

Difficulties of VHF communication in the region of the Valley of the Apurimac, Ene and Mantaro Rivers in Peru: Challenges of a mountainous area and dense vegetation

Gonzales -Cáceres, Percy-Favio, Dr.¹ , Palomino-Monteza, Vanessa Yaniz, Lic.² , Gonzales-Cáceres, Gabriel-Ronal Mg³ , Cuba-Vargas, Karen Ing.⁴ , Johnny Romero-Milián, Tec.⁵ , Félix Pucuhuayla-Revatta, Mg.⁶  y Jorge Luis Contreras-Cossío, Mg.⁷ 

^{4,5,6,7} Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, karen.cuba@upn.pe, ohnnyromero810@gmail.com, felix.pucuhuayla@upn.pe, jorge.contreras@upn.edu.pe

^{1,3} Ejército del Perú, San Borja, Perú, pgonzalesc@esge.edu.pe, gabrielgonzales39@gmail.com

² Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú, yanizpalominom@gmail.com

Abstract.- VHF communications in the region of the valley of the Apurimac, Ene, Mantaro rivers - VRAEM, in Peru, is a mountainous region with dense vegetation, are difficult to establish due to the characteristics of the rugged geography, weather conditions and vegetation .

In this regard, in order to reduce the difficulty of VHF communications in the jungle region, studies have been carried out proposing the use of upper troposphere propagation.

However, this technique has several limitations, such as its dependence on specific meteorological conditions and the need for specialized equipment and trained personnel for its use. In addition, in the Amazon region, humidity and clouds can hinder propagation through the upper troposphere, which reduces its effectiveness.

Given the strategic importance of the VRAEM region in the fight against drug trafficking and terrorism, the lack of effective communications could jeopardize military operations and the safety of people in the area.

In this sense, efforts are being made to improve communications in the region, such as the exploration of alternative technologies and the training of personnel specialized in communications in areas that are difficult to access.

The Peruvian Armed Forces in the VRAEM that conduct operations against terrorism and drug trafficking, have carried out various tests and corroborate in practice the technical limitations that scholars raise. Therefore, it is necessary to continue researching and exploring new technological options to improve communications in the region, in order to guarantee the effectiveness and safety of military operations and the protection of the population.

Keywords. communication, VHF, VRAEM, propagation.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Dificultades de la comunicación VHF en la región del Valle de los Ríos Apurímac, Ene y Mantaro en el Perú: Retos de una zona montañosa y densa vegetación

Gonzales -Cáceres, Percy-Favio, Dr.¹ , Palomino-Monteza, Vanessa Yaniz, Lic.² , Gonzales-Cáceres, Gabriel-Ronal Mg³ , Cuba-Vargas, Karen Ing.⁴ , Johnny Romero-Milián, Tec.⁵ , Félix Pucuhuayla-Revatta, Mg.⁶  y Jorge Luis Contreras-Cossío, Mg.⁷ 

^{4,5,6,7} Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, karen.cuba@upn.pe, ohnnyromero810@gmail.com, felix.pucuhuayla@upn.pe, jorge.contreras@upn.edu.pe

^{1,3} Ejército del Perú, San Borja, Perú, pgonzalesc@esge.edu.pe, gabrielgonzales39@gmail.com

² Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú, yanizpalominom@gmail.com

Resumen. - Las comunicaciones VHF en la región del valle de los ríos Apurímac, Ene, Mantaro - VRAEM, en el Perú, una región montañosa y de densa vegetación, son difíciles de establecer debido a las características de la geografía accidentada, las condiciones climatológicas y a la vegetación.

Al respecto, con el fin de menguar la dificultad de las comunicaciones VHF en región selvática, se han realizado estudios proponiéndose el empleo de la propagación por troposfera superior. Sin embargo, esta técnica presenta diversas limitaciones, tales como su dependencia de condiciones meteorológicas específicas y la necesidad de equipos especializados y personal capacitado para su uso. Además, en la región amazónica, la humedad y las nubes pueden dificultar la propagación por troposfera superior, lo que reduce su eficacia.

Dada la importancia estratégica de la región del VRAEM en la lucha contra el narcotráfico y el terrorismo, la falta de comunicaciones efectivas podría poner en peligro las operaciones militares y la seguridad de las personas en la zona.

