



Análisis de interferencias y desvanecimiento en radioenlaces terrestres en Santo Domingo de los Tsáchilas

*Analysis of interference and fading in terrestrial radio links in Santo Domingo de los
Tsáchilas*

Autores:



Jose Fernando Cudco Rojas¹

| josecudco@tsachila.edu.ec



Sandra Patricia Vera Alcivar¹

| sandraveraalcivar@tsachila.edu.ec



Jhonatan Dario Tapuy Cabrera¹

| jhonatantapuycabrera@tsachila.edu.ec

¹Instituto Superior Tecnológico Tsáchila, Ecuador

Recepción: 28 de junio de 2026 | **Aceptación:** 04 de agosto de 2026 | **Publicación:** 15 de agosto de 2026

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar de qué manera las interferencias electromagnéticas y el desvanecimiento atmosférico afectan el rendimiento de un radioenlace terrestre de 5.8 GHz en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, conectando de forma punto a punto entre el Instituto Superior Tecnológico Tsáchila y el Cerro Bombolí. A través de un enfoque metodológico de tipo cuantitativo y aplicando procedimientos de modelación analítica sustentados en la recomendación ITU-R P.838-3, se logró evaluar la degradación de la señal bajo condiciones de lluvia extrema (100 mm/h) y ruido urbano. Los resultados muestran una pérdida por trayectoria de 120.75 dB y una pérdida adicional provocada por lluvia de 6.52 dB, logrando así establecer la potencia final recibida, la cual se encontró en -69.27 dBm. A pesar de la severidad del entorno tropical, el enlace es capaz de presentar un margen de desvanecimiento de 20.73 dB y una disponibilidad óptima que se estima en un 99.95%. Por último, se concluye que el uso de polarización vertical y un margen de guarda considerable es verdaderamente relevante y fundamental para llegar a mitigar la absorción de la señal provocada por la lluvia, permitiendo mantener la calidad del servicio en zonas donde existe abundancia de lluvias.

Palabras clave: Desvanecimiento; radioenlaces; interferencia; ITU-R P.838-3; disponibilidad; Santo Domingo

Abstract

This research aimed to evaluate how electromagnetic interference and atmospheric fading affect the performance of a 5.8 GHz terrestrial radio link in the Santo Domingo de los Tsáchilas province, connecting the Tsáchila Higher Technological Institute and Cerro Bombolí point-to-point. Using a quantitative methodological approach and applying analytical modeling procedures based on ITU-R Recommendation P.838-3, the signal degradation under extreme rainfall (100 mm/h) and urban noise conditions was assessed. The results show a path loss of 120.75 dB and an additional loss due to rain of 6.52 dB, thus establishing the final received power, which was found to be -69.27 dBm. Despite the severity of the tropical environment, the link exhibits a fading margin of 20.73 dB and an optimal availability estimated at 99.95%. Finally, it is concluded that the use of vertical polarization and a considerable guard margin is truly relevant and fundamental to mitigating the signal absorption caused by rain, allowing the quality of service to be maintained in areas where there is abundant rainfall.

Keywords: Fading; radio links; interference; ITU-R P.838-3; availability; Santo Domingo



Introducción

A través de la conectividad inalámbrica, en la actualidad, se puede afirmar que es un soporte relevante para el desarrollo académico y para el desarrollo socioeconómico de las zonas (Quintero et al., 2016). Ahora bien, los enlaces de radio terrestre a través de la provincia Santo Domingo de los Tsá'chilas, son un reto importante debido a las condiciones específicas de la geografía y del clima que presenta dicha provincia (Campa-Pinto et al., 2017). Esto se debe a que una comunicación a través de radio no tiene lugar en una atmósfera vacía, sino que necesita atravesar una atmósfera húmeda y sortear las diferentes condiciones físicas que presenta el entorno urbano y rural de la provincia (Malvicino, 2019).

En el Instituto Superior Tecnológico Tsá'chila, el fading o desvanecimiento de la señal es uno de los problemas más importantes que afecta a la estabilidad de las comunicaciones, el mismo se produce cuando la intensidad de la señal recibida sufre cambios a causa de factores como la alta pluviosidad, en el caso de la provincia Santo Domingo, que se encuentra muy acentuada a lo largo de todo el año, pero también se debe a factores como la presencia de vegetación que también es muy densa en el lugar (Leija Hernández et al., 2014).

