas:

$$L_{veg,2} = 26.6f^{-0.2}d^{0.5} \quad (14)$$

Donde, f es la frecuencia de trabajo en MHz y d es la longitud del camino a través de la copa del árbol en metros.

PIRE

“La potencia radiada equivalente (PIRE) es la combinación de la potencia generada por el transmisor y la capacidad de la antena para concentrar esa potencia en una dirección determinada” (Wolff, s.f.).

La PIRE puede calcularse a partir del campo eléctrico con la siguiente ecuación (International Telecommunication Union, 2019, p. 2).

$$PIRE = \frac{(ed)^2}{30} \quad (15)$$

Donde, e es el campo eléctrico dado en v/m en un punto dado z , y d , en metros, es la distancia entre T_x y z .

Metodología

El área de estudio está ubicada en la zona noroeste de la ciudad de Riobamba, específicamente en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. Las mediciones de potencia se realizaron en una torre de cobertura LTE, de la red TUENTI. Para conocer la RSRP se utilizó la aplicación "Network Cell Info", figura 1.

Figura 1

Aplicación "Network Cell Info"



La radio base LTE TUENTI está ubicada en la Av. Gregorio Bobadilla, Riobamba, como se observa en la figura 2.

Figura 2

Radio base TUENTI LTE 1940MHz



Además, la tabla 3 muestra las características de la estación base LTE y su ubicación obtenida por medio de Google Maps.

Tabla 3

Características de la radio base

Parámetros	Estimación
Tecnología	LTE
Operador Móvil	TUIENTI
Banda	2
Frecuencia	1940MHz
Altura	20m
Latitud	1°39'23.07"S
Longitud	78°40'49.30"O

Para delimitar la zona de análisis se utilizó la herramienta digital Google Earth. La zona abarca 9,54 hectáreas y tiene un perímetro de 1,54 km. Posteriormente, para recoger los datos de potencia recibida, se trazaron círculos concéntricos alrededor de la antena transmisora. El primer círculo se situó a una distancia de 63,96 metros, y los siguientes círculos se colocaron con una separación de 27 metros entre ellos. El último círculo se situó a 549,17 metros. En total, se obtuvieron 19 círculos concéntricos, como se ilustra en la figura 3.

Figura 3

Radios alrededor de la antena



A continuación, se establecieron puntos de medición dentro de cada uno de los círculos concéntricos, con una distancia aproximada de 17 metros entre puntos. En total, se obtuvieron 170 puntos de localización para medir la potencia de recepción, véase en la figura 4.

Figura 4

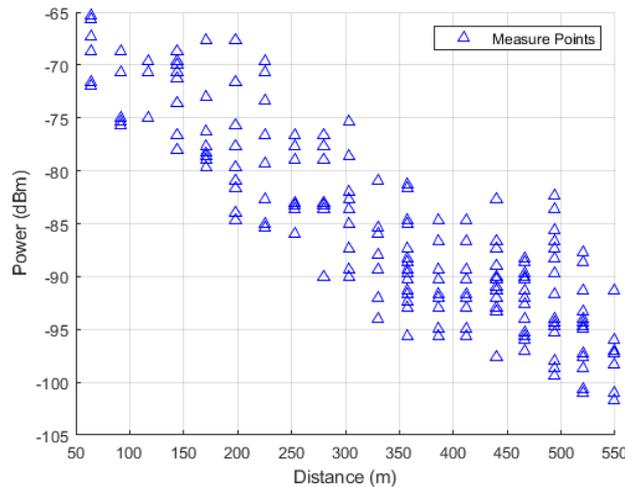
Puntos de medición



Las mediciones se realizaron en tres días diferentes, por la mañana y a la misma hora (7:00 a 9:00) para tener datos más precisos. Las condiciones meteorológicas fueron constantes (tiempo despejado). La tendencia media de la potencia recibida se visualiza en la figura 5.

Figura 5

Potencia media (RSRP)



Como se observa en la figura 5, la RSRP (potencia recibida de la señal de referencia) disminuye a medida que aumenta la distancia. Para la primera distancia de 63,99 m, la potencia es de 65,33 dBm, y para el punto más lejano a 549,17 m la potencia es de 101,67 dBm, resultando una pérdida de potencia total de 37,7 dBm.

Posteriormente, se utilizó el equipo Narda SRM-3006 para medir el campo eléctrico irradiado por la antena (figura 6). Se analizó en el ancho de banda de 1,9 GHz a 2 GHz,

en la frecuencia de 1,940 GHz. El equipo fue proporcionado por la universidad ESPOCH, Riobamba, Ecuador.

Figura 6

Medición de la intensidad del campo eléctrico. Narda SRM-3006



Se obtuvo la intensidad del campo eléctrico y utilizando (15), se calculó la PIRE, el resultado encontrado es el siguiente: a una distancia de 142 metros se tiene una intensidad de campo eléctrico media de 0.5 v/m, por ende, el PIRE es de 52 dBm.

