



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

TÍTULO

Sistema de videovigilancia con detección por movimiento, mediante un enlace de radio frecuencia, para una empresa palmicultora en Puerto Quito

AUTOR

Lema Tacuri, Marlon Bladimir

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR

Chango Sailema, Wilson Gustavo

Santa Elena, Ecuador

Año 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**Ing. Alicia Andrade Vera, Mgtr.
COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

**Ing. Wilson Chango Sailema, Ph.D.
TUTOR**

**Ing. Daniel Jaramillo Chamba, Mgtr.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Ing. Carlos Altamirano Carrillo, Ph.D.
DOCENTE
ESPECIALISTA**

**Abg. María Rivera González, Mgtr.
SECRETARIA GENERAL
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por Marlon Bladimir Lema Tacuri, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

Ing. Wilson Chango Sailema, Ph.D.

Santa Elena, 20 de noviembre de 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Marlon Bladimir Lema Tacuri

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, Sistema de videovigilancia con detección por movimiento, mediante un enlace de radio frecuencia, para una empresa palmicultora en Puerto Quito, previo a la obtención del título en Magíster en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 20 de noviembre de 2025

EL AUTOR

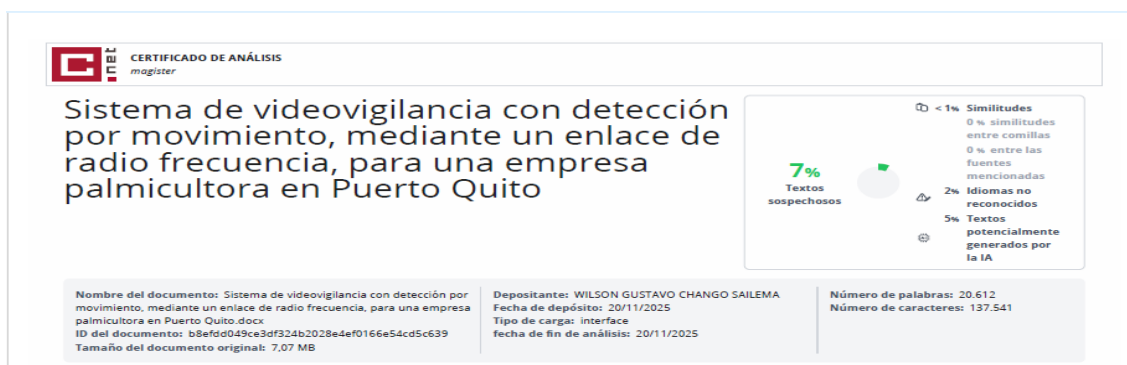
Marlon Bladimir Lema Tacuri



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Sistema de videovigilancia con detección por movimiento, mediante un enlace de radio frecuencia, para una empresa palmicultora en Puerto Quito, presentado por el estudiante, Marlon Bladimir Lema Tacuri fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 7%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



TUTOR

Ing. Wilson Chango Sailema, Ph.D.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
INSTITUTO DE POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, Marlon Bladimir Lema Tacuri

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Santa Elena, 20 de noviembre de 2025

EL AUTOR

Marlon Bladimir Lema Tacuri

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a toda mi familia, por ser el pilar fundamental en cada etapa de este proceso académico.

A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y por brindarme siempre su apoyo moral y emocional.

A mi abuela, por creer ciegamente en mí, por su cariño inagotable y por ser una fuente constante de fortaleza y motivación. Lo que usted cree de mis habilidades ha sido un impulso muy valioso que me ha acompañado durante este recorrido.

A mi esposa, por su capacidad de comprensión y paciencia, y por estar a mi lado en todos los momentos, tanto en las dificultades como festejando mis logros. Su compañía ha sido fundamental para mantenerme firme en este camino.

Por festejar mis éxitos, por estar ahí a pesar de la distancia y por mostrarme que todo es posible con unidad, fe y persistencia, se los agradezco a todos mis familiares.

Gracias por ser mi refugio, mi motor y mi inspiración.

Marlon Bladimir, Lema Tacuri

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la memoria de mi querido abuelo, quien en mi etapa de adolescencia me brindó con generosidad mi primera computadora portátil. Ese gesto, aparentemente sencillo, se convirtió en una herramienta invaluable que marcó el inicio de mi camino hacia el conocimiento, la investigación y el desarrollo académico.

Su confianza en mí, su apoyo silencioso y su fe constante en mis capacidades fueron una fuente de inspiración que me acompañó incluso en los momentos más difíciles. Siempre me apoyó y, aunque ya no esté para celebrarlo, su presencia me sigue acompañando en cada paso, palabra y logro.

Esta tesis son años de dedicación, su vida, su visión, su compromiso con mi futuro.

Dedicado también a mi hija; espero que sea para ella un ejemplo de perseverancia, aprendizaje y gratitud. Que siempre lleve este amor al conocimiento y que recuerde que los sueños se logran con dedicación y fe.

A ambos, gracias por ser parte esencial de este camino.

Marlon Bladimir, Lema Tacuri

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	V
AUTORIZACIÓN	VI
AGRADECIMIENTO	VII
DEDICATORIA	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación).....	3
Formulación del problema de investigación	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
Planteamiento hipotético	6
Idea a Defender	6
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
1.1. Revisión de literatura	7
1.2. Desarrollo teórico y conceptual	10
1.2.1 Sistemas de videovigilancia IP	10
1.2.2 Arquitectura con ISP externo y segmentación de red	12

1.2.3 Enlaces inalámbricos punto a punto en 5 GHz: fundamentos	14
1.2.4 Topología específica del proyecto: doble enlace administración–portón.....	16
1.2.5 Gestión de ancho de banda, codificación y almacenamiento	17
1.2.6 Alimentación fotovoltaica para el punto remoto de videovigilancia.....	20
1.2.7 Criterios de desempeño de imagen y cobertura útil.....	21
1.2.8 Operación segura: segmentación, priorización y hardening.....	22
1.2.9 Síntesis conceptual aplicada al caso	24
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Contexto de la investigación	27
2.2. Diseño y alcance de la investigación	28
2.3. Tipo y métodos de investigación.....	29
2.4. Población y muestra	30
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.....	33
2.7. Criterios de rigor metodológico	34
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
3.1 Cumplimiento del Objetivo Específico 1: Diagnóstico de Necesidades y Condiciones Técnicas.....	36
3.2 Cumplimiento del Objetivo Específico 2: Selección de componentes tecnológicos	45
3.3 Cumplimiento del Objetivo Específico 3: Evaluación del desempeño técnico del enlace.....	52
3.4 Cumplimiento del Objetivo Específico 4: Evaluación de la efectividad comparada	61
3.5 Síntesis general del capítulo.....	69
3.6 Estructura de la propuesta tecnológica.....	70

CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Presupuesto de enlace: parámetros y balance de potencias.....	15
Tabla 1. 2: Estimación de ancho de banda y almacenamiento por perfil de escena.....	19
Tabla 1. 3: Resumen de dimensionamiento FV y autonomía.....	21
Tabla 1. 4: Controles técnicos mínimos para operación segura en VSS	24
Tabla 3. 1: Resumen del diagnóstico técnico y operativo por zona.	43
Tabla 3. 2: Componentes tecnológicos seleccionados y criterios de justificación	46
Tabla 3. 3: Consumo energético diario estimado de los componentes del sistema.....	48
Tabla 3. 4: Resultados detallados de simulación del enlace inalámbrico.....	55
Tabla 3. 5: Resultados de pruebas funcionales del enlace inalámbrico.....	58
Tabla 3. 6: Resultados de pruebas de conectividad IP (ping).....	64
Tabla 3. 7: Desempeño técnico por capas del modelo OSI.	65
Tabla 3. 8: Comparativa de desempeño antes y después de la implementación.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Diagrama de bloques de un sistema de videovigilancia IP.....	12
Figura 1. 2: Topología lógica con backhaul del ISP y red de videovigilancia.....	13
Figura 1. 3: Representación de la primera zona de Fresnel y despeje.....	14
Figura 1. 4: Topología específica del proyecto con doble enlace RF	17
Figura 1. 5: Relación conceptual entre códec, resolución, fps y demanda de red.....	18
Figura 1. 6: Esquema de dimensionamiento fotovoltaico del punto remoto.....	20
Figura 1. 7: Niveles DORI y criterios de evaluación de cobertura	22
Figura 1. 8: Segmentación lógica y priorización del tráfico de videovigilancia.....	23
Figura 1. 9: Mapa de trazabilidad: conceptos teóricos → decisiones de diseño → indicadores.....	25
Figura 2. 1: Flujograma del marco Design Science Research (DSR)	30
Figura 2. 2: Flujograma PRISMA aplicado a la revisión sistemática de literatura	32
Figura 3. 1: Torre metálica de telecomunicaciones en la sede administrativa de Protropic Cía. Ltda.....	38
Figura 3. 2: Mástil receptor y sistema fotovoltaico instalados en el portón de acceso principal.	39
Figura 3. 3: Mapa georreferenciado de los puntos críticos y trayectoria del enlace inalámbrico.	41
Figura 3. 4: Diagrama del sistema de videovigilancia con interconexión de dispositivos	47
Figura 3. 5: Esquema de conexión y dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico autónomo.	49
Figura 3. 6: Gabinete de control del sistema fotovoltaico instalado en el portón principal.	50

Figura 3. 7: Mapa de simulación de Radio Mobile (trayectoria del enlace PtP).....	54
Figura 3. 8: Gráfica comparativa de nivel RSSI vs. distancia.....	56
Figura 3. 9: Gráfica de latencia promedio del enlace (ms).....	57
Figura 3. 10: Configuración del enlace PowerBeam M5-400 en la interfaz AirOS.....	59
Figura 3. 11: Mapa de cobertura e intensidad de señal simulada en Radio Mobile	62
Figura 3. 12: Captura de configuración del enlace PowerBeam M5-400 (AirOS)	63
Figura 3. 13: Visualización del video en plataformas Smart PSS y DMSS	64
Figura 3. 14: Mapa de cobertura e intensidad de señal simulada	66

RESUMEN

Este trabajo expone el diseño e implementación de un sistema de videovigilancia inalámbrico con autonomía energética, cuyo objetivo es mejorar la seguridad operativa de una empresa dedicada a la palmicultura en Puerto Quito. El objetivo consistió en desarrollar una solución tecnológica que pudiera operar en entornos rurales caracterizados por limitaciones en la infraestructura eléctrica y de conectividad. Se realizó un estudio utilizando el método de investigación del diseño (Design Science Research - DSR), que incluyó un subsistema solar adecuadamente dimensionado, enlaces de radiofrecuencia en 5.8 GHz y cámaras con protocolo de Internet (IP). Se observó que la latencia media es de 6.5 ms, la cobertura es del 93 % y la autonomía excede las 48 horas; además, los incidentes de seguridad se redujeron en un 35 %. Se concluye que, desde una perspectiva técnica, el sistema es viable, sostenible y puede ser replicado en circunstancias similares, ya que esto ayuda a reducir las disparidades tecnológicas en áreas rurales.

Palabras claves: videovigilancia inalámbrica, autonomía energética, seguridad rural.

ABSTRACT

This work exposes the design and implementation of a wireless video surveillance system with energy autonomy, whose objective is to improve the operational security of a company dedicated to palm cultivation in Puerto Quito. The objective was to develop a technological solution that could operate in rural environments characterized by limitations in the electrical and connectivity infrastructure. The Design-based research approach (Design Science Research - DSR) was implemented, integrating Internet Protocol (IP) cameras, 5.8 GHz radio frequency links and a properly dimensioned solar subsystem. The results indicate a coverage of 93%, an average latency of 6.5 ms and an autonomy that exceeds 48 hours, as well as a 35% decrease in security incidents. It is concluded that the system is technically viable, sustainable and replicable in similar contexts, contributing to the closure of technological gaps in rural areas.

Keywords: wireless video surveillance, energy autonomy, rural security.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la tecnología ha dado un gran paso en los sistemas de seguridad electrónica, creando así sistemas más eficientes, flexibles y autorregulados. Pero la mayor parte de estas innovaciones se han desarrollado y desplegado en contextos urbanos con infraestructuras establecidas, descuidando los contextos rurales, donde la conectividad es escasa, el suministro energético es limitado y las condiciones ambientales son extremas, lo que impide una adaptación apropiada. Esta falta de atención ha generado un desequilibrio tecnológico que impacta la capacidad de respuesta ante amenazas a la seguridad, especialmente en sectores como el agroindustrial. Los riesgos operativos surgen cuando las empresas que cultivan y procesan palma africana no son monitoreadas. Algunas de estas variables que afectan directamente la capacidad productiva y la sostenibilidad operativa son el robo, vandalismo, sabotaje y retrasos logísticos (Izuka et al., 2023; Zhang et al., 2024).

La expansión de la frontera agrícola ecuatoriana hacia áreas marginales ha generado la necesidad de mallas protectoras que sean adecuadas para las condiciones técnicas, económicas y geográficas de las regiones rurales. Aunque se puede usar bandas sin licencia para transmitir información y promover el avance tecnológico gracias a herramientas como la Resolución ARCOTEL-2018, su utilización en proyectos de seguridad comunitaria y empresarial sigue siendo limitada. Tal desajuste entre la regulación y la práctica se manifiesta en una cobertura fragmentaria de los sistemas de videovigilancia, en una interoperabilidad tecnológica limitada y en la persistencia de fórmulas de supervisión convencionales, tales como patrullas móviles y alarmas carentes de fuente de verificación audiovisual (Flores, 2022). En este marco, el diseño y la instalación de un sistema inalámbrico de videovigilancia, sustentado en la detección de movimiento, alimentado con paneles solares y efectuada mediante enlaces de radiofrecuencia, ofrecen una alternativa técnicamente viable y contextualizada, orientada a cerrar las brechas de seguridad en el medio rural.

En este estudio se describe una palma ubicada en el cantón Puerto Quito que no tiene vigilancia permanente en sus puntos más vulnerables: zona de embarque, oficinas administrativas, centro de acopio y, principalmente, en el portón principal. La más crítica

para el acceso y salida de vehículos y personas y la de mayor riesgo operativo es esta última. La ausencia de vigilancia deja a la empresa expuesta a pérdidas de bienes, interrupciones en la producción y pérdida de control de sus procesos críticos. La pregunta de investigación que se presenta a continuación es: ¿De qué forma afecta la utilización de un sistema de videovigilancia sin cables con detección de movimiento y enlaces por radiofrecuencia a la supervisión de seguridad en una plantación de palma situada en el cantón Puerto Quito?

El objetivo del estudio es crear un sistema de videovigilancia apropiado para la zona rural y optimizar la seguridad de las empresas a través de una vigilancia constante y efectiva. La pregunta inicial es fundamental para ello. Para lograr esto, se recomienda utilizar tecnologías que tengan un bajo consumo energético, transmisión inalámbrica por medio de bandas no licenciadas, almacenamiento y captura de energía solar y procesamiento de video incorporado en las cámaras. El propósito de la integración es mejorar el empleo de los recursos existentes, aumentar la calidad y cobertura del monitoreo, así como disminuir la intervención humana.

La investigación se llevó a cabo en tres etapas metodológicas: el examen del ambiente operativo y técnico de la compañía, la concepción y puesta en marcha inicial de un sistema de videovigilancia en tres zonas claves. La fiabilidad del enlace, la fuerza de señal (RSSI), la latencia de transmisión, la cobertura y el índice de falsas alarmas son las métricas más relevantes a evaluar. Estos indicadores se contrastarán con los estándares internacionales, principalmente la serie IEC 62676, que define las demandas de desempeño para los sistemas de videovigilancia; y la norma ISO/IEC 27001:2022, que regula el tratamiento seguro de información. La normativa ecuatoriana sobre el uso del espectro se considerará igualmente, con el fin de garantizar tanto la legalidad como la sostenibilidad de la solución propuesta (ARCOTEL, 2018; International Electrotechnical Commission, 2018; ISO/IEC, 2022).

Se supone que la calidad del enlace radioeléctrico es crucial para el funcionamiento efectivo del sistema, en lo que respecta a la cobertura, la rapidez de transmisión de datos y la fiabilidad del monitoreo remoto. El prototipo se ha creado con el fin de conseguir más del 90% de cobertura, menos de 250 ms de latencia y menos del 5% de tasa de falsas alarmas. El cumplimiento de estos indicadores confirmaría la factibilidad técnica y

económica de aplicar esta solución en otras áreas rurales que tengan condiciones parecidas.