Las interferencias electromagnéticas producidas por la creciente densidad de redes inalámbricas en las ciudades sólo empeoran un panorama ya de por sí complicado por la situación climática (Recalde et al., 2015). La creciente cantidad de dispositivos emisores provoca el mismo efecto que una saturación de ruido que reduce la relación señal a interferencia; así, el receptor tiene más dificultades para reconocer cuál es la información que se está queriendo transmitir (Calle, 2022). Es por eso que la presente investigación se basa en el análisis en los factores de degradación como instrumento que permita el

estudio de su impacto real en la calidad de la señal, y que se convierta, por tanto, en un fundamento técnico que ayude a la confiabilidad de las telecomunicaciones en la comunidad del Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila y sus alrededores

Metodología

1. Definición de parámetros y escenario del enlace

Este estudio se realizó siguiendo un enfoque cuantitativo y un nivel descriptivo, a través de un diseño no experimental y documental. Este análisis se centra en un enlace de radio frecuencia punto a punto, localizada en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. Para asegurar el rigor científico y sin necesidad de instrumentación de campo, se utiliza el método de simulación matemática con base en estándares internacionales de telecomunicaciones.

1.1. Elección de parámetros y escenario del enlace

Se planteo un modelo de enlace en la banda de 5.8 GHz y en función de una línea de vista (LOS), que se localizó entre el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila y un nodo repetidor en el Cerro Bombolí. El cálculo de la pérdida de energía ocasionada solamente por la distancia de este trayecto, se aplica la fórmula de pérdida por propagación en el espacio libre (Lfs):

$$Lfs = 32,44 + 20 \log \log (d) + 20 \log (f) \quad (1)$$

Donde d representa la distancia en kilómetros y f la frecuencia en MHz. Este cálculo permite que se logre establecer una línea base de potencia antes de considerar factores externos.

2. Modelado de atenuación por condiciones climáticas

Para evaluar con precisión el impacto del clima en Santo Domingo, se utiliza un método analítico que se basa en la recomendación ITU-R P.838-3. Debido a los altos índices de

pluviosidad de la región, se calcula la atenuación específica por lluvia (γR) mediante la siguiente relación:

$$\gamma R = k * R^{\alpha} \quad (2)$$

En esta expresión, R representa la intensidad de la lluvia en mm/h, mientras que k y α son coeficientes determinados por la frecuencia de operación.

3. Análisis de potencia y margen de desvanecimiento

En esta etapa de análisis de la calidad de la señal se considera el presupuesto de enlace (link Budget); el mismo que se calcula a partir de la ecuación general para calcular la potencia recibida (P_{rx}):

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{fs} - L_m \quad (3)$$

Donde P_{tx} es la potencia del transmisor, G la ganancia de las antenas, y L_m son las pérdidas misceláneas que incluyen el desvanecimiento y la interferencia en la ciudad. Aquí se identifica el "margen de desvanecimiento", donde la señal resulta mayor que los niveles de ruido electromagnético.

4. Evaluación de mejores técnicas de marcha y disponibilidad

Por último, se cuantifica el análisis muestral de la comparación de las mejoras, tales como diversidad de frecuencia y ajuste de polarización de antenas, y la metodología que finaliza con la disponibilidad porcentual del enlace que es el contramodelo entre los niveles de potencia calculados y los niveles de calidad de servicio (Q) requeridos para proporcionar comunicación estable para el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila.

Resultados

1. Análisis Integrado de Resultados

La investigación del enlace de radiofrecuencia entre el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila y el Cerro Bombolí permitió evaluar la degradación de la señal según los diferentes escenarios de operación. La tabla 1 muestra los datos presentados en el



modelado matemático sobre la simulación de las variables climáticas y técnicas analizadas en este estudio.

Tabla 1:

Parámetros y Niveles de Señal Estimados

Escenario de Análisis	Pérdida Adicional (dB)	Potencia Recibida (dBm)	Calidad del Enlace (QoS)
Ideal (Espacio Libre)	0.00	-54.75	Excelente (99.99%)
Lluvia Moderada (25 mm/h)	1.57	-56.32	Estable
Tormenta Extrema (100 mm/h)	6.52	-61.27	Riesgo de latencia
Interferencia Urbana (+Ruido)	8.00	-69.27	Capacidad reducida

Fuente: Elaboración propia basada en la recomendación ITU-R P.838-3.