Por otro lado, debido a la gran cantidad de vegetación existente en la zona, la atenuación por la vegetación se calculó con (14), y se obtuvieron los resultados que figuran en la tabla 5.

Tabla 4

Cálculo de pérdidas por vegetación

Radio	Longitud del camino (m)	Pérdidas de vegetación (dB)
1	1	15.51
2	1	15.51
3	1	15.51
4	1	15.51
5	1	15.51
6	1	15.51
7	2	18.57
8	2	18.57

Tabla 5
Cálculo de pérdidas por vegetación (continuación)

Radio	Longitud del camino (m)	Pérdidas de vegetación (dB)
9	2	18.57
10	2	18.57
11	2	18.57
12	2	18.57
13	3	20.63
14	3	20.63
15	3	20.63
16	3	20.63
17	3	20.63
18	3	20.63
19	3	20.63

Resultados

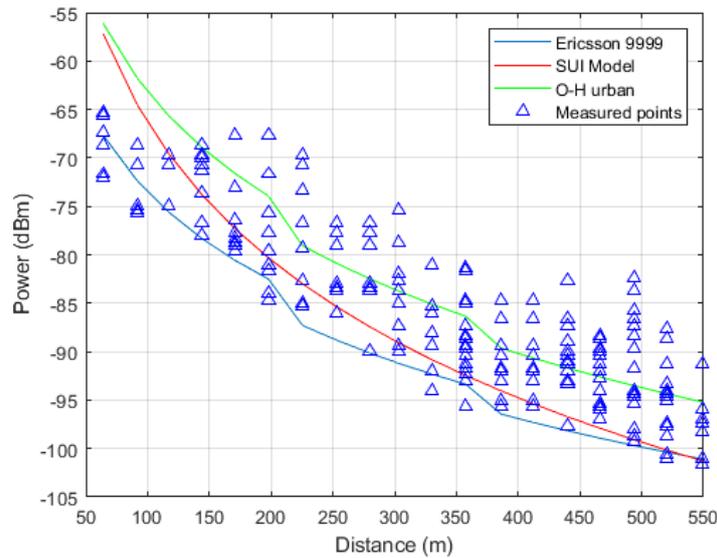
La aplicación de los tres modelos de propagación propuestos anteriormente arrojó los resultados que se observan en la figura 7. En el modelo Okumura-Hata, se seleccionó la ecuación para zonas urbanas (1), junto con el factor de corrección para ciudades pequeñas o medianas (2), ya que la zona de estudio contiene edificios y estructuras considerados típicos de una ciudad pequeña. La figura 7 muestra que la tendencia de la curva de este modelo es similar a la de los datos medidos empíricamente a partir de 150 metros.

Para el modelo Ericsson 9999, se utilizaron los parámetros designados para zonas urbanas en la tabla 1, y se asignaron a (5) junto con un factor de corrección (6). El comportamiento de este modelo se ajusta a los puntos de datos comprendidos entre 63,96 metros y 549,17 metros, lo que demuestra claramente su capacidad para pronosticar las pérdidas de potencia más elevadas.

En el modelo SUI se consideró la categoría b de la tabla 2, ya que se trata de una zona llana con un nivel moderado de vegetación. El factor de corrección para zonas urbanas (11) se colocó en (7) para obtener las pérdidas de trayecto. Este modelo comienza de forma bastante similar al modelo urbano Okumura-Hata, pero a medida que aumenta la distancia, ambos modelos divergen significativamente. La curva es exponencial y es probable que, para distancias mayores, no sea el mejor modelo para predecir las pérdidas de potencia reales entre los enlaces.

Figura 7

Modelos de propagación



Además, se añadió una atenuación debida a la vegetación a las ecuaciones de pérdida de potencia de los modelos urbanos Okumura-Hata y Ericsson 9999. Esto era necesario porque la zona del Departamento de Ganadería tiene un gran número de árboles, por lo que era importante incluir esta pérdida. En el modelo SUI no se añadió este parámetro, ya que las zonas boscosas ya se consideraban en la categoría para el cálculo de la pérdida de potencia. Para calcular la atenuación de la vegetación, se utilizó la Tabla 5 y se consideró que los primeros 6 radios de análisis tenían menor densidad de vegetación que los radios siguientes, y que los radios 13 a 19 tenían mayor densidad de vegetación. Por eso las curvas de los dos primeros modelos no son completamente exponenciales.

Por último, se aplicó el error cuadrático medio (RMSE) a los resultados obtenidos con cada modelo de propagación para determinar el modelo que mejor se ajusta a las mediciones realizadas. La tabla 6 muestra que el modelo Okumura-Hata Urbano con atenuación de la vegetación presenta el menor valor de RMSE.