En este sentido, se están realizando esfuerzos para mejorar las comunicaciones en la región, como la exploración de tecnologías alternativas y la capacitación de personal especializado en comunicaciones en zonas difíciles de acceso.

Las Fuerzas Armadas peruanas en el VRAEM que conducen operaciones contra el terrorismo y el narcotráfico, han realizado pruebas diversas y corroboran en la práctica las limitaciones técnicas que los estudiosos plantean. Por lo tanto, se requiere continuar investigando y explorando nuevas opciones tecnológicas para mejorar las comunicaciones en la región, con el fin de garantizar la eficacia y seguridad de las operaciones militares y la protección de la población.

Palabras Clave. comunicación, VHF, VRAEM, propagación

I. INTRODUCCION

El establecimiento de comunicaciones radiales en VHF en los Valles de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) en el Perú presenta dificultades, esto se debe principalmente por las características del terreno y la climatología propia de la zona, otro factor, menos técnico, es la ausencia de caminos para acceder a dicha región. Los

militares que actúan en esa región contra el terrorismo y el narcotráfico son lo que básicamente ha experimentado esa problemática.

El objetivo del presente artículo es conseguir un mejor conocimiento sobre los factores que influyen negativamente en las comunicaciones VHF en el VRAEM, asimismo, conocer técnicas que se hayan estudiado para mejorar las comunicaciones y hasta qué punto son aplicables. Por otro lado, cabe señalar que el presente no se ocupa de analizar el nivel de preparación y conocimientos técnicos de los operadores de radio.

El estudio consta de tres bloques, en el estado del arte se han revisado algunos autores y artículos que han tratado sobre la dificultad de las comunicaciones en VHF en zona selvática, y en particular la selva del VRAEM, además se repasó que solución se han planteado para este tipo de comunicaciones; en cuanto a los resultados se detalló los ejercicios que realizaron los militares para mejorar sus comunicaciones; finalmente se dan conclusiones del trabajo.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Método de Revisión

En el contexto de la problemática de las comunicaciones en el VRAEM, la revisión hermenéutica se llevó cabo a través de un análisis crítico de la información disponible sobre la situación actual de las comunicaciones en la zona lo cual conllevó a la identificación de los principales obstáculos técnicos y geográficos que dificultan la transmisión de señales de radio VHF en la región, que permitirán mejor conocer la problemática.

Para llevar a cabo este proceso, se ha recopilado información de diversas fuentes, incluyendo informes técnicos sobre la infraestructura de telecomunicaciones existente en la zona, estudios sobre las características geográficas y climáticas del VRAEM que podrían afectar la transmisión de señales de radio, y análisis de las tecnologías

alternativas que podrían utilizarse para mejorar la calidad de las comunicaciones en la región.

De la información recopilada, se ha realizado un análisis crítico y reflexivo de los datos para identificar las principales causas del problema de comunicación en el VRAEM y las recomendaciones de solución

Este proceso ha implicado la identificación de los ejes de la problemática de la comunicación VHF en el VRAEM y relaciones entre los datos, la evaluación de la relevancia y confiabilidad de la información, y la elaboración de conclusiones basadas en el análisis de los datos.

Como punto final se ha propuesto una solución integral basada en la combinación de tecnologías de telecomunicaciones alternativas y técnicas de teledetección y modelado para reducir los efectos negativos de los obstáculos técnicos y geográficos que dificultan la transmisión de señales de radio en el VRAEM, fundamentada con el análisis realizado durante el proceso de revisión hermenéutica.

B. Hallazgos de la literatura revisada

El VRAEM es una zona geográfica ubicada en la parte central del Perú que abarca territorios de los departamentos de Ayacucho, Huancavelica, Cusco y Junín. La sigla VRAEM corresponde a las iniciales de los nombres de los principales ríos que lo atraviesan: el río Apurímac, el río Ene y el río Mantaro. Además de ser conocido por los problemas de seguridad y desarrollo social, debido a grupos terroristas de Sendero Luminoso, al narcotráfico y la poca presencia del Estado, esta región por su ubicación geográfica a estribaciones de la cordillera tiene una topografía bastante accidentada existiendo profundos valles con vegetación densa, mucha humedad y permanentes precipitaciones lo que hace complicado la existencia de caminos que permitan acceder a los distintos centros poblados del VRAEM.