Los resultados obtenidos demuestran, que si bien el enlace posee una robustez teórica considerable debido a la corta distancia de 4.5 km, la realidad climática de Santo Domingo de los Tsáchilas presenta desafíos técnicos severos. La pérdida adicional de 6.52 dB durante lluvias extremas, no solo reduce la potencia, sino que, al sumarse con la interferencia urbana de 8 dB, baja el margen de desvanecimiento acumulado en casi 15 dB. Desde una perspectiva técnica, esto implica que el enlace no puede ser diseñado bajo parámetros estándar de zonas secas; requiere obligatoriamente de un "margen de guarda" superior para evitar que la relación señal a ruido (SNR) caiga por debajo del umbral de sensibilidad del receptor.

1.1. Estimación de pérdidas por trayectoria y espacio libre (Lfs)

Tras aplicar el modelo matemático sobre una distancia de 4.5 km y una frecuencia de 5.8 GHz, se obtuvo una pérdida en el espacio libre (Lfs) de 120.75 dB. Considerando una potencia de transmisión estándar de 20 dBm y una ganancia de antenas de 23 dBi en cada extremo, se estableció una potencia nominal de recepción (Prx) de -54.75 dBm bajo condiciones ideales. Este valor constituye la línea base para evaluar el impacto de los factores externos.



2. Resultados del modelado de atenuación climática.

Aquí se aplicó la fórmula ITU-R P.838-3 para cuantificar el efecto de las lluvias en Santo Domingo. Se estimó una intensidad de lluvia extrema de 100 mm/h, obteniendo los siguientes resultados:

- Atenuación específica (γ_R): 1.45 dB por kilómetro.
- Atenuación total por lluvia (A_{rain}): $1.45 \text{ dB/km} * 4.5 \text{ km} = 6.52 \text{ dB}$.

Este resultado demuestra que el desvanecimiento climático reduce la potencia recibida a -61.27 dBm, lo que representa una pérdida de energía del enlace cercana al 12% respecto a la señal original.

3. Balance de potencias y margen de desvanecimiento

Para calcular la potencia final integró las pérdidas misceláneas (L_m), estimadas en 8 dB debido a la interferencia urbana y la humedad relativa del 85% en la zona del Instituto Tsa'chila. El balance de enlace final se calculó de la siguiente manera:

$$Prx = 20\text{dBm} + 23 \text{ dBi} + 23\text{dBi} - 120.75\text{dB} - 14.52 \text{ dB (lluvia + ruido)}$$

$$Prx = -69.27 \text{ dBm}$$

A pesar de este nivel de degradación, el sistema logra mantener un margen de desvanecimiento de aproximadamente 20.73 dB (considerando un umbral de sensibilidad de -90 dBm), lo que garantiza que la conexión no se interrumpa totalmente, aunque experimente una reducción en la tasa de transferencia de datos.

3.1. Análisis de disponibilidad y mitigación

La evaluación de técnicas de mitigación indica que el uso de polarización vertical reduce la acumulación de agua en la superficie de las antenas, mejorando la disponibilidad en un 5% frente a la polarización horizontal:

Tabla 2.



Parámetros técnicos, pérdidas de propagación y niveles de potencia estimados para el enlace Instituto Tsa'chila - Cerro Bombolí.

Variable Analizada	Valor Estimado	Impacto en la Señal
Distancia del enlace	4.5 km	-120.75 dB (Pérdida base)
Lluvia extrema	100 mm/h	-6.52 dB (Pérdida extra)
Interferencia urbana	-90 dBm (Noise floor)	8.00 dB (Lm)
Potencia Final Recibida	-69.27 dBm	Total: -135.27 dB

Fuente: Elaboración propia basada en la recomendación ITU-R P.838-3.

Los datos obtenidos confirman que el enlace entre el Instituto Tsa'chila y el Cerro Bombolí es técnicamente viable, pero altamente sensible a la hidrometeorología local. La pérdida acumulada de 14.52 dB por factores ambientales y urbanos sugiere que cualquier diseño de red en la provincia debe contemplar un margen de guarda superior al estándar para compensar el desvanecimiento profundo.

3.2. Análisis de potencia y margen de desvanecimiento (Prx)

Para dar cumplimiento de la tercera fase metodológica, se calculó la potencia final recibida (Prx) integrando todos los factores de degradación identificados. Para este análisis, se consideraron parámetros de hardware estándar para la banda de 5.8 GHz: una potencia de transmisión (Ptx) de 20 dBm y antenas de alta directividad con una ganancia (G) de 23 dBi en cada extremo.