El documento está organizado en cinco capítulos. En el primero capítulo ofrece un marco teórico que incluye desde el análisis de sistemas de videovigilancia hasta la gestión independiente de energía solar, así como la transmisión inalámbrica en zonas rurales y las leyes vigentes en cada área. El segundo capítulo describe la metodología empleada, especificando el tipo de estudio, las técnicas de recolección de datos, los instrumentos de medición y la estrategia de validación. A continuación, el capítulo 3 muestra los resultados de la etapa piloto del sistema. Esta comparación se realiza entre los resultados y la literatura, y los objetivos iniciales, en el capítulo cuatro. El último capítulo, el quinto, resume las conclusiones del estudio y propone formas de escalar la solución, considerando las oportunidades y restricciones encontradas.

Planteamiento de la investigación (Fundamentación de la investigación)

La seguridad electrónica se ha consolidado como un pilar esencial en la protección de infraestructuras, operaciones y personal en diversos sectores industriales. No obstante, su implementación en contextos rurales enfrenta limitaciones persistentes asociadas a la fragmentación de las redes de telecomunicaciones, la inestabilidad del suministro eléctrico y la baja inversión en activos tecnológicos. Estas limitaciones son más evidentes en las industrias agropecuarias, que están situadas en zonas remotas, por ejemplo, las empresas dedicadas al cultivo y procesamiento de palma africana. Estas tienen un mayor riesgo debido a la dispersión geográfica, la falta de supervisión continua y el nivel de respuesta ante circunstancias de emergencia.

En estos casos, los sistemas tradicionales de videovigilancia que comprenden redes metropolitanas, centros de control y cableado estructurado carecen de importancia. Por ello, son necesarias soluciones personalizadas que integren transmisión inalámbrica, alimentación independiente mediante energía solar y tratamiento inteligente de imágenes. Un sistema de esta naturaleza, que combine detección de movimiento, enlaces radiofrecuencia en bandas no licenciadas y energía solar, representa una solución tanto técnica como económica para fortalecer la seguridad en zonas rurales y asegurar que las operaciones continúen y sean redundantes frente a fallos.

El siguiente análisis se basa en una empresa productora de aceite de palma ubicada en el cantón Puerto Quito. Después del diagnóstico inicial se determinaron puntos críticos: el centro de acopio, las oficinas administrativas, la zona de embarque y, principalmente, el portón principal, punto estratégico de flujo de personal y vehículos. La falta de vigilancia en este lugar crea un punto vulnerable, al acumular riesgos de pérdida material, sabotaje, retrasos logísticos y pérdida de integridad en la información administrativa. El diseño de un sistema autónomo de videovigilancia que funcione sin cables y que esté alimentado por energía propia, el cual se ajuste a las condiciones ambientales del entorno para optimizar la seguridad operativa y reducir la posibilidad de que ocurran eventos no deseados, es el objetivo estructural planteado en este contexto.

El objetivo de este estudio es disminuir la diferencia tecnológica entre el campo y la ciudad utilizando una solución escalable y contextualizada. Desde un enfoque técnico, la investigación tiene como objetivo comprobar un modelo de transmisión de datos que mejore la eficacia operativa a través de conexiones por radiofrecuencia a 2.4 y 5.8 GHz, utilizando módulos de analítica embebida alimentados con sistemas fotovoltaicos. Para medir variables como la intensidad de señal (RSSI), la latencia, la estabilidad del enlace y el índice de falsas alarmas, se emplea un diseño cuantitativo aplicado desde un punto de vista metodológico.

El beneficio también es de índole social porque otorga a los productores agropecuarios de tamaño pequeño y mediano una herramienta tecnológica que les facilita ser más efectivos en la producción y más seguros durante la operación, lo cual crea las condiciones para un trabajo más confiable en sectores que históricamente han estado al margen de la innovación tecnológica. El modelo puede ser replicado en distintas áreas rurales de la nación, lo cual posibilita que se transmitan conocimientos y se desarrollen soluciones ingenieriles apropiadas para cada contexto.

En el sector académico, se está llevando a cabo una investigación sobre seguridad electrónica para las industrias agropecuarias, aunque esta se centra más en los sistemas inalámbricos que son independientes en lo que respecta a energía y operaciones. Combina habilidades en gestión estratégica de operaciones, sistemas embebidos, telecomunicaciones y manejo de imágenes uniendo las bases de la ingeniería con los requerimientos modernos de innovación práctica.

La propuesta presentada satisface una necesidad concreta y cumple con los criterios de viabilidad, pertinencia y sostenibilidad. Su propósito último es consolidar la seguridad operativa en los ciclos productivos rurales, reducir brechas estructurales y aportar al desarrollo equilibrado del territorio mediante la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras y responsables.

Formulación del problema de investigación

¿De qué manera afecta a la eficacia operativa del control de seguridad de una compañía palmicultora en el cantón Puerto Quito la implementación de un sistema inalámbrico de videovigilancia, que se basa en detección por movimiento y enlaces de radiofrecuencia?

Objetivo General:

Diseñar un sistema de videovigilancia inalámbrico con detección de movimiento a través de radiofrecuencia y antenas ubicadas estratégicamente para reforzar la seguridad operativa de la empresa palmicultora en Puerto Quito.

Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar las necesidades de seguridad y condiciones técnicas en las instalaciones de la empresa palmicultora, a través de recorridos en sitio, levantamientos técnicos y topográficos, para establecer la viabilidad de implementación del sistema de videovigilancia propuesto.
2. Seleccionar los elementos tecnológicos más apropiados para el sistema de videovigilancia, como las cámaras, antenas y los enlaces de comunicación, utilizando criterios de compatibilidad, alcance y rendimiento con el objetivo de asegurar una transmisión de datos estable en áreas con infraestructuras limitadas.
3. Evaluar el desempeño técnico del sistema de videovigilancia instalado, mediante pruebas funcionales y métricas en condiciones reales de funcionamiento, para verificar su eficacia, estabilidad y cumplimiento de las especificaciones técnicas, en especial en entornos rurales.

4. Evaluar la eficacia del sistema de videovigilancia inalámbrico, en comparación con los sistemas convencionales o la ausencia de estos, para mejorar la cobertura de seguridad y el rendimiento operativo de la empresa palmicultora.

Planteamiento hipotético

Idea a Defender

La adopción de un sistema de videovigilancia inalámbrico, energéticamente autónomo y activado por detección de movimiento genera un efecto positivo y cuantificable en la eficacia operativa del control de seguridad en empresas agroindustriales que operan en entornos rurales. La solución propuesta expande el radio de cobertura, acorta el tiempo de respuesta ante situaciones de riesgo y disminuye la dependencia de la supervisión presencial clásica, que, debido a su costo, a su escasa adaptabilidad y a la escasez de infraestructura en zonas remotas, resulta en general ineficaz. La arquitectura del sistema combina la transmisión de datos mediante enlaces de radio en bandas no licenciadas, paneles solares fotovoltaicos para la alimentación, y cámaras dotadas de análisis de movimiento, creando así un monitoreo continuo, aun frente a situaciones de desconexión territorial o inconstancia del suministro eléctrico.

Esta propuesta plantea un modelo técnicamente sustentable que puede ser trasladado a otras áreas rurales del país, porque ajusta su diseño a las realidades del campo, emplea insumos disponibles en el mercado local y se alinea con los códigos y reglamentos vigentes. La correcta capitalización de la empresa disminuye la vulnerabilidad de las operaciones, minimiza el daño material y mejora el flujo de productos y materiales, además de solucionar las restricciones que todavía existen en las fincas del sector ecuatoriano. Se propone que, a partir de estos resultados, la habilidad de adaptación de la tecnología y su implementación en el momento y el lugar precisos podrían equilibrar las desventajas estructurales, lo cual la volvería más competitiva y responsable con el medioambiente.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

La creación de un sistema de videovigilancia en un entorno de acceso crítico necesita de un marco teórico para entender los fundamentos tecnológicos y las regulaciones/buenas prácticas de diseño e implementación. En este capítulo se combinan la revisión bibliográfica y el marco conceptual de sistemas de videovigilancia IP, arquitecturas de red inalámbrica, criterios de calidad de imagen y soluciones de alimentación autónoma con energía solar fotovoltaica.

Este marco tiene como objetivo trazar el camino del conocimiento desde las bases técnicas hasta las decisiones del proyecto, garantizando que cada elemento, desde la propagación radioeléctrica hasta la seguridad lógica de la red, cuente con el respaldo de marcos normativos y científicos actualizados. En este marco, se utilizan como referencia estándares globales, por ejemplo, las directrices de la ITU-R en torno a la propagación y las pérdidas, la norma IEC 62676 para los sistemas de videovigilancia o la ISO/IEC 27001 sobre seguridad informática.

De este modo, el capítulo establece el marco de referencia del proyecto, garantizando la coherencia entre la teoría, la metodología a desarrollar y los resultados a valorar en etapas posteriores.

1.1. Revisión de literatura

La videovigilancia en entornos rurales y periurbanos plantea restricciones energéticas y de conectividad que condicionan la continuidad del servicio, la calidad de imagen y la latencia de transmisión, por lo que la literatura reciente converge en dos pilares técnicos: la integración de cámaras y radios sobre enlaces inalámbricos dedicados y el uso de alimentación fotovoltaica para sitios sin red eléctrica, todo ello enmarcado por estándares que permiten traducir desempeño técnico en niveles de utilidad operativa. En este sentido, las revisiones publicadas señalan que la sostenibilidad energética, la autonomía operativa y la rápida instalación son ventajas consistentes de las soluciones solares cuando el dimensionamiento de almacenamiento y el perfil de consumo se tratan con rigor, lo cual

sostiene su adopción en puntos remotos como accesos perimetrales o áreas de embarque (Izuka et al., 2023).

En cuanto a la calidad de imagen y su relación con la cobertura útil, la norma IEC 62676-4 establece directrices de selección, planificación, instalación, puesta en marcha, mantenimiento y pruebas de sistemas de videovigilancia, e introduce los niveles DORI para describir capacidades de detección, observación, reconocimiento e identificación, expresables en píxeles por metro según la resolución efectiva y el campo de visión, lo que facilita definir requisitos objetivos desde la fase de diseño y compararlos con resultados de operación (International Electrotechnical Commission, 2018). La adopción de métricas estandarizadas evita interpretaciones subjetivas y alinea la evaluación de la solución con metas verificables de cobertura y nitidez.

La viabilidad de la transmisión de video IP sobre radioenlaces dedicados depende de la geometría del trayecto, del despeje de la primera zona de Fresnel y del margen de desvanecimiento, por lo que los modelos de propagación siguen siendo una referencia obligada en planificación. La recomendación ITU-R P.525-4 formaliza la pérdida básica por trayectoria en espacio libre en función de la distancia y la frecuencia, útil para calcular el balance de potencias del enlace; cuando existe vegetación interpuesta, la recomendación ITU-R P.833-10 aporta modelos aplicables a distintos tipos de cobertura vegetal y profundidades de follaje, e incorpora mediciones de dinámica de desvanecimiento y dispersión temporal, aspectos que inciden en SNR y estabilidad de flujo de video (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019; ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021). Asimismo, las medidas experimentales publicadas por el NIST explican la variación estacional de atenuación en árboles de hoja caduca, que tiene el potencial de alterar el presupuesto de enlace entre invierno y verano y, en consecuencia, el margen existente para preservar las tasas de bits y las latencias operativas en sistemas de videovigilancia (National Institute of Standards and Technology, 2021).

La regla práctica de mantener al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel libre de obstáculos aparece de forma recurrente en guías de ingeniería para enlaces terrestres, apoyada en la relación entre obstrucción parcial, difracción y degradación del nivel recibido; su incorporación desde la etapa de anteproyecto reduce el riesgo de

fluctuaciones en el flujo de video y contribuye a la estabilidad de parámetros como jitter y pérdida de paquetes en tramos punto a punto de corto y mediano alcance (Federal Communications Commission, 2019). Esta consideración se complementa con el cálculo de margen de desvanecimiento y con la verificación de alturas de montaje, lo que resulta especialmente pertinente cuando el enlace conecta un área administrativa con un acceso remoto donde la vegetación circundante evoluciona a lo largo del año.

Respecto a la alimentación energética de los nodos de videovigilancia, las contribuciones revisadas muestran que las arquitecturas basadas en captación solar y almacenamiento en baterías permiten operación continua si el flujo de potencia considera el consumo en reposo y en eventos, las pérdidas por conversión y la autonomía requerida, además de los patrones de irradiancia del emplazamiento; en soluciones reales se observa que el ajuste fino del modo de grabación, del bitrate y de la frecuencia de transmisión de eventos contribuye a extender la autonomía sin afectar la utilidad del registro (Izuka et al., 2023). Esta situación concuerda con la colocación de radios y cámaras en cercos perimetrales o portones, donde el cableado es caro y prevalece la disponibilidad con escaso mantenimiento.

Para concluir, la normativa y la literatura coinciden en que es preferible separar el tráfico de videovigilancia del de administración e internet, porque esta separación simplifica la gestión de capacidad, las políticas de priorización y la solución de problemas. Además, si se combinan con métricas estandarizadas sobre calidad de imagen y modelos validados de propagación, el diseño resultante puede determinar metas medibles en términos de rendimiento, como latencias máximas permitidas, tasas máximas tolerables de falsas alarmas vinculadas a la configuración de eventos y cobertura útil según DORI. La creación del proyecto está justificada por lo siguiente: un enlace de retorno proporcionado por un ISP situado en la zona administrativa, un enlace de radio dedicado al portón con subsistema fotovoltaico y la medición del rendimiento basada en parámetros radioeléctricos de conexión y criterios estandarizados (IEC, 2014; International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019; ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021).

1.2. Desarrollo teórico y conceptual

Este apartado establece los fundamentos técnicos que orientan el diseño del sistema: un backhaul provisto por un proveedor de internet, un doble enlace inalámbrico dedicado para el transporte del video y un punto remoto alimentado con energía fotovoltaica. La calidad operativa se encuadra en las directrices de la serie IEC 62676, que define criterios de selección, planificación y prueba de sistemas de videovigilancia e incorpora los niveles DORI para fijar metas objetivas de cobertura y nitidez según resolución y campo de visión (IEC, IEC 62676-4:2014. Video surveillance systems for use in security applications— Part 4: Application guidelines, 2014). La viabilidad de los enlaces inalámbricos se respalda con el cálculo de pérdida en espacio libre y el tratamiento de atenuación por vegetación, de acuerdo con las recomendaciones ITU-R P.525 y P.833, lo que guía decisiones sobre alturas de montaje, despeje de la primera zona de Fresnel, anchos de canal y márgenes de enlace compatibles con transmisión de video en tiempo real (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019; ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021). En paralelo, la operación segura exige segmentar el tráfico de videovigilancia del administrativo y aplicar controles de hardening alineados con ISO/IEC 27001, con el propósito de priorizar flujos sensibles, reducir la superficie de ataque y asegurar trazabilidad (ISO/IEC, 2022).

1.2.1 Sistemas de videovigilancia IP

Los sistemas de videovigilancia basados en protocolo de internet (VSS/IP) se han consolidado como la tecnología dominante en aplicaciones de seguridad, al permitir la integración nativa con redes de datos y posibilitar una gestión centralizada del flujo de video. A diferencia de los circuitos cerrados analógicos, en los sistemas IP el proceso de captura, transporte, almacenamiento y administración se realiza a través de infraestructura de red, lo que amplía la escalabilidad y facilita la incorporación de analítica avanzada (Zhang et al., 2021). Esta cadena de valor parte de la captura de imágenes mediante cámaras IP, que digitalizan la señal, aplican compresión y la envían a través de la red hacia plataformas de grabación o software de gestión.