La falta de telecomunicaciones en el VRAEM dificulta la lucha contra las amenazas en el VRAEM y la implementación de políticas de desarrollo a pesar de que el Estado realiza esfuerzos para mejorar la calidad de vida, para Sánchez (2018) la infraestructura de telecomunicaciones es esencial para mejorar la seguridad, la gobernanza y el desarrollo de la región [1]. Sin embargo, existen otros factores que técnicamente dificulta las radiocomunicaciones. Enfocándose en radio VHF, destaca la geografía accidentada y las condiciones climáticas.

Como lo refieren diversos estudios, la comunicación por radio en la selva es complicada, más aún si se realiza en la gama VHF, Morley (2006) nos explica que las señales de radio VHF pueden ser bloqueadas o atenuadas por la densa vegetación y la topografía del terreno selvático; además, si bien las señales VHF al tener longitud de onda más corta que las de onda larga, facilita la transmisión de datos a velocidades más altas y con mejor precisión, las ondas cortas son susceptibles a la obstrucción por la densa vegetación y otros obstáculos [2].

Por su parte, Primack (2017) coincide que, en la selva tropical la vegetación densa y la topografía compleja pueden interferir las señales de radio VHF, asimismo, indica que la humedad puede afectar el radio enlace reduciendo la efectividad. Como recomendación plantea que los radio operadores deben considerar no trabajar con radio VHF cuando tengan trabajos por periodos largos debiendo emplear otros medios de comunicación [3]. Este planteamiento no siempre es viable cuando los militares tienen que cumplir misiones prolongadas de más de dos semanas, hasta incluso un mes.

Barclay (1984) plantea que la propagación en VHF y UHF en la selva tropical es complicada debido a la presencia de la densa vegetación y las variaciones en la densidad y altura de la vegetación, manifiesta que la vegetación principalmente es la que atenúa y refleja las ondas de radio, los cuales finalmente distorsionan la comunicación, además en la selva tropical existen nubes y humedad que atenúan la señal [4]. Conviene subrayar que la humedad influye en la propagación de la onda VHF de diversas maneras, como la absorción de energía, la dispersión de la señal y el aumento de la interferencia en la señal.

Al respecto, Borup (2015) indica que la humedad en la atmosfera afecta significativamente la propagación de las ondas de radio VHF, enfatiza que hay una relación directa entre la atenuación de la señal y el aumento de la humedad relativa [5]. En otras palabras, a mayor humedad relativa menor calidad de la señal en la recepción.

Los investigadores pueden utilizar técnicas como la teledetección, el modelado y las mediciones en campo para analizar cómo la humedad afecta la propagación de las ondas de radio y desarrollar técnicas para reducir la atenuación de la señal. Pero, las herramientas tecnológicas no siempre están disponibles en las regiones de difícil acceso.

Como se ha dicho, la comunicación en selva empleando VHF es complicada y para poder tener un enlace efectivo, los operadores de radio desarrollan creatividad ubicándose en puntos altos y despejados, en algunos casos con el fin de elevar la potencia de transmisión, emplean antenas direccionales; aquí conviene señalar que la mayor potencia de los equipos de radio portátiles no es mayor de 20 W, esto implica mayor consumo de baterías.

Por otro lado, la selva alta peruana, conocida como “selva montañosa” o “ceja de selva” se caracteriza por ser húmeda todo el año, a pesar de que hay una disminución de precipitaciones entre los meses de junio a agosto, dicha humedad es propicia para la presencia de diversa vegetación. Esta humedad principalmente se debe a la ubicación geográfica, esta se encuentra en las estribaciones de la Cordillera de los Andes, presentándose una topografía bastante singular por variedad de elevaciones, haciendo que

exista gran cantidad de microclimas y ecosistemas con características únicas (figura 1).

Herrera (1982) investigó al respecto encontró que en la selva alta peruana la humedad del aire disminuía con la altitud y que la humedad relativa aumentaba, sin embargo, que estas temperaturas y humedades disminuían en la noche [6].