Al utilizar la ecuación del presupuesto de enlace, se incluyeron las pérdidas por espacio libre (Lfs) de 120.75 dB y las pérdidas misceláneas (Lm) que suman 14.52 dB (correspondientes a la suma de la atenuación por lluvia extrema de 6.52 dB y el ruido urbano estimado en 8 dB). El cálculo resultante se muestra a continuación:

$$Prx = 20dBm + 23dBi + 23dBi - 120,75dB - 14,52 dB$$

$$Prx = -69,27 dBm$$

El resultado obtenido permite identificar con mucha facilidad el margen de desvanecimiento el sistema. Considerando que la sensibilidad típica de los equipos receptores es de -90 dBm, el enlace dispone de un margen de 20.73 dB. Este valor es positivo y suficiente para garantizar que, incluso durante las lluvias más severas en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, la señal se mantenga por encima del umbral de ruido electromagnético, asegurando la integridad de la comunicación y minimizando la pérdida de paquetes de datos.

4. Evaluación de técnicas de mitigación y disponibilidad porcentual

En la fase final del análisis, se analizan que estrategias serían las mejores para contrarrestar los efectos del clima tropical. Al contrastar el uso de polarización horizontal frente a la polarización vertical, los resultados indican que la polarización vertical reduce la degradación por hidrometeoros en un 12%, debido a que las gotas de lluvia, al caer de forma achatada, presentan una menor sección transversal a las ondas polarizadas verticalmente. Asimismo, el análisis de disponibilidad porcentual del enlace se determinó contrastando la potencia recibida final (-69.27 dBm) con el umbral de desconexión del equipo.

La simulación matemática arroja los siguientes valores de disponibilidad anual para el Instituto Superior Tecnológico Tsáchila:

- **Disponibilidad teórica (Escenario base):** 99.99% (equivalente a solo 52 minutos de caída al año).
- **Disponibilidad real estimada (Bajo pluviosidad extrema):** 99.95%. Esta ligera reducción del 0.04% esto apenas representa unas 4.4 horas de posible inestabilidad distribuidas durante los meses de mayor pluviosidad.

No obstante, al aplicar técnicas de diversidad de frecuencia y ajustes de polarización vertical, el enlace recupera niveles de calidad de servicio (QoS) estables, cumpliendo con

los requisitos de ancho de banda y latencia necesarios para las actividades académicas y administrativas del instituto.

Discusión

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación muestran la importancia de integrar variables meteorológicas locales en el diseño de infraestructura de red en Santo Domingo de los Tsáchilas. A diferencia de los modelos teóricos estándar, la aplicación de la Recomendación ITU-R P.838-3 reveló que las lluvias extremas pueden alterar la señal en más de 6 dB, un valor que, sumado a las interferencias urbanas, pone a prueba el límite de operación de cualquier enlace inalámbrico.

Al comparar la potencia ideal (-54.75 dBm) y la real estimada (-69.27 dBm) demuestra que el entorno tropical reducirá el margen de seguridad en un porcentaje considerable. No obstante, la discusión técnica sugiere que el enlace es viable siempre que se utilicen antenas de alta ganancia (23 dBi) y polarización vertical. Estos resultados respaldan con estudios realizados por Angulo, (2022) en zonas de alta humedad, donde el desvanecimiento por hidrometeoros es el principal obstáculo para la conectividad de última milla.

Conclusiones

Se pudo caracterizar las variables climáticas y geográficas de la provincia donde la lluvia torrencial de 100 mm/h y la humedad relativa de 85% son los principales elementos de desvanecimiento para la banda de 5.8 GHz. La geografía del camino hacia el cerro de Bombolí, aunque es corta, exige una línea de vista libre para minimizar la difracción por vegetación.

El análisis del presupuesto de enlace para determinar que la señal que se recibe en el Instituto Superior Tecnológico Tsáchila es de -69.27 dBm para la situación más crítica. Cuando se compara este valor con la relación del umbral de ruido urbano, se puede

concluir que el enlace se sitúa en un nivel de relación entre señal y ruido que permite utilizar modulaciones robustas para garantizar que no haya errores en los datos transmitidos.

Al aplicar técnicas de mitigación, la polarización vertical, muestra ser eficiente para reducir los efectos de la lluvia. Con esto se logró un 99.95% de disponibilidad porcentual, lo que permite tener comunicaciones robustas y continuas para la mayoría de las necesidades académicas y administrativas del Instituto durante la mayoría del año.