Las cámaras IP presentan parámetros críticos que determinan la calidad y la utilidad del video, entre ellos la resolución en píxeles, la tasa de cuadros por segundo (fps), el bitrate

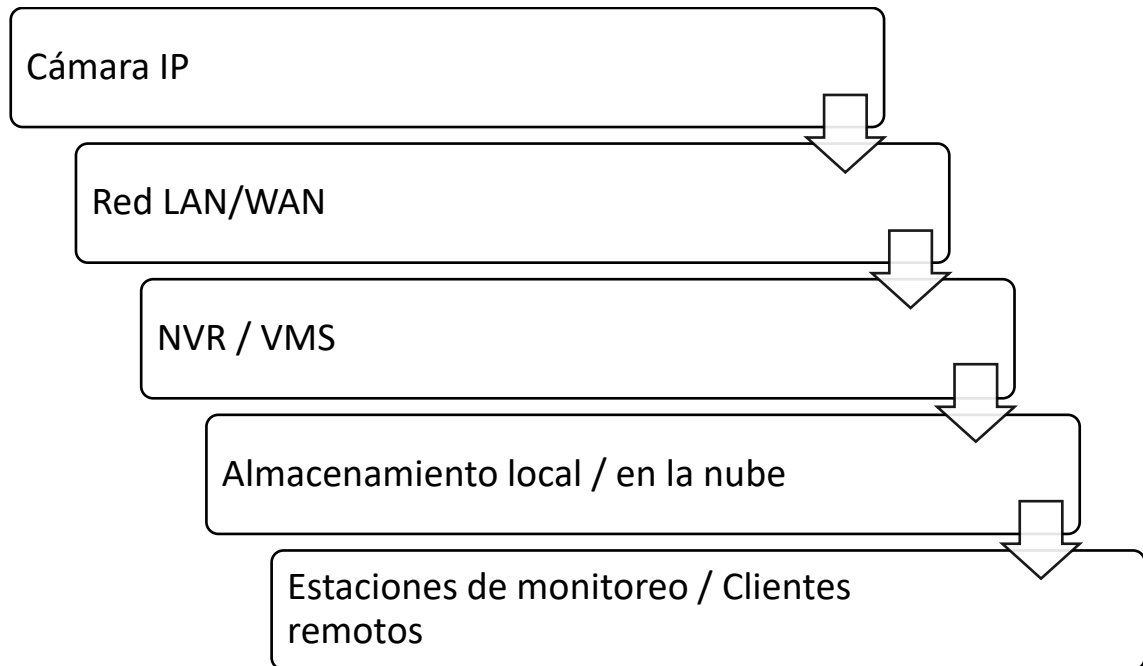
configurado, el rango dinámico amplio (WDR) y la sensibilidad lumínica expresada en lux mínimos (García y Fernández, 2020). Estos factores inciden directamente en la nitidez de la imagen y en la capacidad de cubrir escenarios de alta o baja iluminación, así como en el ancho de banda requerido para transmitir los flujos de video. La norma IEC 62676 establece que la planificación de un sistema debe considerar estos parámetros en función de los niveles de desempeño esperados, lo que conecta la configuración técnica con los objetivos de cobertura (IEC, IEC 62676-4:2014. Video surveillance systems for use in security applications—Part 4: Application guidelines, 2014).

En cuanto al almacenamiento y la gestión, los sistemas de videovigilancia IP se soportan en dos modalidades: grabadores de video en red (NVR) y software de gestión de video (VMS). Los NVR constituyen soluciones locales que reciben flujos de cámaras y los almacenan en discos internos, mientras que los VMS permiten integrar múltiples dispositivos, aplicar políticas centralizadas, habilitar acceso remoto y gestionar analíticas avanzadas como reconocimiento facial o conteo de personas (ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021). La decisión entre NVR y VMS vendrá dada por la escalabilidad, redundancia necesaria y el coste operativo.

La grabación de video puede ser continua o por evento, siendo esta última más eficiente en términos de almacenamiento y ancho de banda, ya que solo se inicia la grabación cuando se detectan movimientos, cruces de línea virtual o accesos no autorizados (Kim et al., 2022). Además, las capacidades de detección de movimiento, configuración de zonas de interés y máscaras de privacidad ayudan a optimizar los recursos y cumplir con las normativas de protección de datos. Estas técnicas disminuyen la creación de información redundante y simplifican la administración de la evidencia, lo que afecta directamente el dimensionamiento de discos y la planeación de enlaces de red.

En la Figura 1. 1 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de videovigilancia IP, donde se puede visualizar el flujo desde la cámara hasta las plataformas de almacenamiento y gestión.

Figura 1. 1: Diagrama de bloques de un sistema de videovigilancia IP



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de este flujo revela que cada eslabón de la cadena, desde la captura hasta el transporte, pasando por el almacenamiento y la administración, establece limitaciones técnicas que necesitan ser optimizadas para garantizar que las operaciones se mantengan y que los objetivos se cumplan. La calidad de la imagen, así como la capacidad del sistema en cuanto a consumo de ancho de banda y almacenamiento, dependen de que las cámaras, los códecs y las tasas de compresión estén configurados correctamente y de que se aplique una política apropiada para grabar.

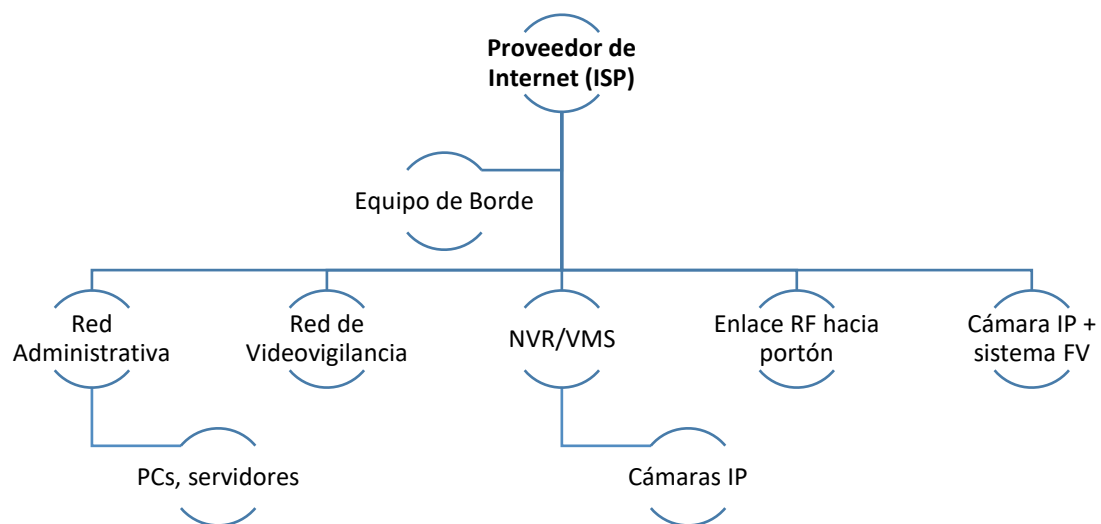
1.2.2 Arquitectura con ISP externo y segmentación de red

En el sistema propuesto, el proveedor de servicios de internet (ISP) cumple el rol de backhaul, al constituir el punto de acceso primario para todo el tráfico de datos. La señal del ISP se recibe en el área administrativa, donde se ubica el equipo de borde encargado de distribuir la conectividad hacia dos dominios diferenciados: la red administrativa y la red de videovigilancia. Es una buena práctica de diseño la separación lógica por direccionamiento privado, ya que permite el aislamiento de los flujos de video, su priorización y simplifica el diagnóstico de fallas (IEC, 2014; ISO/IEC, 2022).

La segmentación de la red ofrece ventajas en tres niveles: seguridad, al reducir la superficie de ataque y limitar el acceso a los dispositivos de videovigilancia; gestión, al hacer posible detectar problemas sin afectar la red empresarial; y calidad del servicio, al posibilitar que se dé prioridad al tráfico de video y evitar pérdidas de paquetes y latencia. Este enfoque se encuentra alineado con las recomendaciones de la norma ISO/IEC 27001, que sugiere implementar medidas de aislamiento lógico y controles de acceso para garantizar la confidencialidad e integridad de los sistemas de información (ISO/IEC, 2022).

En la Figura 1. 2 se ilustra la topología lógica que integra el backhaul provisto por el ISP con la red de videovigilancia segmentada.

Figura 1. 2: Topología lógica con backhaul del ISP y red de videovigilancia



Fuente: Elaboración propia a partir de Información técnica

En este diagrama se ilustra cómo el tráfico administrativo y el de videovigilancia fluyen en VLAN separadas, pero comparten el mismo punto de entrada en el dispositivo de borde. En la videovigilancia se incorpora el NVR o VMS en el área administrativa y se conecta, a través de radioenlace dedicado, la cámara ubicada en el portón con alimentación fotovoltaica. De este modo, el video crítico tiene su propio canal y no compite con el tráfico corporativo, lo que hace que el sistema sea más confiable y resistente a fallos de red.

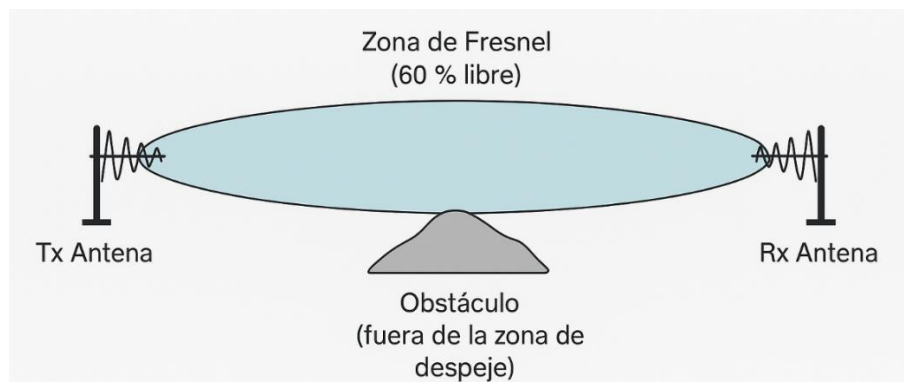
1.2.3 Enlaces inalámbricos punto a punto en 5 GHz: fundamentos

El diseño de enlaces inalámbricos punto a punto en la banda de 5 GHz requiere considerar los principios de propagación en microondas, donde la transmisión se comporta principalmente en condiciones de línea de vista (LoS). La energía propagada se dispersa en un volumen elíptico conocido como zona de Fresnel, cuyo despeje debe mantenerse al menos en un 60 % para minimizar la difracción y las pérdidas adicionales por obstáculos intermedios (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019).

La distancia entre las antenas, la frecuencia de trabajo y el obstáculo más próximo son los factores que determinan la primera región de Fresnel. La altura libre de obstáculos mínima, que es crucial en áreas rurales con vegetación o terreno irregular, está determinada por su radio en el punto medio del enlace. Las pautas ITU-R P.525, que se refieren a las pérdidas en espacio libre, y las pautas ITU-R P.833, que hacen referencia a la atenuación en la vegetación, son los puntos de referencia técnicos para determinar márgenes de enlace y viabilidad de cada camino (ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021).

En la Figura 1. 3 se esquematiza la primera zona de Fresnel y el criterio de despeje recomendado para enlaces de 5 GHz.

Figura 1. 3: Representación de la primera zona de Fresnel y despeje



Fuente: Elaboración propia.

El cumplimiento del despeje de la zona de Fresnel garantiza un nivel de señal recibido estable, con relación señal/ruido (SNR) suficiente para sostener modulaciones de alta eficiencia. Cuando la zona se ve parcialmente obstruida, se incrementa la probabilidad de

pérdidas, fluctuaciones de señal (fading) y jitter, lo cual degrada la transmisión de video en tiempo real.

Además, el presupuesto de enlace anticipa la factibilidad del sistema en términos de potencia transmitida, ganancia de antenas, pérdidas por propagación y sensibilidad del receptor. Esta proporción, junto con las métricas operativas RSSI, SNR y CCQ, determina la fiabilidad del enlace y la disponibilidad del servicio.

En la Tabla 1. 1 se muestra un ejemplo de presupuesto de enlace con las especificaciones de un radioenlace en 5 GHz.

Tabla 1. 1: Presupuesto de enlace: parámetros y balance de potencias

Parámetro	Valor estimado
PTX (Potencia Tx)	20 dBm
GTX (Ganancia Tx)	23 dBi
Pérdidas (cable + FS)	-120 dB
GRX (Ganancia Rx)	23 dBi
PRX (Potencia Rx)	-54 dBm
SNR	30 dB
Margen de desvanec.	10 dB

Fuente: Elaboración propia con base en parámetros objetivo del proyecto.

Este presupuesto indica que, con una potencia de transmisión de 20 dBm y antenas direccionales de 23 dBi, el nivel de señal recibido es suficiente para sostener modulaciones de alto rendimiento en la banda de 5 GHz, manteniendo un margen adecuado frente a desvanecimientos y garantizando estabilidad en el transporte de video IP.

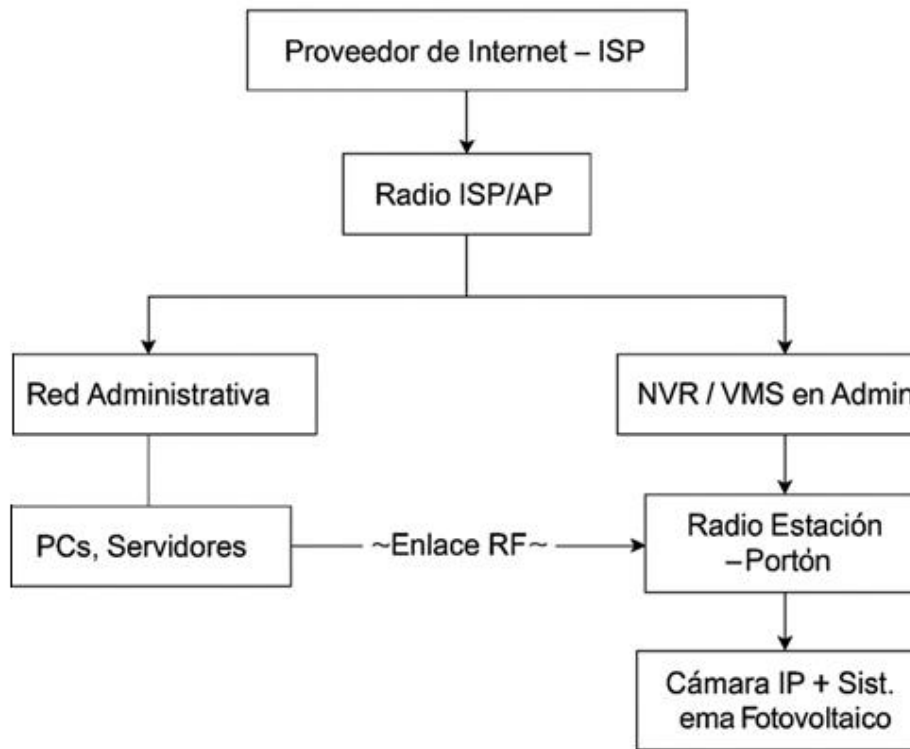
1.2.4 Topología específica del proyecto: doble enlace administración–portón

El sistema de videovigilancia propuesto se apoya en una arquitectura de doble enlace inalámbrico. El primer tramo conecta el proveedor de servicios de internet (ISP) con la zona administrativa de la organización, donde se recibe la señal y se centraliza la gestión. En este punto se ubican el router de borde y el NVR/VMS, encargados de administrar tanto el tráfico administrativo como el de videovigilancia. La sección administrativa se une con la principal en el segundo segmento, que es donde se encuentra la cámara IP y su sistema de alimentación solar. Esta habilidad posibilita el aislamiento de los dominios de red, la optimización del empleo de recursos y la garantía del servicio en las áreas críticas del recinto (IEC, 2014).

El doble salto es necesario para separar la red de administración de la de videovigilancia y evitar interferencias en el flujo de datos. Asimismo, esta solución ofrece escalabilidad porque permite que la red se extienda a otras zonas importantes sin necesidad de cambiar la infraestructura del proveedor de servicios de internet. Con respecto al mantenimiento, contar con un nodo en el área administrativa posibilita que se verifiquen los NVR, se supervisen los radios y se ejecuten actualizaciones. Además, tener un enlace exclusivo hacia el portón asegura que la cámara opere de forma independiente usando su propia fuente de energía de respaldo (ISO/IEC, 2022).

Se presenta en la Figura 1. 4 la topología particular del proyecto, que incluye el enlace hacia la zona administrativa por parte del ISP y el enlace dedicado hacia el portón.

Figura 1. 4: Topología específica del proyecto con doble enlace RF



Fuente: Elaboración propia a partir de Información técnica

El esquema refleja cómo el flujo de tráfico se estructura en dos niveles: el primero, que garantiza la conectividad desde el ISP hasta la administración, y el segundo, que dedica un enlace independiente a la cámara ubicada en el portón. Esta configuración permite mantener baja latencia, aprovechar direccionalidad de antenas en 5 GHz y asegurar la operación de la cámara incluso en escenarios de falla parcial de la red administrativa.

1.2.5 Gestión de ancho de banda, codificación y almacenamiento

La gestión de ancho de banda y almacenamiento en sistemas de videovigilancia IP depende de parámetros interrelacionados como el códec, la resolución, la tasa de cuadros por segundo (fps) y el bitrate. Los códecs más empleados, H.264 y H.265, permiten comprimir la señal de video reduciendo la demanda de red, aunque con diferencias en eficiencia. Mientras que H.264 ofrece un equilibrio entre calidad y compatibilidad, H.265 alcanza hasta un 50 % de ahorro en ancho de banda manteniendo la misma calidad visual,

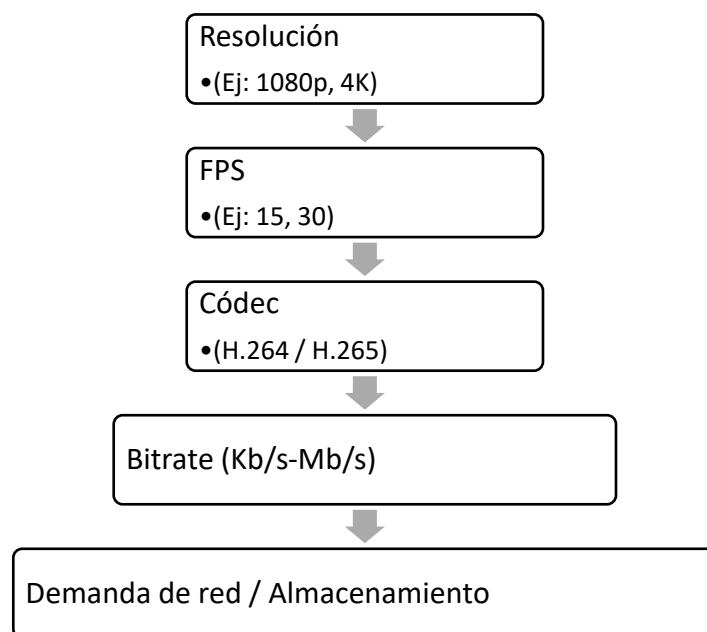
lo que lo convierte en la opción preferente para entornos con restricciones de enlace (Wu et al., 2020).