Fig. 1 Topografía accidentada del VRAEM

Nota: Fotografía tomada desde una aeronave de las FFAA peruanas

Las comunicaciones radiales en el VRAEM han sido estudiadas principalmente por la importancia para la seguridad y el desarrollo donde las Fuerzas Armadas peruanas lideran, no obstante, dado que el VRAEM presenta características propias de zona montañosa y selvática hace que las comunicaciones sean difíciles e incluso costosas.

Lo cierto es que incluso se ha comparado a la región del VRAEM con la de Vietnam debido a la similitud a la dificultad para transitar en la zona y, por otra parte, las tácticas de guerrilla de la organización terrorista que actúan en la zona. Uno de los autores que ha hablado de esta comparación es el periodista y escritor peruano, Uceda la describe como como una "zona de sombra", donde la selva y la montaña se combinan para crear una geografía difícil de transitar y dominar [7].

Por lo que se refiere a las comunicaciones por radio, Vásquez (2015) realizó una investigación sobre estas en el VRAEM concluyendo que estas son difíciles y con cobertura limitada dificultando la coordinación y el intercambio de informaciones entre las fuerzas militares que actúan en ese sector, afectando el denominado comando y control y en consecuencia a la toma de decisiones [8].

En el caso de la Policía Nacional en el VRAEM, habría que decir también que un estudio de la evaluación de la eficiencia del sistema de comunicaciones por radio VHF encontró que dicho sistema presentaba algunas limitaciones en términos de su eficacia y confiabilidad. Se concluyó que la calidad de la señal de radio era baja en algunas áreas de la

región, lo que dificultaba la comunicación entre los agentes de la policía [9].

Las Fuerzas Armadas que conducen operaciones de seguridad y desarrollo en dicho sector emplean comunicaciones radiales en diversas gamas de frecuencias, pero en las comunicaciones tácticas es ampliamente empleados los medios en VHF.

Por ello, es importante su estudio y las soluciones correspondientes para mejorar las dificultades expuestas, en ese sentido, Pomalaza-Ráez, Varshney y Gavrilovska (2015) propusieron un sistema de comunicación de baja potencia, las ondas de radio se propagarían en la atmósfera superior para extender su alcance y dado sus bajas potencias el consumo de energía sería mínimo facilitando el empleo de equipos portátiles [10]. Los resultados planteados son alentadores, se establecieron enlaces en selva hasta una de hasta 4 km de manera confiable y eficaz, empleando 100 a 150 MHz y a una potencia de transmisión de aproximadamente 500 mW.

El planteamiento usando la propagación en la atmósfera superior o conocida como "propagación ionosférica" puede reflejar y refractar las ondas VHF de tal forma que estas se propaguen más lejos de lo que haría normalmente, evadiendo la vegetación densa y obstáculos naturales dados por el relieve del terreno.

Sin embargo, la propagación de troposfera superior presenta diversas limitaciones, esto debido a que es altamente dependiente de las condiciones meteorológicas y puede ser afectado por la presencia de inversiones térmicas [11]. Este factor, en el VRAEM, puede ser determinante. También es importante tener en cuenta que estas antenas deben ubicarse en lugares despejados, condición difícil de encontrar por la densa vegetación existente y el riesgoso de exponerse a la vista del enemigo. Se debe agregar que las antenas empleadas tienen características especiales que las hace más grandes y generalmente costosas que las antenas convencionales, estas antenas deben tener un patrón de radiación que permita que las ondas electromagnéticas sean dirigidas hacia la atmósfera a altitudes superiores [12]. El tamaño de antenas mientras más grande es considerado como una vulnerabilidad por las fuerzas militares.

Si bien se ha logrado comunicaciones en varios miles de kilómetros, existe empero varios factores que se debe tener en cuenta para la propagación en la atmósfera superior, de manera prioritaria se debe realizar evaluaciones en la misma región del VRAEM teniendo en cuenta que es una región montañosa y selvática, además, dicha región presenta características singulares como la dificultad para acceder a esa zona por la ausencia de buenos caminos en la zona y las amenazas existentes como el terrorismo y el narcotráfico. Entre otras, contar con antenas especiales que son más grandes que las convencionales, esto ya implica si van a ser empleados por militares, una dificultad, pues amerita que sean

transportados e implica un peso adicional del equipamiento propio.

Principales problemáticas en las comunicaciones VHF en el VRAEM.