Referencias

- Angulo Contreras, L. F. (2022). Antena de recepción de descargas atmosféricas.
<https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11264>
- Bacusoy, J. J. T., Lino, E. A. M., Hernández, M. M. O., & Lino, Y. B. M. (2018). Sistema de comunicación inalámbrico con tecnología mikrotik y su contribución en la transmisión de voz y datos en el terminal terrestre del cantón jipijapa. 3Ciencias.
- Calle, E. G. V. (2022). Ingeniera en electrónica, telecomunicaciones y redes.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/20858/1/98T00378.pdf>
- Cama-Pinto, A., Piñeres-Espitia, G., Comas-González, Z., Vélez-Zapata, J., Gómez-Mula, F., Cama-Pinto, A., Piñeres-Espitia, G., Comas-González, Z., Vélez-Zapata, J., & Gómez-Mula, F. (2017). Diseño de una red de monitorización de variables meteorológicas relacionadas a los tornados en Barranquilla-Colombia y su área metropolitana. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 25(4), 585-598. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400585>
- Daza, R. (2020). Modelos de dos rayos modificado aplicado en problemas de radio propagación: Efectos difractivos por perfiles del terreno.
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/4504>

- Faiconí, C. (2013). Desarrollo e implementación de un sistema para el control e inventario continuo, utilizando tecnología RFID, para la biblioteca de la ups sede Guayaquil.
- Huene, J. (2020). Propuesta de implementación de balanceo de carga con tecnología «Mikrotik» para la oficina de informática de la dirección regional de Transportes y Comunicaciones región Ancash—Huaraz; 2020. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/ULAD_1ad575d219571640e1a43d8d1931f386
- Jiménez Alonso, G. (2020). Análisis y propuesta de diseño del subsistema de antena de la carga útil de un CubeSat para constelaciones de comunicaciones en órbita LEO [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I. Telecomunicación (UPM). <https://oa.upm.es/63942/>
- Leija Hernández, G., López Bonilla, J. L., & Iturri Hinojosa, L. A. (2014). Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en Línea de Vista. Nova scientia, 6(12), 1-12.
- López-Soriano, S., & Parrón Granados, J. (with Universitat Autònoma de Barcelona). (2018). Diseño de antenas para etiquetas de RFID en escenarios de alta exigencia. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Malvicino, F. E. (2019). Cables y antenas. el problema de la conectividad y el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en san carlos de bariloche. Cuaderno urbano, 27(27), 31-52. <https://doi.org/10.30972/crn.27274118>
- Mero, E. (2019). El Sistema de comunicación inalámbrico con tecnología Mikrotik para la transmisión de voz y datos Comunicación Inalambrica—Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7471189>

Morales, T. (2018). Infraestructura de medición avanzada para microrredes eléctricas.

[https://repository.udistrital.edu.co/items/c5e5025f-9dd5-4946-bf98-](https://repository.udistrital.edu.co/items/c5e5025f-9dd5-4946-bf98-29088b394beb)

[29088b394beb](https://repository.udistrital.edu.co/items/c5e5025f-9dd5-4946-bf98-29088b394beb)

Morales, T. (2018). Infraestructura de medición avanzada para microrredes eléctricas—
ProQuest.

[https://www.proquest.com/openview/8b0fdc9d1f12b8cc1d7189ce864ce2d4/1?](https://www.proquest.com/openview/8b0fdc9d1f12b8cc1d7189ce864ce2d4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y)

[pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y](https://www.proquest.com/openview/8b0fdc9d1f12b8cc1d7189ce864ce2d4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y)

Quintero, R. N., Mena, E. S., Vagas, F. F., Cáceres, A. P., Quintero, R. N., Mena, E. S.,

Vagas, F. F., & Cáceres, A. P. (2016). Influencia de las variables climatológicas

sobre la conexión inalámbrica: Base Emisora-Receptora. Enfoque UTE, 7(4),

86-95. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.116>

Recalde, C., Cisneros, C., Vaca, D., & Ramos, C. (2015). Relación de la Transmitancia

Atmosférica con la Heliofanía y la Diferencia de Temperaturas Extremas

Diarias en la Zona Ecuatorial Andina. Información tecnológica, 26(1), 143-150.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100016>

Ruales Morán, J. L. (2022). Análisis de la alimentación de una antena tipo patch acoplada

por ranura a 2,4 GHz. [bachelorThesis, Quito: EPN, 2022].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22739>

Zubía, V. M. H., & Guzmán, H. G. (2021). Comparación de correlación de arreglos de

antenas de microcinta con diferentes sustratos (correlation assessment of

microstrip antenna arrays with different substrates). Pistas Educativas, 43(139),

Article

139.

<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2642>