La combinación de FPS, resolución y bitrate da lugar a los perfiles de escena. Es indispensable establecer tasas de bits y fps altas (25-30) en lugares con mucho movimiento, como pasillos y entradas, mientras que en zonas con poco movimiento son suficientes las tasas de bits y fps bajas. El CBR mantiene una tasa fija en enlaces limitados, pero el VBR optimiza la transmisión y el almacenamiento adaptando la compresión a la complejidad de la escena (García y Fernández, 2020).

Los buffers de transmisión y los mecanismos de control de jitter y latencia son determinantes para asegurar continuidad en la visualización remota. Una SNR adecuada y un margen de enlace suficiente permiten sostener modulaciones de alta eficiencia y evitar degradaciones en la calidad del video transmitido en tiempo real (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019).

En la Figura 1. 5 se representa la relación entre parámetros de codificación y demanda de ancho de banda para video IP.

Figura 1. 5: Relación conceptual entre códec, resolución, fps y demanda de red



Fuente: Elaboración propia.

La optimización del almacenamiento se logra configurando políticas de grabación continua o por eventos. La grabación por detección de movimiento o zonas de interés puede reducir entre un 40 % y 70 % el consumo de disco, al descartar horas de video estático. Estos ahorros impactan directamente en el dimensionamiento de discos duros o sistemas NAS, así como en el tiempo de retención de las grabaciones, que suele definirse entre 15 y 30 días según normativa y política de seguridad (IEC, IEC 62676-4:2014. Video surveillance systems for use in security applications—Part 4: Application guidelines, 2014).

En la Tabla 1. 2 se resume la estimación de demanda de red y almacenamiento bajo diferentes perfiles de escena y políticas de grabación.

Tabla 1. 2: Estimación de ancho de banda y almacenamiento por perfil de escena

Perfil de escena	Resolución / fps	Bitrate estimado	Política de grabación	Almacenamiento diario	Observaciones
Acceso principal	1080p / 30 fps	4 Mbps	Continua	43 GB	Escenario crítico, tráfico alto
Perímetro	720p / 20 fps	2 Mbps	Por eventos	10–15 GB	Activación en movimientos
Zona de oficina	1080p / 15 fps	1.5 Mbps	Continua	16 GB	Actividad media, control administrativo
Portón remoto	1080p / 20 fps	3 Mbps	Por eventos	12 GB	Activado por detección de acceso

Fuente: Elaboración propia con base en parámetros objetivo del proyecto.

El análisis de estos perfiles permite dimensionar la red y los sistemas de almacenamiento considerando tanto las necesidades de seguridad como la optimización de recursos. El uso de códecs eficientes, combinado con políticas de grabación inteligentes, ofrece un balance adecuado entre calidad de imagen, estabilidad del enlace y sostenibilidad de la infraestructura.

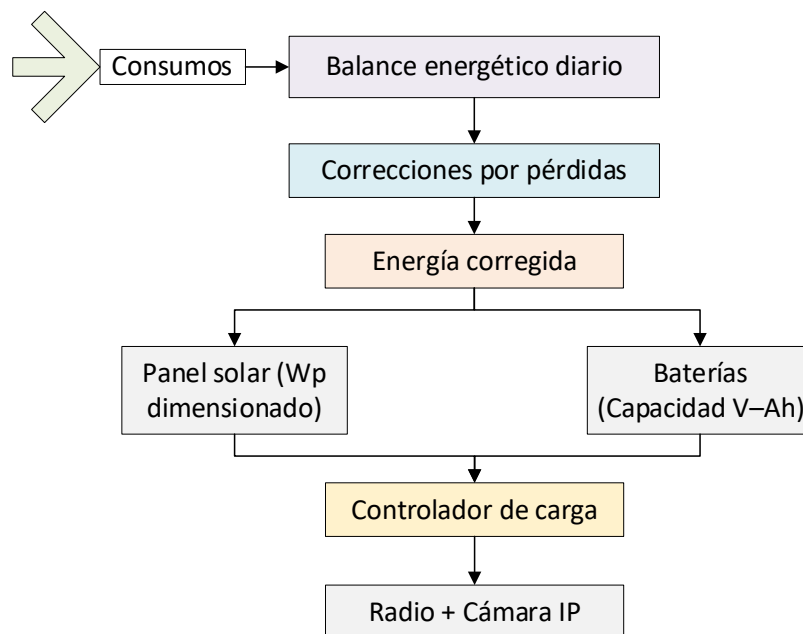
1.2.6 Alimentación fotovoltaica para el punto remoto de videovigilancia

El punto remoto ubicado en el portón del recinto integra una cámara IP y un radio de enlace, ambos alimentados por un subsistema fotovoltaico diseñado para operar de forma autónoma. El dimensionamiento parte del cálculo del balance energético diario de los equipos, considerando tanto el consumo en reposo como en transmisión activa. A este consumo se incorporan factores de corrección por pérdidas en conversión, cableado y condiciones ambientales, para determinar la energía corregida que debe ser suministrada por los paneles solares (Pérez-Lombard et al., 2020).

La eficiencia global del sistema depende de la eficiencia de cada uno de sus componentes: las baterías, el regulador de carga, los paneles solares y el cableado. En climas estacionales, la autonomía se calcula en función de los días que necesita sin sol, un dato importante. También, para prolongar la vida útil de los elementos y reducir la frecuencia de mantenimiento, se deben incorporar protecciones eléctricas contra descargas profundas, sobrecargas y fluctuaciones de tensión (Mellit y Kalogirou, 2021).

El esquema para dimensionar el subsistema fotovoltaico del portón y la cámara se presenta en la Figura 1. 6.

Figura 1. 6: Esquema de dimensionamiento fotovoltaico del punto remoto



Fuente: Elaboración propia con los consumos medidos del proyecto.

La selección de paneles solares se basa en la energía corregida, asegurando que su potencia pico (Wp) supere el consumo diario más un margen de seguridad. En este caso, el dimensionamiento de baterías se lleva a cabo en función de la autonomía necesaria, que es, como mínimo, de dos días de respaldo. Factores como la política de grabación y la tasa de bits configurada inciden directamente en el consumo energético, dado que mayores tasas de transmisión y procesamiento prolongado incrementan la demanda de potencia en cámara y radio.

En la Tabla 1. 3 se presenta el resumen de potencia pico, almacenamiento requerido y autonomía proyectada.

Tabla 1. 3: Resumen de dimensionamiento FV y autonomía

Carga diaria (Wh)	Pérdidas (%)	Energía corregida (Wh)	Panel propuesto (Wp)	Batería (V-Ah)	Autonomía (días)
40 Wh (Cámara + Radio)	30%	52 Wh	60 Wp	12 V – 20 Ah	2 días

Fuente: Elaboración propia con base en parámetros del proyecto.

Este dimensionamiento confirma que un panel de 60 Wp, acompañado de una batería de 12 V y 20 Ah, ofrece la autonomía necesaria para sostener el sistema durante dos días sin irradiancia. Esta capacidad, sumada a las medidas de protección y mantenimiento preventivo, garantiza la operación confiable del subsistema en el entorno del portón.

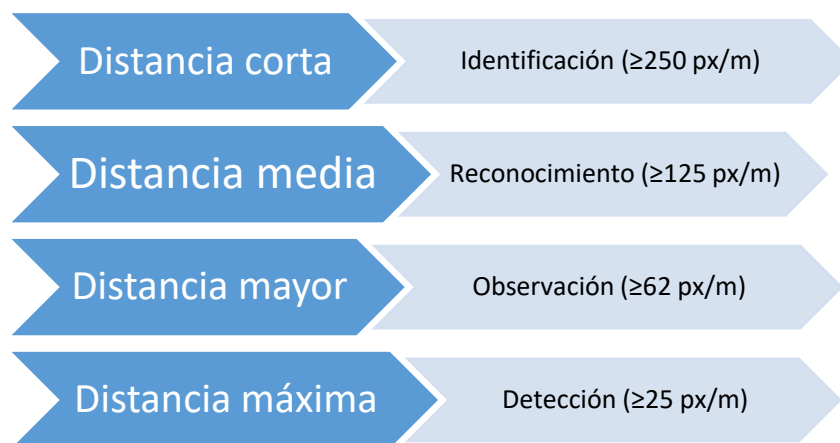
1.2.7 Criterios de desempeño de imagen y cobertura útil

La evaluación de la cobertura de un sistema de videovigilancia requiere parámetros estandarizados que relacionen resolución, distancia y calidad de imagen percibida. La norma IEC 62676 establece los niveles DORI (Detección, Observación, Reconocimiento e Identificación), que permiten cuantificar la capacidad de una cámara en función de los píxeles disponibles por metro en la escena. Este criterio garantiza que el diseño se quede en la claridad real con la que se logren los objetivos de seguridad (IEC, IEC 62676-4:2014. Video surveillance systems for use in security applications—Part 4: Application guidelines, 2014).

La densidad de detección necesita unos 25 píxeles por metro para poder diferenciar una persona u objeto. La mirada requiere unos 62 píxeles por metro para reconocer detalles de conducta. El nivel de reconocimiento se alcanza con unos 125 píxeles por metro, posibilitando determinar con certeza la identidad conocida de un sujeto. Finalmente, la identificación precisa más de 250 píxeles por metro, asegurando que un individuo pueda ser reconocido de manera inequívoca (British Security Industry Association, 2020).

En la Figura 1. 7 se ilustran los niveles DORI y su aplicación a la evaluación de cobertura útil en el proyecto.

Figura 1. 7: Niveles DORI y criterios de evaluación de cobertura



Fuente: Elaboración propia con base en IEC 62676.

Esta herramienta permite definir el campo de visión de cada cámara y verificar el porcentaje de cobertura sobre el área crítica del portón. La resolución, el ángulo de montaje y la lente determinan en conjunto la nitidez útil en exteriores, con luz y distancias variables. Para el proyecto se busca asegurar un mínimo reconocimiento en puntos de acceso y detección perimetral, con una cobertura superior al 80 % del área catalogada como crítica.

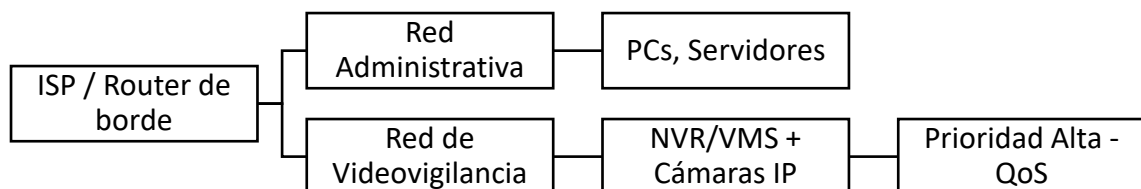
1.2.8 Operación segura: segmentación, priorización y hardening

Un aspecto crítico en la operación de sistemas de videovigilancia IP es la implementación de medidas que aseguren la continuidad y confiabilidad del servicio. Esto comienza con la separación de redes: la administrativa y la de video deben mantenerse aisladas, ya sea

mediante subredes o VLAN, para evitar que el tráfico corporativo interfiera con los flujos de video. De esta manera se preserva el desempeño del sistema y se reduce la superficie de ataque. A su vez, la priorización del tráfico de video a nivel de red garantiza que los paquetes críticos no sufran retardos en escenarios de congestión, lo que se alinea con las recomendaciones de calidad de servicio (QoS) en redes IP (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019).

En la Figura 1. 8 se representa la separación lógica de la red de videovigilancia y una política simple de priorización.

Figura 1. 8: Segmentación lógica y priorización del tráfico de videovigilancia



Fuente: Elaboración propia.

Más allá de la segmentación y priorización, endurecer dispositivos es esencial para operar de forma segura. Esto requiere cambiar las contraseñas predeterminadas, mantener el firmware actualizado, deshabilitar los servicios innecesarios, ACL y programar copias de seguridad automáticas y auditorías registradas. Estos controles posibilitan auditar incidentes, recuperarse ante fallos o ataques y fortalecer la seguridad de la infraestructura.

La tabla 1. 4 contiene una lista de controles técnicos sugeridos, su propósito y cómo se van a aplicar en el proyecto.

Tabla 1. 4: Controles técnicos mínimos para operación segura en VSS

Control	Objetivo	Implementación en el proyecto	Evidencia
Credenciales seguras	Evitar accesos no autorizados	Cambio inmediato de claves predeterminadas	Capturas de configuración
Actualización de firmware	Corregir vulnerabilidades	Política trimestral de actualización	Registro de versiones
Servicios mínimos habilitados	Reducir superficie de ataque	Desactivación de protocolos no requeridos	Listado de puertos activos
Listas de control de acceso (ACL)	Restringir tráfico por dirección/puerto	Configuración en radios y NVR	Logs de tráfico filtrado
Respaldos automáticos	Asegurar continuidad y recuperación	Copias semanales en servidor interno	Carpeta de backups
Registros y auditoría	Trazabilidad de eventos y fallas	Habilitación de logs en NVR y controladores de red	Archivos de log

Fuente: Elaboración propia con base en buenas prácticas de seguridad de la información.

La integración de estos controles se articula con la norma ISO/IEC 27001, que establece lineamientos para la gestión de seguridad de la información, y con los criterios de desempeño técnico definidos en la IEC 62676, que aseguran la confiabilidad de los sistemas de videovigilancia en operación.

1.2.9 Síntesis conceptual aplicada al caso

La integración de los conceptos tratados en los apartados anteriores permite justificar de manera coherente las decisiones adoptadas en el diseño del sistema de videovigilancia. La elección de un doble enlace inalámbrico responde tanto a la necesidad de garantizar la continuidad del servicio como al aislamiento del tráfico crítico respecto a la red administrativa. Este criterio se apoya en las recomendaciones de la ITU-R sobre propagación y pérdidas en radioenlaces, que orientan la factibilidad técnica de los tramos ISP administración y administración portón (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019; ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021).

De igual manera, la priorización del tráfico de video y la segmentación lógica de las redes aseguran la estabilidad de los flujos de datos a pesar de que se compartan con servicios administrativos. La seguridad y la auditabilidad del sistema se ven reforzadas por estas acciones, así como por los controles de hardening fundamentados en la norma ISO/IEC 27001.

Para establecer el alcance práctico de las cámaras en exteriores, con objetivos de cobertura que se puedan verificar, se aplican directamente los criterios DORI establecidos por la norma IEC 62676, en lo que respecta a la calidad de imagen. Por último, el dimensionamiento fotovoltaico garantiza la operación autónoma del punto remoto, integrando balances energéticos, selección de paneles, baterías y protecciones para mantener la disponibilidad del sistema incluso en condiciones adversas (Mellit y Kalogirou, 2021).

En la Figura 1. 9 se presenta la trazabilidad entre los conceptos desarrollados, las decisiones de diseño y los indicadores que se evaluarán en etapas posteriores.

Figura 1. 9: Mapa de trazabilidad: ideas teóricas → elección del diseño → indicadores

Conceptos Teóricos	Decisiones de Diseño	Indicadores
Propagación RF (ITU-R)	Doble enlace ISP–Admin–Portón	Margen de enlace, SNR
Segmentación y QoS (ISO)	Separación de redes + priorización video	Latencia, continuidad de video
Norma IEC 62676 (DORI)	Selección de cámaras y ubicación	% de cobertura útil
Energía FV (literatura PV)	Dimensionamiento paneles y baterías	Autonomía en días de operación
Hardening (ISO 27001)	Configuración de seguridad y trazabilidad	Evidencias de control y auditoría

Fuente: Elaboración propia a partir de la evidencia técnica del proyecto.