Fig. 3 Identificación de problemáticas principales

III. RESULTADOS

Los principales actores en el empleo de las comunicaciones VHF en el VRAEM son las Fuerzas Armadas peruanas, estas combaten al terrorismo que se instaló en esa región hace más de tres décadas y al narcotráfico por la ingente producción de hoja de coca en la región. Varios años conduciendo operaciones contra el terrorismo y el narcotráfico ha determinado que las comunicaciones en VHF realmente son difíciles.

Los militares especialistas en comunicaciones han realizado diferentes pruebas con radios portátiles en potencia baja (hasta los 5 W) y en potencia alta (hasta los 20 W), obteniendo resultados que corroboran que la difícil geografía y el clima influye drásticamente en el establecimiento del enlace, conviene subrayar que las patrullas normalmente se

desplazan a pie por la difícil topografía del terreno selvático y por seguridad, por lo que difícilmente se emplean las radios vehiculares que podría ofrecer por lo menos 50 W de potencia.

Realizando simulaciones con el software Radio Mobile, como ejemplo se hizo una simulación del Centro Poblado Chivani ubicado a orillas del río Mantaro en coordenadas 12° 19' 39.97"S, 074° 07' 27.96"O, se simuló una antena omnidireccional, frecuencia 146 MHz y potencia de transmisión 1 W (Figura 3). En la figura se observa los efectos de los obstáculos naturales lo que dificulta la comunicación entre estaciones.

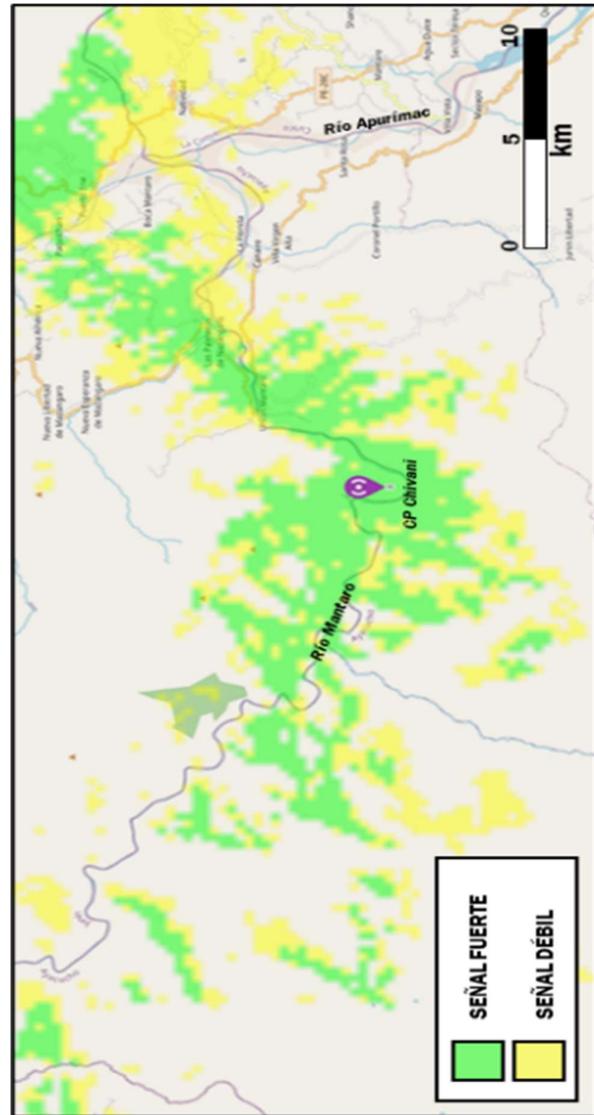


Fig. 3. Cobertura de señal desde el Centro Poblado Chivani en el VRAEM, frecuencia 146 MHz y potencia de trasmisión 1 W

Hay que mencionar, además, los militares han realizado ejercicios con equipos de radio VHF fijos en alta potencia ubicándolos en las diferentes Bases de Control

Territorial y funcionando como estaciones base o como estaciones controladoras de la red, comunicándose con las patrullas a pie, no obstante, si bien existe un buen enlace y hay buena comunicación en algunos sectores, para una óptima comunicación se requiere que las patrullas transmitan a alta potencia, esto implica que los operadores carguen baterías adicionales y cargadores solares o a manivela, las solares no siempre son factibles debido a la sombra de los árboles y a la escasa luz solar en épocas lluviosas (Figura 4), por otro lado, debido al terreno accidentado haciéndolo intransitable conjugado con las altas temperaturas en el día y la humedad permanente generan un mayor desgaste físico de las patrullas, todo peso adicional significa menor ritmo de avance y consecuentemente más vulnerables a emboscadas de los delincuentes terroristas.