Tabla 6

RMSE

Modelo	Okumura-Hata Urbano	Ericsson 9999	SUI
RMSE	10.177	11.98	11.35

Conclusiones

- Tras analizar los tres modelos de propagación, se concluyó que el modelo Okumura-Hata urbano con atenuación por vegetación, con un RSME de 10.177, es el más adecuado para predecir las pérdidas de potencia en las zonas abiertas de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. Además, este modelo proporciona una mejor aproximación a partir de los 150 metros alrededor de la estación base. Por lo tanto, se sugiere que en futuras investigaciones se considere la aplicación de un factor de corrección para distancias más cortas. Finalmente, se confirmó que las pérdidas por vegetación son un parámetro significativo para analizar diversos modos de propagación e impactan en gran medida la potencia de recepción desde una antena de 20 metros de altura hasta un receptor de 1.5 metros.

Conflicto de intereses

Los autores certifican que no existe conflicto de intereses en el artículo “Evaluación de los modelos de propagación de la señal móvil LTE y atenuación por vegetación en la Facultad de Ciencia Pecuarias de la ESPOCH”.

Referencias Bibliográficas

- Andy, G., Gusñay, J., Ovaco Medina, M., Puma, A., & Uvidia Ñauñay, A. (2022). Análisis comparativo de modelos de pérdida de trayectoria de propagación para comunicación móvil en Riobamba. *MASKAY*, 13(1), 1–7.
<https://doi.org/10.24133/maskay.v13i1.2818>
- Bayas, N. E. (2022). *Comparación de modelos de propagación de radio en cinco celdas de cobertura LTE en Riobamba*. Riobamba: Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y Tecnología RIEMAT ISSN 2588-0721.
https://www.researchgate.net/publication/372042127_Comparison_of_radio_propagation_models_in_five_LTE_coverage_cells_in_Riobamba
- De Luz, S. (2017, julio29). *Network Cell Info Lite: Una aplicación para ver las estadísticas de tu red móvil*. <https://www.redeszone.net/2017/07/29/network-cell-info-lite-una-aplicacion-ver-las-estadisticas-red-movil/>
- Huidobro, J. M. (2013). Antenas de telecomunicaciones. *Revista digital ACTA*, 1.
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- International Telecommunication Union. (2009). *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad*

directa ITU-R P.530-13. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-13-200910-S!!PDF-S.pdf

International Telecommunication Union. (2019). *Cálculo de la atenuación en el espacio libre*. Unión internacional de telecomunicaciones P.525-4, R. U.-R. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-4-201908-I!!PDF-.pdf

International Telecommunication Union. (2021). *Tenuación debida a la vegetación*. Unión internacional de telecomunicaciones. Recomendación ITU-R P.833-10. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.833-10-202109-I!!PDF-S.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2022). *Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC*. Instituto nacional de estadística y censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>

Jiménez Silva, Rogger Daniel., & Morán Andrade, Karen Roxana. (2018). *Diseño de modelo de propagación de una red inalámbrica WIFI en 5GHz [Tesis de pregrado*, Escuela Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/132244/D-CD106670.pdf>

López Cevallos, W. R. (2000). *Estudio de factibilidad para la optimización del sistema móvil de comunicaciones de EMELNORTE S.A [Tesis de pregrado*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11112/1/T1650.pdf>

Pérez, D. (2020, junio 23). *Del 1G al 5G, ¿cuáles son las diferencias entre las redes?* <https://dplnews.com/del-1g-al-5g-cuales-son-las-diferencias-entre-las-redes/>

Shabbir, Noman & Sadiq, Muhammad Tariq & Kashif, Hasnain & Ullah, Rizwan. (2011). Comparison of Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE). Network. International Journal of Next-Generation Networks. 3. 10.5121/ijngn.2011.3303.

Solís Poveda, T. I. (2016). *Análisis de las oportunidades de negocio con la introducción de tecnología 4G LTE que brindan las operadoras móviles en Ecuador [Tesis de maestría*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15350/1/CD-7047.pdf>

Sosa-Pedroza, Jorge R.; Martínez-Zúñiga, Fabiola; Galaz-Larios, Martha. (2010). Verificación del modelo Hata a partir de mediciones de atenuación en la zona urbana de la ciudad de México. Científica 14(4), 159-164 Instituto Politécnico Nacional. <https://www.redalyc.org/pdf/614/61419260001.pdf>

Vidal-Beltrán, S., Degollado-Rea, E. A., & López-Bonilla, J. L. (2017). *Modelo de propagación simplificado para LTE en la frecuencia de 2.1GHz*. Nova Scientia, N.º 19, 9 (2), 83 – 96. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v9n19/2007-0705-ns-9-19-00083.pdf>

Wolff, C. (2023). *Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)*. <https://www.radartutorial.eu/08.transmitters/tx57.es.html>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



Indexaciones