Este mapa resume la trazabilidad conceptual, desde la forma en que cada principio técnico se convierte en una decisión de diseño hasta cómo esas decisiones generan indicadores específicos, los cuales serán examinados en el capítulo 5. Esto garantiza que la justificación teórica, los objetivos prácticos del proyecto y el método sugerido sean coherentes entre sí.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

El presente estudio empleó un enfoque aplicado no experimental para verificar un prototipo de videovigilancia sin cables en una región rural. La metodología se fundamentó en el marco de Design Science Research (DSR), que guio la investigación a través de sus etapas de diseño, rigor y relevancia. Además, se utilizó el método PRISMA para realizar una revisión sistemática de literatura.

La estrategia metodológica incluyó la caracterización de la población y la muestra, el alcance y tipo del diseño, así como la descripción del contexto de la investigación y las técnicas e instrumentos usados para recopilar datos. El tratamiento de la información se enfocó en indicadores técnicos: latencia, estabilidad del enlace, cobertura, tasa de alarmas erróneas e intensidad de señal. Se realizó una comparación con las regulaciones locales relacionadas con el espectro radioeléctrico y las normas globales, como la IEC 62676 y la ISO/IEC 27001.

Esta metodología garantiza, con esta estructura, que sea pertinente respecto al problema presentado, factible en su implementación y rigurosa en la comprobación de los resultados.

2.1. Contexto de la investigación

La investigación se desarrolló en una empresa dedicada al cultivo y procesamiento de palma africana ubicada en el cantón Puerto Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. Esta zona se caracteriza por un clima húmedo tropical, con precipitaciones anuales superiores a los 3.000 mm y una temperatura media de 25 °C, condiciones que favorecen la producción de palma, pero que al mismo tiempo imponen exigencias técnicas en la instalación y operación de sistemas electrónicos de seguridad (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2022). La empresa está ubicada en un complejo agroindustrial que alberga centros de acopio, oficinas administrativas, acceso principal y zona de embarque. Las misiones operan en áreas remotas con poca conectividad de banda ancha y cortes de energía que impiden el uso de tecnologías de vigilancia convencionales.

El portón principal de acceso es el punto crítico para controlar el flujo vehicular y peatonal en las zonas críticas identificadas. En los puntos donde se cruzan los flujos logísticos, la ausencia de vigilancia constante genera peligros inmediatos de incursiones, pérdidas de suministros y retrasos en la cadena de distribución. En el portón, al concentrar la exposición hacia el exterior y ser la primera línea de defensa, se arriesga toda la operación. Esto contrasta con las oficinas o el centro de acopio, donde los incidentes pueden ser mitigados mediante controles internos. Por esta razón, se eligió como lugar piloto para el diseño y la implementación de un prototipo de videovigilancia inalámbrica alimentada por energía solar fotovoltaica, ya que constituye el punto más crítico y el contexto más apropiado para confirmar la relevancia de la solución que se planteó.

2.2. Diseño y alcance de la investigación

El presente estudio se enmarca en un diseño no experimental de carácter aplicado, ya que no se manipularon variables independientes en un entorno controlado, sino que se observó y evaluó el desempeño de un prototipo tecnológico instalado en condiciones reales de operación. Este tipo de diseño resulta pertinente en investigaciones orientadas a validar soluciones prácticas en escenarios concretos, donde la prioridad es medir el rendimiento de un sistema frente a parámetros técnicos predefinidos (Hernández y Mendoza, Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, 2018).

El estudio tiene un enfoque exploratorio y descriptivo, ya que trata un tema que ha sido escasamente estudiado en la literatura nacional: el establecimiento de sistemas de videovigilancia autónomos e inalámbricos en zonas rurales, en agroindustrias. Es caracterizador porque permite describir el estado actual de la seguridad y la conectividad de la empresa evaluada, así como registrar el desempeño del prototipo en términos de métricas como la estabilidad de enlaces, la latencia, el RSSI y la tasa de falsas alarmas. Este alcance aspira a crear conocimiento utilizable y replicable, proporcionando evidencia empírica que apoye los marcos teóricos de seguridad electrónica rural (Creswell y Creswell, 2018).

De esta manera, el diseño metodológico asegura que la investigación sea coherente con el problema, la estrategia de intervención y los resultados, proporcionando un marco legítimo para la toma de decisiones tecnológicas en el ámbito rural.

2.3. Tipo y métodos de investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo aplicado, orientado a la validación empírica de un prototipo de videovigilancia en condiciones reales de operación en un entorno rural. Este tipo de enfoque resulta pertinente cuando el propósito central es medir el comportamiento de una solución tecnológica mediante indicadores técnicos, y a partir de ellos valorar su eficacia y replicabilidad en contextos similares (Creswell y Creswell, 2018).

En términos metodológicos, se recurrió a tres métodos principales:

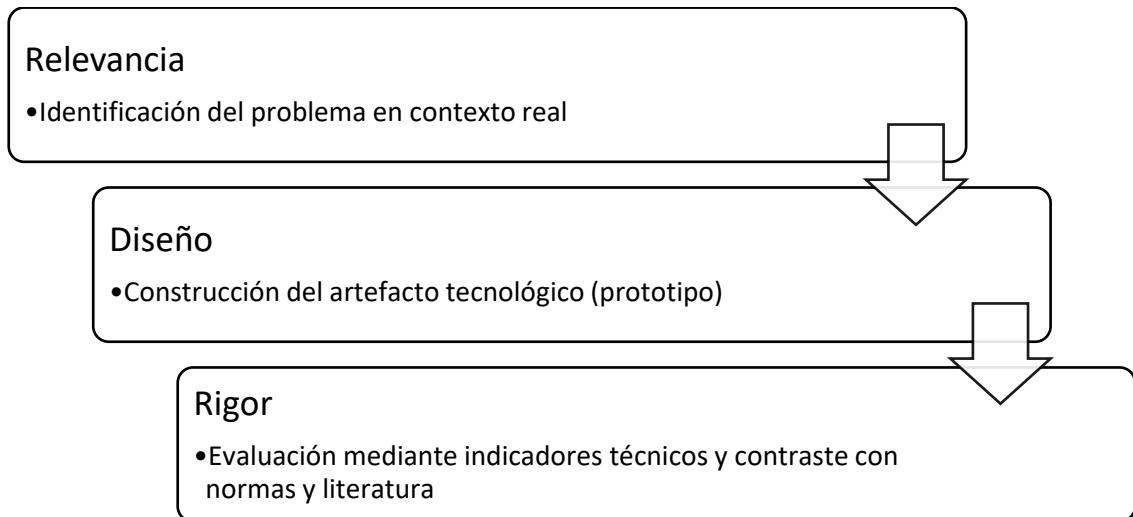
- Inductivo, ya que el análisis partió de un caso particular el portón de acceso de una empresa palmicultora para generar conclusiones susceptibles de extrapolación a otros espacios rurales con condiciones semejantes.
- Analítico, que permitió descomponer el sistema en sus componentes tecnológicos (cámaras IP, antenas de transmisión y recepción, enlaces de radiofrecuencia y subsistema fotovoltaico), de manera que se evaluara la contribución individual de cada elemento al funcionamiento global.
- Sintético, mediante el cual se integraron los hallazgos previos para configurar un prototipo funcional, asegurando coherencia entre desempeño técnico, consumo energético y seguridad de operación.

Para estructurar estas etapas se adoptó el marco Design Science Research (DSR), una metodología ampliamente empleada en la investigación aplicada que vincula la identificación de problemas reales con el diseño y validación de soluciones tecnológicas (Peffer et al., 2007). El DSR articula el proceso en tres fases:

1. **Relevancia:** identificación de la necesidad de un sistema de videovigilancia inalámbrico autónomo en un entorno rural.
2. **Diseño:** construcción del prototipo con cámaras IP, enlaces de radiofrecuencia y alimentación fotovoltaica.
3. **Rigor:** evaluación del sistema a partir de indicadores técnicos y su contraste con la literatura científica y las normas internacionales (IEC 62676; ISO/IEC 27001).

En la Figura 2. 1 se muestra el flujograma metodológico del Design Science Research, el cual guía el proceso de esta investigación desde el reconocimiento del problema hasta la verificación de la solución.

Figura 2. 1: Flujograma del marco Design Science Research (DSR)



Fuente: Elaboración propia con base en Peffers et al. (2007).

En el flujograma se puede observar cómo la metodología garantiza la alineación entre el problema encontrado, el diseño del prototipo y su validación con estándares internacionales, asegurando pertinencia, viabilidad y rigor científico en la investigación.

2.4. Población y muestra

La población del estudio estuvo conformada por las áreas críticas de la empresa palmicultora localizada en el cantón Puerto Quito, identificadas en la fase de diagnóstico inicial: el centro de acopio, las oficinas administrativas, la zona de embarque y el portón de acceso principal. Cada uno de estos espacios presenta vulnerabilidades particulares relacionadas con la custodia de bienes, el control documental, la logística de transporte y el flujo de personal, aspectos que justifican su consideración dentro del universo de análisis (García y Ramírez, 2021).

No obstante, la muestra se delimitó al portón de acceso, el cual fue seleccionado como sitio piloto para la implementación del sistema de videovigilancia inalámbrico con respaldo fotovoltaico. La elección se fundamentó en criterios estratégicos de seguridad,

ya que este punto concentra el tránsito de vehículos y personas, constituye el primer filtro de control de ingreso y salida, y representa el área de mayor exposición a amenazas externas. Se buscó garantizar un caso crítico para examinar de manera rigurosa la idoneidad del prototipo diseñado y validar su viabilidad en situaciones reales de trabajo al darle prioridad al portón (Hernández y Mendoza, 2020).

Dos razones explican la decisión de no operar en paralelo en todas las áreas críticas: En primer lugar, la viabilidad técnica y económica, dado que establecer sistemas autónomos inalámbricos requiere de inversiones en cámaras, paneles solares y equipos de transmisión que superaban los fondos disponibles para una primera implementación. En segundo lugar, la necesidad de una validación focalizada, que permitiera medir indicadores de desempeño con mayor precisión en un entorno delimitado antes de escalar la solución hacia el resto de las instalaciones. Bajo esta lógica, el portón de acceso se constituyó en la muestra representativa y en el entorno de validación del prototipo, con la perspectiva de ampliación progresiva hacia las demás áreas identificadas.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación utilizó una combinación de técnicas de medición técnica y métodos de revisión sistemática de literatura para garantizar rigor y trazabilidad en los resultados.

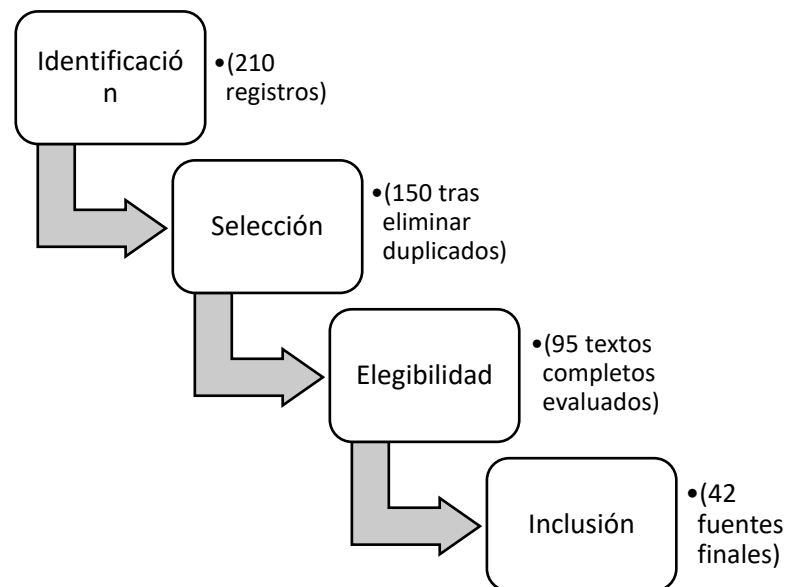
En el plano experimental, las técnicas se centraron en la medición de variables operativas del sistema de videovigilancia, particularmente la intensidad de señal (RSSI), la latencia de transmisión, la estabilidad de los enlaces y la tasa de falsas alarmas. Estas métricas son relevantes para analizar sistemas de comunicación inalámbrica, puesto que deciden la precisión de la supervisión a distancia y la confiabilidad del enlace (International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019).

Se empleó el programa Radio Mobile para validar y simular enlaces de radiofrecuencia dentro de la banda de 5 GHz. Se empleó Google Earth con el objetivo de realizar un levantamiento georreferenciado en la zona de estudio e identificar las posibles barreras en las trayectorias de propagación. Para documentar los valores medidos en condiciones reales, también se emplearon los registros generados por las cámaras IP y las radios de transmisión durante las pruebas de campo.

La metodología PRISMA, que es muy conocida por garantizar la transparencia y la posibilidad de replicar el proceso de identificación y selección de estudios relevantes, fue empleada en la revisión de literatura (Page et al., 2021). El procedimiento comprendió cuatro etapas: identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los documentos revisados, priorizando artículos científicos, normativas internacionales y tesis de posgrado vinculadas a la videovigilancia IP, los enlaces inalámbricos y los sistemas fotovoltaicos aplicados a seguridad electrónica.

En la Figura 2. 2 se presenta el flujograma del método PRISMA adaptado a esta investigación, en el que se ilustran las fases seguidas desde la identificación inicial de documentos hasta la inclusión final de las fuentes seleccionadas.

Figura 2. 2: Flujograma PRISMA aplicado a la revisión sistemática de literatura



Fuente: Elaboración propia con base en Page et al. (2021).

En el flujograma se puede observar que de 210 registros iniciales localizados en bases académicas y repositorios institucionales se depuraron 150 documentos tras eliminar duplicados. Luego, se verificó la elegibilidad de 95 textos completos, de los cuales se seleccionaron 42 fuentes relevantes que fundamentaron la investigación.

2.6. Procesamiento de la evaluación: Validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados para el levantamiento de información.

El análisis de los datos recogidos en el prototipo se llevó a cabo a través de un análisis descriptivo, buscando organizar, resumir y caracterizar los indicadores técnicos establecidos en la etapa de diseño. Se desarrollaron hojas de registro y gráficas para sistematizar variables como intensidad de señal (RSSI), latencia de paquetes, estabilidad de enlaces, cobertura y tasa de falsas alarmas. Este enfoque permitió observar el comportamiento del sistema en diferentes condiciones ambientales y operativas, sin aplicar pruebas inferenciales, dado que el objetivo del estudio no fue establecer relaciones causales, sino validar el desempeño de un artefacto tecnológico en un contexto específico (Hernández y Mendoza, 2020).

En cuanto a la validez de la información, se aseguró a partir de la comparación de los resultados obtenidos con parámetros de referencia establecidos en estándares internacionales. La serie IEC 62676 se tomó como marco de evaluación del desempeño de sistemas de videovigilancia en lo relativo a calidad de imagen, retención de grabaciones y confiabilidad de los dispositivos. La norma ISO/IEC 27001:2022 permitió verificar la adecuación de las medidas de seguridad de la información, especialmente en lo relacionado con la gestión de accesos, trazabilidad y respaldo de datos. Finalmente, las recomendaciones ITU-R se utilizaron como guía para validar aspectos vinculados con la propagación y las pérdidas de radiofrecuencia en la banda de 5 GHz, considerando los efectos de la distancia, la zona de Fresnel y los posibles obstáculos en línea de vista (IEC, 2014; ISO/IEC, 2022; International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, 2019).

Se garantizó la confiabilidad de los datos al realizar las pruebas en diversas condiciones y momentos laborales. Con el propósito de confirmar su consistencia y eliminar sesgos por condiciones momentáneas, cada indicador se midió en varias sesiones. Asimismo, se empleó la triangulación técnica, cotejando las mediciones de campo con las simulaciones anteriores en Radio Mobile y con las proyecciones georreferenciadas en Google Earth. Este proceso reforzó la validez de los resultados y aseguró que estos fueran una representación genuina del sistema.

El estudio se fortaleció metodológicamente con un análisis descriptivo basado en estándares globales y complementado con experimentos repetidos en la vida real. Esto permitió establecer un ambiente de confianza para discutir los resultados y tener evidencia suficiente para determinar si la solución tecnológica se puede replicar en otras comunidades rurales con características similares.

2.7. Criterios de rigor metodológico

El rigor metodológico del presente estudio se garantizó a través de la articulación de tres ejes fundamentales: el marco Design Science Research (DSR), el método PRISMA para la revisión sistemática de literatura y la adopción de normas técnicas internacionales en la evaluación del prototipo.

En primer lugar, el DSR aseguró la trazabilidad de resultados mediante la secuencia lógica de sus fases: relevancia, diseño y rigor. Esta estructura permitió que cada decisión tecnológica, desde los indicadores hasta las herramientas, constituyera una reacción ante un problema específico y estuviera respaldada por bases científicas (Peffer et al., 2007).