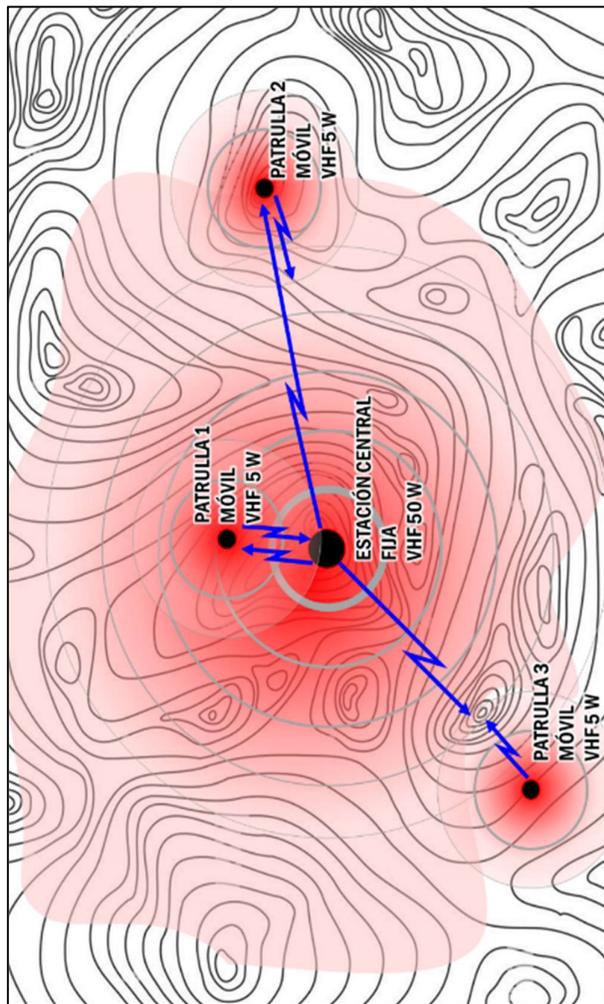


Fig. 4 Empleo de una estación central fija en VHF con estaciones móviles

Nota: La estación central es fija y transmite a 50W de potencia, las estaciones móviles cuentan con equipos portátiles a 5W de potencia, lo cual no permite comunicarse

con la estación central por la distancia y los obstáculos existentes

Otro aspecto importante a tener en cuenta, por seguridad los mensajes son transmitidos encriptados o por saltos de frecuencia, estas medidas atenúan la señal dificultando aún más las comunicaciones.

No se hicieron pruebas con la propagación por atmósfera superior, esta técnica puede constituir una solución, pero, como se vio, depende de factores que probablemente se desestime su empleo.

IV. CONCLUSIONES

1. Las comunicaciones VHF en el VRAEM son difíciles de establecer debido a la accidentada geografía donde existen terrenos montañosos de difícil acceso, las condiciones climatológicas donde la humedad es elevada y las precipitaciones están presentes casi todo el año afectando drásticamente la comunicación, y la densa vegetación que limita la línea de vista y atenúa la señal electromagnética.
2. La comunicación VHF empleando la técnica de propagación por tropósfera superior no ha sido probada en el VRAEM, sin embargo, los estudios indican que la probabilidad de éxito es mínima debido a la diversidad de limitaciones que existen, principalmente en dicha región.
3. Los Fuerzas Armadas peruanas que actúan en el VRAEM poseen amplia experiencia en comunicaciones y han realizado diversas pruebas con el fin de mejorar la calidad de las comunicaciones VHF, no obstante, han encontrado dificultades asociadas a factores técnicos y factores netamente tácticos militares.

V. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Dada la problemática de comunicación en la región VRAEM peruana, se pueden plantear diferentes alternativas para mejorar la infraestructura de telecomunicaciones y aumentar la seguridad en la zona. No obstante, hay factores técnicos que dificultan la comunicación por radio VHF, como la topografía accidentada, la vegetación densa y la humedad, que pueden disminuir la calidad de la señal y afectar la propagación de las ondas de radio.

Una solución posible sería aplicar técnicas de modelado para analizar el comportamiento de la propagación de las ondas de radio en función de la humedad presente en la atmósfera y en el terreno; con esta información, se podrían desarrollar técnicas para reducir la atenuación de la señal.

Para aplicar técnicas de teledetección y modelado en el VRAEM, se podría utilizar sistemas de radar y lidar (detección y medición remota por láser) para obtener información sobre la densidad de la vegetación y las características del terreno. Esto permitiría construir modelos precisos de la región y analizar cómo la humedad afecta la propagación de las ondas de radio.

Además, se podrían realizar mediciones en campo de las condiciones de propagación, como la pérdida de señal debido a la atenuación por el terreno y la humedad, y utilizar estos datos para validar y calibrar los modelos; también, diseñar dispositivos que permitan incrementar las potencias de transmisión de los equipos portátiles. Con esta información, se podrían desarrollar técnicas para reducir la atenuación de la señal, como la utilización de antenas direccionales y la optimización de la potencia de transmisión.

Asimismo, realizar pruebas *in situ* con diferentes antenas para la mejor explotación de la técnica de propagación superior, con estos datos se podrá diseñar antenas específicas para facilitar la comunicación VHF en el VRAEM.

Por otro lado, no necesariamente empleando comunicaciones en VHF, otra alternativa sería la utilización de tecnologías de telecomunicaciones alternativas, como la telefonía satelital o la instalación de redes de fibra óptica. Sin embargo, estas soluciones pueden requerir una inversión considerable de recursos, mayores experimentos y tiempo para su implementación. En el caso de la telefonía satelital, si bien la señal no se vería afectada por los obstáculos en el terreno como los cerros, la nubosidad permanente en el la región y la ubicación táctica las patrullas militares debajo de la vegetación, obliga a realizar mayores pruebas para su optimización.

VI. REFERENCIAS

- [1] Sánchez, M. (2018). Las telecomunicaciones y la lucha contra el narcotráfico en el VRAEM. *Tendencias y Retos*, 23(1), 47-64.
- [2] Morley, M. (2006). *Jungle Survival Skills: The Essential Guide to Surviving in the Jungle*. New York, NY: Skyhorse Publishing.
- [3] Primack, R. B. (2017). *Tropical Rain Forests: An Ecological and Biogeographical Comparison*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- [4] Barclay, L. W. (1984). UHF/VHF radio propagation over a rainforest canopy. *Radio Science*, 19(2), 507-515.
- [5] Borup, D. T. (1995). Measurement of water vapor effects on VHF radio waves. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12(4), 761-768.
- [6] Herrera, J. V. R. (1982). Microclimatic patterns of a montane forest in the Peruvian Andes. *Biotropica*, 14(1), 1-10.
- [7] Uceda, R. (2013). *Narcos, militares y campesinos en los Andes peruanos*. Aguilar.

[8] Vásquez Sánchez, J. (2015). Evaluación de la cobertura y capacidad de los sistemas de comunicaciones por radio en la región VRAEM. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

[9] Universidad Nacional del Centro del Perú. (2017). Evaluación de la eficiencia del sistema de comunicaciones por radio VHF de la Policía Nacional del Perú en el VRAEM. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2369>

[10] Pomalaza-Ráez, C., Varshney, P. K., & Gavrilovska, L. (2015). Low-Power Wireless Communications for Dense Vegetation Environments: A Case Study in the Peruvian Amazon. *IEEE Communications Magazine*, 53(8), 18-25. doi: 10.1109/MCOM.2015.7230934

[11] Kelley, P. (2012). A comparison of Tropospheric and Ionospheric Propagation for Beyond-Line-of-Sight Communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(11), 5063-5072.

[12] Joshi, R. P., Tiwari, S., & Yadav, A. K. (2016). Design and performance evaluation of antennas for VHF tropospheric scatter communication system. *IETE Journal of Research*, 62(6), 743-751. doi: 10.1080/03772063.2016.1178107