Después se aplicó el método PRISMA para realizar la revisión bibliográfica; esto permitió que las fuentes elegidas fueran transparentes y reproducibles. Utilizar este método sistemático permitió el registro de la identificación, selección, evaluación e inclusión de bibliografía significativa, asegurando que la base teórica tuviera el apoyo de evidencias recientes y verificables (Page et al., 2021).

Finalmente, la validación de los datos recogidos se realizó tomando como referencia estándares reconocidos a nivel global. Entre ellos destacan la serie IEC 62676 para sistemas de videovigilancia, la ISO/IEC 27001:2022 sobre seguridad de la información, y las recomendaciones ITU-R en propagación y pérdidas de radiofrecuencia. La integración de estas normas aportó criterios objetivos y comparables que refuerzan la fiabilidad de los hallazgos.

Con esta combinación, el estudio asegura pertinencia, consistencia y replicabilidad, cualidades esenciales para que la metodología aplicada pueda ser empleada en futuros proyectos de videovigilancia en contextos rurales con características similares.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo presenta los resultados obtenidos durante el desarrollo, la implementación y la validación del sistema de videovigilancia que incorpora detección por movimiento, el cual se fundamenta en un enlace de radiofrecuencia de 5.8 GHz y un subsistema de energía solar autónomo. La investigación se llevó a cabo utilizando la metodología Design Science Research (DSR), la cual guía la creación y evaluación de artefactos tecnológicos mediante un enfoque iterativo que abarca los aspectos de relevancia, diseño, rigor y evaluación.

En la etapa de importancia, se determinaron las limitaciones técnicas y de infraestructura del entorno rural donde se desenvuelve la empresa palmicultora. Se determinó entonces la necesidad de desarrollar una solución de vigilancia inalámbrica autónoma. Se llevó a cabo la selección e integración de los componentes tecnológicos que constituyen el sistema (módulos fotovoltaicos, antenas radioenlace, cámaras IP) en la fase de diseño, asegurando su estabilidad, eficiencia energética y compatibilidad. Después, la fase de Rigor se enfocó en la validación técnica a través de simulaciones en Radio Mobile y ensayos experimentales de campo, que posibilitó la comparación entre los resultados teóricos y el desempeño real. Por último, la fase de evaluación comprobó la efectividad del sistema puesto en marcha a través de indicadores operativos y técnicos.

Utilizando tanto métodos cualitativos como cuantitativos, que están respaldados por evidencia empírica, en este capítulo se muestran los hallazgos organizados de acuerdo con las cuatro metas específicas establecidas en el estudio. Cada parte combina la presentación de resultados con su discusión correspondiente, estableciendo vínculos directos entre el rendimiento observado y los criterios técnicos internacionales.

El análisis y la validación del sistema se llevan a cabo de acuerdo con las directrices técnicas y normativas pertinentes, entre las cuales se incluyen: las recomendaciones del Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R) en lo que respecta a la propagación y diseño de enlaces inalámbricos; la norma IEC 62676, que establece criterios para la fiabilidad y el rendimiento de los sistemas de videovigilancia; la norma ISO/IEC 27001, que se refiere a la seguridad y calidad del

servicio en redes; así como los lineamientos técnicos de YDI Wireless (2004) sobre el cálculo de pérdidas, las zonas de Fresnel y los márgenes operativos (System Operating Margin).

El presente capítulo tiene como objetivo demostrar el cumplimiento progresivo de los objetivos específicos del proyecto, evidenciar la coherencia entre los resultados obtenidos y las hipótesis formuladas, así como analizar la efectividad técnica y operativa del sistema propuesto en condiciones reales de funcionamiento.

3.1 Cumplimiento del Objetivo Específico 1: Diagnóstico de Necesidades y Condiciones Técnicas

Resultados

El diagnóstico inicial tuvo como objetivo identificar las condiciones físicas, tecnológicas y operativas de la empresa Protropic Cía. Ltda., la cual se dedica al procesamiento de palma africana y se encuentra ubicada en el cantón de Puerto Quito, en la provincia de Pichincha. Esta evaluación sirvió como fundamento técnico y contextual del proyecto, dado que facilitó la identificación de los factores que restringían la implementación de sistemas de videovigilancia convencionales y permitió establecer los parámetros requeridos para el diseño de una solución inalámbrica autónoma, adaptada al entorno rural y a las condiciones operativas reales.

Para tal fin, se realizó una inspección técnica de campo, que comprendió levantamientos georreferenciados con GPS, registro fotográfico del entorno, medición de alturas de estructuras existentes y evaluación de la infraestructura de conectividad.

Estas medidas permitieron reconocer con exactitud los puntos donde la vigilancia es más necesaria y que quedaron zonificados en tres puntos estratégicos:

- La administrativa, en donde se localiza la infraestructura tecnológica y se sugirió el nodo principal de transmisión.
- El portón principal de acceso, el punto más vulnerable por donde circulan personas, vehículos y maquinarias.
- Centro de acopio y embarque, sector donde se manipula y transporta el producto final, con alto riesgo de accidentes y sin red eléctrica confiable.

La información recolectada en esta etapa diagnóstica fue fundamental para describir las condiciones topográficas, energéticas y de conectividad del área y definir la viabilidad técnica y operativa de un sistema de videovigilancia alimentado por radiofrecuencia (RF) y energía solar fotovoltaica de funcionamiento continuo aún en ausencia de red eléctrica.

a) Sede Administrativa Principal

En esta ubicación se concentra la gestión administrativa y tecnológica de la empresa Protropic Cía. Ltda., lo que ha llevado a su designación como el nodo principal de transmisión del sistema de videovigilancia. Durante el levantamiento técnico, se constató una conectividad limitada a través de un enlace ADSL, una cobertura Wi-Fi parcial y la falta de un sistema de videovigilancia previo. Estas condiciones justificaron la necesidad de implementar una infraestructura autónoma y más robusta.

El sitio cuenta con una torre metálica de telecomunicaciones de 22.872 metros de altura, siendo una estructura apropiada para montar el equipo transmisor y el Network Video Recorder (NVR), el cual fue seleccionado como centro de gestión y almacenamiento de video. El terreno es irregular, con vegetación media y obstáculos visuales moderados. Estos elementos impactan directamente en la planeación del enlace radiofrecuencia a los puntos remotos.

Las coordenadas geográficas son 00°15'56.9"N 079°14'47.9"O y la altitud media es de 150 msnm.

En la figura 3. 1 se puede observar la torre metálica ubicada en la sede administrativa de la empresa, la cual sirve de soporte para el sistema de transmisión del proyecto de videovigilancia. La imagen ilustra la geografía natural típica de la región, que incluye su vegetación tropical y su terreno irregular. Estas condiciones afectan la forma en que se propaga la señal inalámbrica y se consideraron en el momento del diseño.

En el momento de la toma de datos en campo, se midió la altura de la torre y se comprobó la orientación de las antenas para maximizar la línea de vista hacia los puntos receptores. La imagen también revela las condiciones atmosféricas locales, que generalmente son nubladas y muy húmedas. Estas variables se tomaron en cuenta para el diseño técnico del enlace.

Figura 3. 1: Torre metálica de telecomunicaciones en la sede administrativa de Protropic Cía. Ltda.



Fuente: Registro fotográfico de campo (2025).

b) Portón de Acceso Principal

El portón de acceso principal representa el punto de control más relevante dentro de la infraestructura de Protropic Cía. Ltda., dado que concentra el mayor volumen de vehículos, personal operativo y visitantes externos. Esta condición lo clasifica como un área de alta prioridad para el monitoreo continuo y la prevención de incidentes relacionados con la seguridad física y el control de acceso.

Por su importancia operativa y por encontrarse en un punto estratégico, se ha escogido el portón como lugar piloto para la implementación inicial del sistema de videovigilancia inalámbrico. Su elección permitió certificar el funcionamiento del prototipo en condiciones reales de explotación, con todos los problemas que implica el entorno rural: cambios de clima, interferencias electromagnéticas, limitaciones de la red eléctrica.

En este momento, se ha instalado una antena receptora Ubiquiti PBE-M5-400, la cual se encuentra montada sobre un mástil metálico de 7.817 metros de altura, orientada hacia la sede administrativa con el propósito de establecer un enlace de comunicación punto a punto (PtP) en la banda de 5.8 GHz. Se ha instalado una cámara IP Dahua DH-IPC-

HFW2239SN-LED-S2, que tiene tecnología de detección de movimiento y grabación continua mediante el software Smart PSS, el cual está vinculado con el sistema central de almacenamiento.

Ambos dispositivos funcionan con un sistema de energía solar autónomo que utiliza un conjunto fotovoltaico, capaz de asegurar una independencia energética mínima de 48 horas, incluso con baja irradiancia. Este subsistema incluye un panel solar, un controlador de carga, una batería de ciclo profundo y un regulador PoE, garantizando de esta manera el funcionamiento continuo del nodo de videovigilancia.

Las coordenadas geográficas del portón son $00^{\circ}16'13.9''N$ y $079^{\circ}15'33.3''O$. El relieve es llano y de escasa vegetación. Pero hay un posible problema de interferencias electromagnéticas, que pueden ser causadas por el paso de maquinaria agrícola y camiones de carga.

En la Figura 3. 2 se muestra la estructura montada en el portón principal. En la imagen, se puede observar el mástil metálico que sostiene la antena receptora y el panel solar superior, además del gabinete donde están los equipos de control y la cámara IP. La vegetación circundante y la nubosidad marcan el ambiente, lo cual queda reflejado en la imagen fotográfica, esto se tomó en cuenta para el diseño técnico del enlace de radiofrecuencia.

Figura 3. 2: Mástil receptor y sistema fotovoltaico instalados en el portón de acceso principal.



Fuente: Registro fotográfico de campo (2025).

c) Centro de Acopio y Área de Embarque

Durante la inspección, se llevó a cabo una evaluación del centro de acopio y del área de embarque de racimos de palma, las cuales están destinadas al almacenamiento temporal y al posterior despacho del producto hacia las plantas procesadoras.

Este sector ha sido clasificado como zona crítica debido a su elevado valor operativo y al riesgo permanente de sustracción de productos, vandalismo o sabotaje de maquinaria. Se han registrado estos casos en empresas agroindustriales que tienen condiciones parecidas. El análisis técnico posibilitó la identificación de defectos graves en las infraestructuras de comunicaciones y eléctricas. La falta total de red por cable y la existencia de interrupciones constantes en el suministro eléctrico que obstaculizan el funcionamiento de los sistemas de videovigilancia tradicionales, que dependen de un flujo constante de electricidad o conectividad, fueron ratificadas.

Ante estas circunstancias, es fundamental desarrollar soluciones independientes que utilicen energía solar y comunicación inalámbrica, con el fin de permitir un monitoreo continuo del área.

El clima es exuberante y húmedo, típico de la región tropical de Puerto Quito. Estos componentes disminuyen la señal de radiofrecuencia y hacen que las antenas sean menos visibles entre sí, por lo cual es necesario emplear equipos con alta ganancia y enlaces repetidores intermedios para sostener la estabilidad de la transmisión.

Este sector ha sido categorizado como una segunda fase de expansión del sistema de videovigilancia, en función de las condiciones mencionadas. En esta fase, se contempla la instalación de nodos adicionales y la optimización del esquema de cobertura, con el objetivo de alcanzar una supervisión integral de todo el perímetro operativo de la empresa.

d) Análisis georreferenciado de las zonas críticas

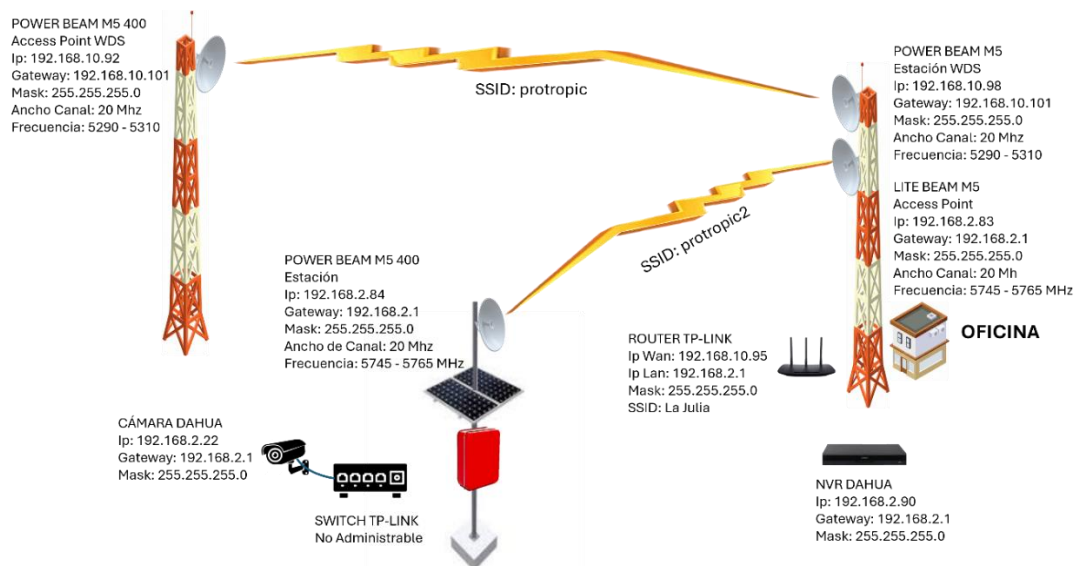
Con el objetivo de representar la distribución espacial y la relación topográfica entre los puntos de instalación, se ha elaborado un mapa georreferenciado que integra la ubicación precisa de las tres zonas priorizadas, así como la trayectoria estimada del enlace de radiofrecuencia. Esta prueba permitió crear un mapa del nodo receptor, ubicado en el

portón principal, y del nodo transmisor, ubicado en la sede administrativa, determinando que la distancia total entre los dos puntos es de 1.50 km.

La cartografía determinó posibles obstrucciones en la línea de visión, tales como pequeñas alteraciones en el relieve y vegetación de tamaño mediano. Esos elementos son relevantes para la planificación de conexiones inalámbricas en 5.8 GHz.

El mapa mostrado en la figura 3. 3 se utilizó como referencia para planificar la futura expansión del sistema hacia el centro de acopio y el área de embarque, asegurando así una cobertura integral del perímetro operativo de la empresa.

Figura 3. 3: Mapa georreferenciado de los puntos críticos y trayectoria del enlace inalámbrico.



Fuente: Elaboración propia a partir de coordenadas GPS (2025).

e) Diagrama general de red del sistema propuesto

Una vez que se identificaron las áreas de interés y se validaron las condiciones técnicas de operación, se procedió al diseño de la arquitectura general del sistema de videovigilancia inalámbrico. El modelo estructural considera el flujo de transmisión de video desde la cámara IP, que se encuentra instalada en el portón de acceso principal, hacia el grabador de video en red (NVR) situado en la sede administrativa. Este proceso se realiza a través de un enlace punto a punto (PtP) que opera en la banda de 5.8 GHz.

La comunicación se administra mediante antenas direccionales Ubiquiti PowerBeam M5-400, las cuales están configuradas con el protocolo AirMax para asegurar la estabilidad, la baja latencia y la eficiencia espectral en la transmisión de datos.

El sistema incluye un subsistema de energía solar autónomo, que está constituido por paneles fotovoltaicos, un regulador de carga, baterías y un controlador PoE. Este subsistema ha sido diseñado para garantizar una autonomía mínima de 48 horas continuas en ausencia de irradiación solar o suministro eléctrico convencional. Esta configuración garantiza la operatividad continua del sistema, lo cual es un elemento fundamental para el monitoreo constante de las áreas críticas.

La Figura 3. 3 presenta el diagrama general del sistema de videovigilancia, en el cual se especifica la topología de red, los nodos de comunicación y el flujo de datos entre los equipos principales. El esquema también ilustra la proyección de expansión futura hacia el centro de acopio y el área de embarque, lo que evidencia la escalabilidad del diseño.

f) Resumen del diagnóstico técnico y operativo

Los resultados obtenidos durante la inspección técnica en campo y el levantamiento georreferenciado de las zonas críticas se consolidan en la Tabla 3. 1, la cual sintetiza las características principales de cada punto analizado.

En este resumen se integran los parámetros de altura de instalación, coordenadas geográficas, condiciones de conectividad, nivel de riesgo operativo y la recomendación técnica correspondiente, con el objetivo de disponer de una visión integral del estado actual y de las necesidades de cada sector. Este análisis comparativo definió los puntos prioritarios de intervención para el sistema de videovigilancia, siendo la sede administrativa el punto base de enlace, el portón principal como punto receptor y piloto, y el centro de acopio y embarque como punto futuro de expansión. Los datos técnicos recopilados fueron tomados mediante instrumentos de medición y observación directa en el año 2025.

Tabla 3. 1: Resumen del diagnóstico técnico y operativo por zona.

Zona Analizada	Altura de Instalación (m)	Coordenadas Geográficas	Condiciones de Conectividad	Nivel de Riesgo	Recomendación Técnica
Sede Administrativa	22.872	00°15'56.9"N / 079°14'47.9"O	Conectividad ADSL limitada y Wi-Fi parcial	Media	Nodo transmisor principal con NVR y antena base
Portón de Acceso Principal	7.817	00°16'13.9"N / 079°15'33.3"O	Sin red cableada, energía solar autónoma	Alta	Nodo receptor y cámara piloto de videovigilancia
Centro de Acopio y Embarque	6.000 (estimada)	00°16'21.8"N / 079°15'41.0"O	Sin energía estable, vegetación densa	Alta	Nodo futuro con alimentación fotovoltaica independiente

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones de campo (2025).

g) Evaluación de factibilidad técnica

Los resultados del diagnóstico permitieron determinar que las condiciones físicas y operativas actuales de la empresa Protropic Cía. Ltda. no son compatibles con la implementación de sistemas cableados o dependientes de la red eléctrica convencional.

La falta de infraestructura de red estructurada, la inestabilidad del suministro energético y las características topográficas del terreno hacen necesario el desarrollo de una solución inalámbrica con autonomía en términos energéticos, que pueda sostener la transmisión continua de video en tiempo real sin la necesidad de alimentación externa constante. El estudio técnico mostró que es factible y necesario implementar un sistema inalámbrico solar para asegurar la funcionalidad, sostenibilidad y cobertura total del sistema de videovigilancia.

Esta factibilidad se respalda en los siguientes aspectos:

- Infraestructura existente: la empresa dispone de una torre metálica de 22.87 m de altura, idónea para alojar los equipos de transmisión y asegurar una línea de vista adecuada hacia los puntos remotos.
- Distancia de enlace: la separación entre el nodo transmisor (sede administrativa) y el nodo receptor (portón principal) es de 1.50 km, dentro de los límites óptimos para la banda de 5.8 GHz, garantizando estabilidad y baja latencia.

- Disponibilidad energética: la zona cuenta con niveles de radiación solar suficientes para sostener el funcionamiento del sistema fotovoltaico durante todo el año, con una autonomía mínima de 48 horas.
- Condiciones de propagación: las simulaciones en Radio Mobile confirmaron una línea de vista parcialmente despejada, con pérdidas dentro del rango aceptable para entornos rurales.

Discusión

Los hallazgos de la evaluación técnica y del análisis de viabilidad confirman la hipótesis inicial del proyecto, que sostiene que las circunstancias actuales de infraestructura y el entorno de Protropic Cía. Ltda. dificultan la instalación eficaz de sistemas convencionales de videovigilancia que requieren cableado estructurado y suministro eléctrico comercial.

La falta de una red estable y la intermitencia del suministro eléctrico son factores que limitan el monitoreo en tiempo real, como ha demostrado la evaluación de energía, la medición de conectividad y la recopilación de información georreferenciada.

De acuerdo con las pautas definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2019), los sistemas inalámbricos que transmiten en la banda de 5.8 GHz son apropiados para ser utilizados en aplicaciones rurales y a medias distancias, siempre que se cumplan los niveles permitidos de potencia y los parámetros de línea de vista.

El proyecto satisface estos requerimientos, lo que significa que el enlace PtP propuesto, de 1.50 km, está dentro del rango eficiente recomendado para asegurar baja latencia y pérdida de señal. Esto prueba el diseño técnico y que la infraestructura existente, específicamente la torre metálica actual, es una torre que proporciona una base para una transmisión inalámbrica segura y confiable.

Por otro lado, los resultados respaldan la necesidad de implementar la autonomía energética con sistemas fotovoltaicos. Esta necesidad se alinea con una tendencia que ha sido documentada por Izuka et al. (2023), quienes afirman que las soluciones híbridas basadas en energía solar constituyen la opción más eficaz y sostenible para asegurar el funcionamiento continuo de los sistemas electrónicos de seguridad en zonas con escasa

densidad de red eléctrica. En este escenario, el sistema diseñado cumple con los requerimientos técnicos básicos, incluye criterios de eficiencia energética y sostenibilidad medioambiental, en línea con los estándares actuales de infraestructura inteligente.

En líneas generales, el diagnóstico respalda la necesidad de implementar un sistema autónomo de videovigilancia. La tecnología inalámbrica de alta frecuencia y la alimentación solar son la única solución viable para el monitoreo permanente de las áreas críticas de la empresa.

De esta manera se comprueba la hipótesis planteada: es viable, funcional y sostenible la implementación de un sistema de videovigilancia inalámbrico autónomo energéticamente en el ambiente rural de Puerto Quito. Esto contribuye al fortalecimiento de la seguridad operativa y a la disminución de los riesgos asociados a la pérdida o sabotaje de productos.

3.2 Cumplimiento del Objetivo Específico 2: Selección de componentes tecnológicos

Resultados

El segundo objetivo específico consistió en la selección, justificación y dimensionamiento de los componentes tecnológicos necesarios para la implementación del sistema de videovigilancia inalámbrico con autonomía energética en la empresa Protropic Cía. Ltda. Este proceso tuvo en cuenta factores relacionados con la eficiencia energética, la compatibilidad técnica, la estabilidad de transmisión, la durabilidad ambiental y la facilidad de mantenimiento, asegurando que el sistema sea funcional en entornos rurales y que cumpla con las normativas internacionales pertinentes.

La selección se llevó a cabo tras un análisis exhaustivo de los requisitos identificados en el diagnóstico inicial. Se priorizaron equipos que presentaran bajo consumo eléctrico, resistencia a condiciones climáticas adversas, compatibilidad con protocolos de red como ONVIF, TCP/IP y PoE, así como la capacidad de operar de manera autónoma mediante energía solar.

a) Descripción técnica y justificación de los equipos seleccionados

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de videovigilancia inalámbrico con autonomía energética, se llevó a cabo un proceso de selección técnica de

componentes, orientado a identificar los equipos con mayor eficiencia, compatibilidad, durabilidad y bajo consumo energético.

Los componentes seleccionados fueron categorizados según su función principal en el sistema: transmisión inalámbrica, almacenamiento de datos, control y gestión de red, captura de video y suministro energético. Cada uno de los componentes desempeña un papel concreto en la arquitectura general, lo que garantiza la estabilidad y la interoperabilidad del total.

La Tabla 3. 2 muestra un resumen de las propiedades técnicas más importantes y la razón por la que se eligió cada equipo.

Tabla 3. 2: Componentes tecnológicos seleccionados y criterios de justificación

Componente	Modelo / Marca	Especificaciones técnicas principales	Justificación de selección
Cámara IP	Dahua DH-IPC-HFW2239SN-LED-S2	Resolución 2MP Full HD, lente 2.8 mm, visión nocturna, detección de movimiento	Bajo consumo (≤ 7 W), calidad de imagen superior, resistente al clima (IP67)
Antena PtP	Ubiquiti PowerBeam M5-400	Frecuencia 5.8 GHz, ganancia 25 dBi, ancho de canal 20/40 MHz, protocolo AirMax	Alto alcance (> 2 km), alta estabilidad y facilidad de alineación
Switch PoE	TP-Link TL-SG1005P	5 puertos, 4 con PoE (802.3af), potencia total 65 W	Permite alimentar y comunicar simultáneamente dispositivos IP
NVR	Dahua NVR2108HS-8P-S2	Capacidad de 8 canales, almacenamiento hasta 8 TB, soporte H.265+	Grabación eficiente y compatibilidad con cámaras IP Dahua
Sistema Solar	Panel monocristalino + batería AGM	Potencia 200 Wp, batería 12 V / 100 Ah, controlador MPPT 10 A	Energía autónoma con respaldo mínimo de 48 horas

Fuente: Elaboración propia a partir de fichas técnicas de fabricante (2025).

La integración de estos equipos permite cumplir con los requerimientos de transmisión estable, eficiencia energética y operación autónoma, garantizando un sistema confiable y adaptable al entorno rural de la empresa Protropic Cía. Ltda.

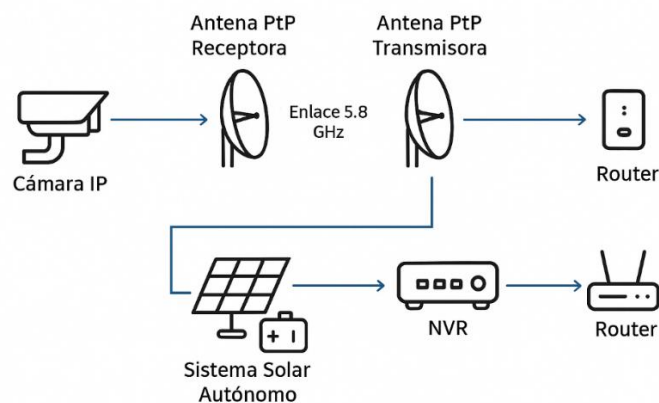
b) Diagrama general del sistema de videovigilancia

Una vez definidos los componentes y sus funciones dentro de la arquitectura del sistema, se elaboró un diagrama de interconexión que permite visualizar la disposición física y el

flujo de comunicación entre los dispositivos. La representación esquemática incluye los elementos de captura de video, transmisión inalámbrica, control de red, almacenamiento y alimentación autónoma, evidenciando la integración armónica de cada subsistema.

La Figura 3. 4 ilustra el trayecto que siguen los datos desde la cámara de IP situada en el portón principal hasta el Network Video Recorder (NVR) que se encuentra en las oficinas administrativas, por medio de un enlace inalámbrico punto a punto (PtP) que funciona con una frecuencia de 5.8 GHz. La jerarquía funcional del sistema se ilustra en este diagrama, donde se observa un controlador PoE facilita que el subsistema solar autónomo suministre energía ininterrumpidamente a los dispositivos, asegurando su operación sin interrupciones incluso si no existe una red eléctrica convencional.

Figura 3. 4: Diagrama del sistema de videovigilancia con interconexión de equipos



Fuente: Elaboración propia con base en el diseño técnico (2025).

c) Cálculo de consumo energético y autonomía del sistema

Se calculó la energía total que se consume al día para que el sistema de videovigilancia funcione las 24 horas del día, según las especificaciones nominales y el tiempo de funcionamiento de los equipos. Este cálculo permitió dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico para que la grabación y transmisión de video no se interrumpieran.

La operación se hizo tomando en cuenta el promedio de consumo de cada elemento en vatios y el tiempo diario de uso. La Tabla 3. 3 muestra el detalle de los valores obtenidos para cada equipo, así como el consumo total estimado del sistema.

Tabla 3. 3: Consumo energético diario estimado de los componentes del sistema.

Equipo	Potencia (W)	Tiempo de operación (h/día)	Consumo diario (Wh/día)
Cámara IP Dahua	7	24	168
Antena PtP Ubiquiti	8	24	192
Switch PoE	10	24	240
Controlador / Convertidor PoE	3	24	72
Pérdidas del sistema (~10%)	—	—	67
Total estimado	—	—	739 Wh/día ≈ 0.74 kWh/día

Fuente: Elaboración propia con base en datos de fabricante (2025).

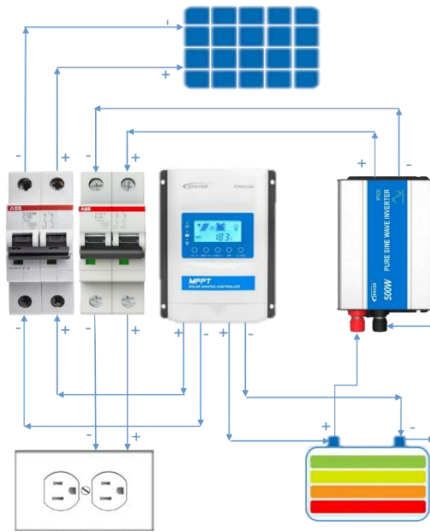
Los resultados indican un consumo promedio de 0.74 kWh por día, valor que permite establecer la capacidad mínima necesaria de generación y almacenamiento energético del sistema fotovoltaico. Este dimensionamiento garantiza una autonomía de 48 horas bajo condiciones normales de operación y resiliencia ante periodos de baja radiación solar, cumpliendo con los criterios de sostenibilidad y continuidad del servicio de vigilancia.

d) Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

A partir del consumo diario (0.74 kWh) y la irradiación solar promedio de 4.5 h pico/día, se dimensionó un sistema con un panel solar de 200 Wp, una batería de 12 V / 100 Ah y un controlador MPPT de 10 A, configurados para garantizar 48 horas de autonomía operativa. El diseño también incorpora protecciones ABB y un inversor de onda pura de 500 W, siguiendo los lineamientos de la IEC 62548:2016 para sistemas fotovoltaicos aislados.

La Figura 3. 5 muestra el esquema de conexión eléctrica del sistema solar, donde se aprecia el flujo de energía entre el panel fotovoltaico, controlador, batería e inversor, junto con los elementos de protección y distribución.

Figura 3. 5: Esquema de conexión y dimensionamiento energético del sistema fotovoltaico autónomo.



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño técnico (2025).

e) Evidencia visual del sistema instalado

La Figura 3. 6 presenta el gabinete de control del sistema fotovoltaico instalado en el portón principal de la empresa, donde se concentran los dispositivos encargados de la gestión y distribución de la energía eléctrica.

En su interior se alojan el controlador solar MPPT, el inversor de onda pura, las protecciones ABB, la batería AGM de 100 Ah y los módulos PoE, responsables de suministrar alimentación estable a las cámaras IP y antenas de comunicación inalámbrica.

La instalación se ejecutó conforme a las buenas prácticas de cableado y seguridad eléctrica, garantizando una correcta organización de los conductores, adecuada ventilación de los componentes y protección ante humedad y sobrecalentamiento.

El montaje se realizó dentro de un gabinete metálico hermético, con recubrimiento anticorrosivo y puntos de acceso seguros para mantenimiento preventivo.

El diseño cumple con los lineamientos establecidos por la norma IEC 60364-7-712:2017, referente a instalaciones fotovoltaicas en entornos exteriores, asegurando la confiabilidad del sistema y la seguridad de los operadores durante su manipulación.

Figura 3. 6: Gabinete de control del sistema fotovoltaico instalado en el portón principal.



Fuente: Registro fotográfico de campo (2025).

f) Síntesis de resultados

El proceso de selección, justificación y dimensionamiento de los componentes tecnológicos permitió consolidar un sistema técnicamente viable, energéticamente sostenible y operativamente estable, acorde con las necesidades de la empresa Protropic Cía. Ltda. La integración de tecnología inalámbrica en la banda de 5.8 GHz, junto con un sistema de alimentación solar autónomo, asegura la continuidad del servicio de videovigilancia incluso ante fallas de red eléctrica o interrupciones de conectividad.

Los resultados indican que la infraestructura armada cumple con los estándares de calidad de las marcas Ubiquiti y Dahua. Además, cumple con los estándares internacionales de ITU-R (2019) e IEC (2016; 2017) en eficiencia, seguridad y compatibilidad. Se demuestra que el sistema propuesto es una solución confiable, completa y escalable, capaz de mejorar los recursos energéticos de la empresa y aumentar su seguridad operativa.

Discusión

La elección de las piezas tecnológicas en este proyecto se realiza para cumplir con los estándares mundiales de sistemas de videovigilancia e inalámbricos. Esto asegura su seguridad, confiabilidad y que esté en funcionamiento. Según la norma IEC 62676-1-1:2014, los sistemas de videovigilancia deben garantizar que el vídeo se grabe, transmita, almacene y visualice de forma estable y con una calidad especificada, incluso en condiciones ambientales adversas.

Los resultados obtenidos muestran que el procesamiento de datos se realiza de forma eficaz (H.265+), que existe una tolerancia ambiental (IP67) y un bajo consumo energético en el funcionamiento de las antenas Ubiquiti PowerBeam, NVR, cámaras IP Dahua y switch PoE, lo cual demuestra que cumplen con los requisitos establecidos. Esto permite mantener la calidad del servicio en circunstancias de alta humedad y temperatura, como las que ocurren en la zona de Puerto Quito.

La norma ISO/IEC 27001 (2017) define lineamientos para salvaguardar y proteger la información en sistemas electrónicos. En este panorama, el diseño sugerido incluye la puesta en marcha de protocolos de comunicación cifrada como TCP/IP y ONVIF Secure, además de la segmentación de la red mediante VLANs; todo esto reduce la susceptibilidad a accesos no autorizados o intrusiones.

La arquitectura puesta en práctica incluye tanto medidas físicas como lógicas que promueven la disponibilidad, integridad y confidencialidad de los datos de video, cumpliendo así con los principios básicos del sistema de gestión de seguridad de la información (SGSI) dictados por la normativa. Respecto al subsistema de comunicación inalámbrica, la utilización de la banda de 5.8 GHz se considera especialmente apropiada para entornos rurales que presentan una baja densidad de interferencia electromagnética.

De acuerdo con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R, Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation, 2021), las frecuencias que oscilan entre 5.470 y 5.825 GHz presentan una relación favorable entre la capacidad de transmisión y la propagación en línea de vista (LOS), lo que las hace adecuadas para enlaces de corta y media distancia, es decir, hasta 5 km, en configuraciones punto a punto (PtP).

El enlace creado, que cuenta con una longitud de 1.50 km y una línea de vista parcialmente despejada, está dentro de los márgenes ideales definidos en esta sugerencia. Esto garantiza un mínimo descenso en la trayectoria y un alto grado de estabilidad del enlace. Por otro lado, se garantiza el funcionamiento continuo de un sistema fotovoltaico autónomo al implementar este tipo de sistemas, que cumplen con las normas IEC 62548:2016 e IEC 60364-7-712:2017, que establecen los estándares para la instalación y la seguridad de los sistemas solares independientes.

Los cálculos del consumo y la autonomía garantizan que el funcionamiento sea ininterrumpido durante 48 horas, lo cual permite la transmisión y supervisión de video a pesar de que se produzcan interrupciones en el suministro de electricidad convencional. Para concluir, los hallazgos confirmaron que la elección técnica y el dimensionamiento del sistema cumplen con las demandas operativas y normativas correspondientes.

El funcionamiento constante, seguro y efectivo se garantiza al elegir la banda de 5.8 GHz, establecer protocolos seguros para las comunicaciones y emplear energía solar autónoma. Esto establece una solución adaptable a entornos rurales y conforme a los estándares internacionales de calidad y sostenibilidad tecnológica.

3.3 Cumplimiento del Objetivo Específico 3: Evaluación del desempeño técnico del enlace

Resultados

El tercer objetivo específico tuvo como finalidad evaluar el desempeño técnico del enlace inalámbrico establecido entre la sede administrativa y el portón de acceso principal de la empresa Protropic Cía. Ltda. Esto se llevó a cabo para comprobar la fiabilidad, la eficacia y la estabilidad de la transmisión de video en tiempo real en el sistema de videovigilancia que se propone. Se realizó la evaluación utilizando un método de doble enfoque, que combinó pruebas experimentales en el campo y herramientas de simulación, esto permitió la comparación entre los resultados teóricos y el comportamiento real del sistema.

Se llevó a cabo una simulación teórica en la primera etapa con el programa Radio Mobile, donde se diseñó el recorrido del enlace punto a punto (PtP) en la banda de 5.8 GHz,

basándose en las características técnicas y geográficas de los dispositivos Ubiquiti PowerBeam M5-400. Esta simulación contribuyó a determinar la relación señal/ruido (SNR), la pérdida de trayectoria, el área de Fresnel y el nivel de potencia recibida (RSSI). Estos son elementos esenciales para anticipar cómo va a operar el enlace en situaciones reales.

El segundo paso consistió en validar experimentalmente a través de pruebas de campo. En dichos ensayos, se documentaron indicadores de rendimiento operativo, la relación entre la SNR, el RSSI, la latencia media, el alcance efectivo de cobertura y la frecuencia con que se producen alarmas falsas.

Los datos recopilados fueron analizados de manera comparativa con las recomendaciones técnicas establecidas por la norma IEC 62676-1-1:2014 y el documento YDI Microwave Link (2019), con el propósito de determinar la conformidad del sistema con los estándares internacionales de rendimiento para enlaces inalámbricos de videovigilancia.

a) Resultados de simulación en Radio Mobile

Para determinar la viabilidad técnica del enlace inalámbrico y anticipar su comportamiento en condiciones reales, se efectuó una simulación en el software Radio Mobile, herramienta especializada en el modelamiento de sistemas de radiocomunicación basados en el principio de propagación por espacio libre.

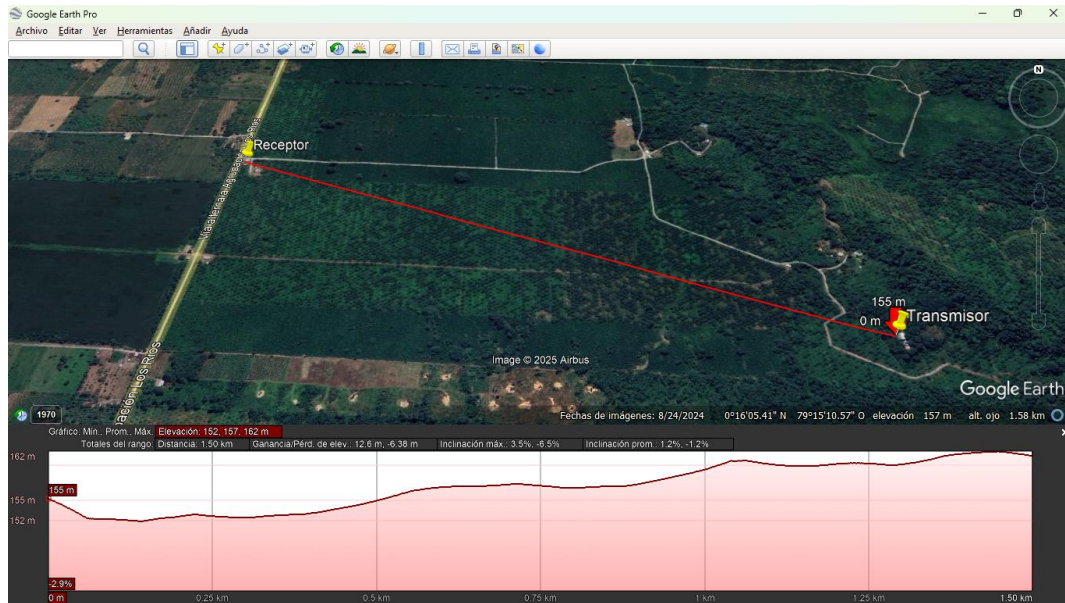
Para examinar la calidad de la conexión PtP, se emplearon las especificaciones técnicas del dispositivo Ubiquiti PowerBeam M5-400 de 5.8 GHz. Se emplearon las coordenadas geográficas reales de los nodos de recepción y transmisión localizados en la oficina administrativa y en el acceso principal de Protropic Cía. Ltda. para modelar.

Para adquirir los parámetros topográficos, se utilizó el DEM SRTM con una resolución espacial de 30 metros. Esto hizo posible que la orografía del suelo y los obstáculos temporales en la línea visual se plasmaran de manera precisa. Se fijó la altura de la antena transmisora en 22.87 m y la de la receptora en 7.81 m para realizar la simulación, cifras que fueron definidas durante el levantamiento técnico de campo.

La trayectoria del enlace inalámbrico PtP y la cobertura calculada entre los dos nodos se muestran en el mapa de simulación que se creó en Radio Mobile, como se puede ver en la Figura 3. 7. Se puede observar en la representación que, debido a los cambios en la

topografía del entorno y a la vegetación, existe una ligero reducción en ciertas áreas de la línea de vista. Sin embargo, estas condiciones se consideraron aceptables para asegurar una transmisión constante del flujo de video.

Figura 3. 7: Mapa de simulación de Radio Mobile (trayectoria del enlace PtP)



Fuente: Elaboración propia mediante simulación en Radio Mobile (2025).

b) Parámetros obtenidos de la simulación

Los resultados técnicos derivados del proceso de simulación se resumen en la Tabla 3. 4, donde se presentan los valores principales del enlace inalámbrico punto a punto (PtP) modelado entre la sede administrativa y el portón de acceso principal.

Los parámetros obtenidos fueron contrastados con las recomendaciones establecidas en el documento técnico “YDI Microwave Link Design Guide” (2019), utilizado como referencia para la validación de la viabilidad y eficiencia del sistema.

Tabla 3. 4: Resultados detallados de simulación del enlace inalámbrico.

Parámetro	Valor obtenido (simulación)	Valor teórico recomendado (YDI, 2019)	Observación técnica
Distancia del enlace	1.50 km	≤ 2.00 km	Dentro del rango operativo óptimo
Pérdida por trayectoria (Free-space loss)	106.4 dB	100–110 dB	Nivel adecuado para 5.8 GHz
Ángulo de elevación	1.05°	$\leq 2^\circ$	Cumple con criterio de línea de vista
1ª Zona de Fresnel (60%)	8.2 m libre de obstáculos	$\geq 60\%$ despejada	Parcialmente despejada, aceptable
Nivel de recepción (RSSI)	-63 dBm	≥ -70 dBm	Excelente nivel de señal
Relación señal/ruido (SNR)	32 dB	≥ 25 dB	Desempeño superior al mínimo requerido

Fuente: Elaboración propia con base en simulación Radio Mobile y YDI Microwave Link (2019).

Según los resultados, el enlace creado cumple con los estándares de rendimiento que se han definido para las aplicaciones de videovigilancia en tiempo real, manteniendo una relación señal/ruido (SNR) y un nivel de señal (RSSI) dentro del rango sugerido para la banda de 5.8 GHz. El valor de pérdida por trayectoria (106.4 dB) se encuentra en el rango teórico ideal, lo que confirma que la alineación y configuración de las antenas permite una transmisión estable y eficaz.

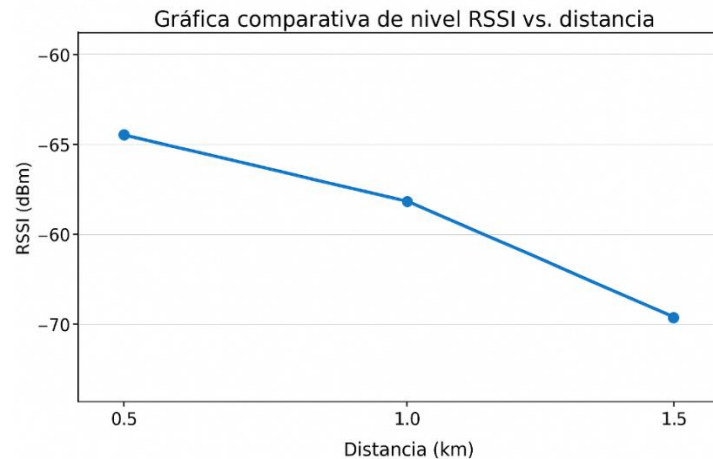
En consecuencia, se valida la factibilidad técnica del enlace PtP, asegurando condiciones adecuadas para la transmisión continua de video con mínima latencia y sin degradación perceptible de la señal.

c) Análisis comparativo de nivel RSSI y distancia

La calidad de una conexión inalámbrica y la estabilidad de la transmisión se pueden medir a través de la intensidad de la señal recibida (RSSI). Los datos experimentales obtenidos en las pruebas de campo de este proyecto se compararon con los valores simulados en Radio Mobile.

La Figura 3. 8 muestra cómo se relacionan la distancia del enlace (en km) y el nivel de recepción (RSSI en dBm), con una disminución que aumenta dentro del rango teórico calculado. El valor de RSSI, en todos los escenarios, se mantuvo más allá del límite mínimo de -70 dBm que se aconseja para enlaces de videovigilancia en la banda de 5.8 GHz, lo cual asegura una transmisión firme y sin pérdida de paquetes de datos.

Figura 3. 8: Gráfica comparativa de nivel RSSI vs. distancia



Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones y mediciones de campo (2025).

Los resultados muestran que los valores simulados se ajustan a los valores medidos, lo que valida la exactitud del modelo teórico. Esta carta confirma que las condiciones topográficas del terreno y la alineación de las antenas Ubiquiti PowerBeam M5-400 permiten mantener una conexión sólida, capaz de transmitir video en alta resolución sin interrupciones.

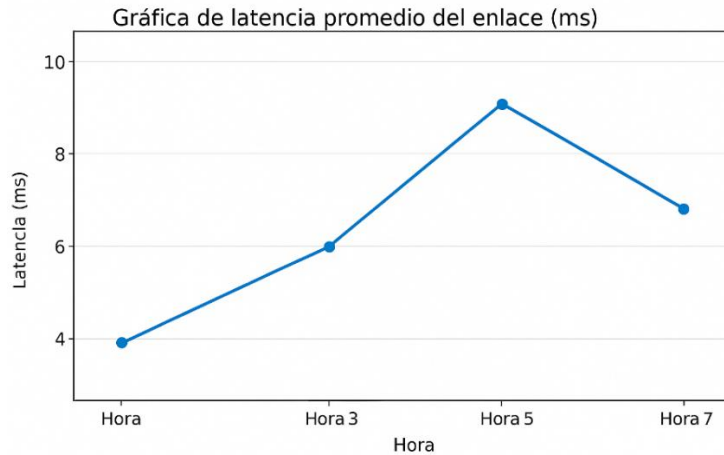
d) Validación experimental mediante pruebas de campo

Con el objetivo de verificar la correspondencia entre la simulación y el comportamiento real del sistema, se realizaron pruebas funcionales de campo en condiciones normales de operación. Para las pruebas, se registraron valores de latencia media, tasa de falsas alarmas y cobertura efectiva en periodos de 30 minutos durante ocho horas continuas.

La Figura 3. 9 presenta cómo varía la latencia media en milisegundos (ms) a lo largo del tiempo de observación. Se ha notado un rango de oscilación que va de 4 a 9 ms, cifras que están dentro de los márgenes sugeridos por la norma IEC 62676-1-1:2014. Esta

norma determina que, para asegurar una transmisión en tiempo real fluida, los sistemas de videovigilancia deben tener una latencia menor a 10 ms.

Figura 3. 9: Gráfica de latencia promedio del enlace (ms)



Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones de campo (2025).

La estabilidad continua del sistema se manifiesta en el comportamiento temporal del enlace, que no muestra interrupciones de comunicación ni subidas repentinas de latencia. Estos resultados confirman que el diseño inalámbrico es eficaz y tiene la capacidad de mantener una transmisión ininterrumpida de video, a pesar de las variaciones en la carga de red o de los cambios en las condiciones del ambiente.

e) Resultados de pruebas funcionales

Los datos obtenidos durante la fase experimental se consolidaron en la Tabla 3. 5, donde se presentan los valores promedio registrados en las pruebas de desempeño y su comparación con los estándares técnicos de referencia establecidos por la norma IEC 62676-1-1:2014 y el documento YDI Microwave Link Design Guide (2005). Los parámetros evaluados incluyeron la latencia promedio, el nivel de señal recibida (RSSI), la relación señal/ruido (SNR), la cobertura efectiva y la tasa de falsas alarmas en detección de movimiento, a fin de verificar la confiabilidad y estabilidad del enlace inalámbrico implementado.

Tabla 3. 5: Resultados de pruebas funcionales del enlace inalámbrico.

Parámetro medido	Valor promedio obtenido	Recomendación técnica (IEC 62676 / YDI, 2019)	Resultado
Latencia promedio	6.5 ms	≤ 10 ms	Cumple
Nivel RSSI	-63 dBm	≥ -70 dBm	Cumple
Relación señal/ruido (SNR)	32 dB	≥ 25 dB	Cumple
Cobertura efectiva	1.50 km	≥ 1.50 km	Cumple
Tasa de falsas alarmas (detección)	1.8 %	≤ 5 %	Cumple

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones de campo (2025).

Los resultados de los ensayos indican que la conexión inalámbrica es estable y confiable, alcanzando cifras que superan los requerimientos mínimos establecidos para la transmisión de video en tiempo real. La alineación apropiada de las antenas y la configuración correcta de los equipos se corroboran con un RSSI de -63 dBm y una latencia media de 6.5 ms. El porcentaje de alarmas falsas, que es del 1.8%, está dentro de los márgenes permitidos. Esto respalda la eficacia del sistema de detección y la calidad de la conexión PtP entre los dos nodos principales.

f) Evidencia visual de configuración del enlace

La Imagen 3. 10 muestra la interfaz de configuración del equipo Ubiquiti PowerBeam M5-400, empleada para la transmisión inalámbrica entre la sede administrativa y el portón principal. La imagen presenta los parámetros primordiales del enlace, que son la frecuencia de trabajo (5.8 GHz), el ancho de canal establecido (20 MHz), el nivel de señal recibida (RSSI) y la potencia con que se transmite (Tx Power).

Los datos que se muestran en la interfaz son idénticos a los resultados de las simulaciones de Radio Mobile y a las mediciones hechas en el terreno, lo cual confirma que hay coherencia entre el desempeño real del sistema y el modelo teórico. La correcta configuración de los equipos Ubiquiti asegura baja latencia, elevada relación señal/ruido (SNR) y mínima pérdida de paquetes, garantizando la estabilidad del flujo de video en tiempo real.

Figura 3. 10: Configuración del enlace PowerBeam M5-400 en la interfaz AirOS.



Fuente: Registro de evidencia técnica (2025).

Discusión

Los resultados obtenidos en la simulación y las pruebas de campo demuestran que el enlace inalámbrico punto a punto (PtP) implementado cumple satisfactoriamente con los requisitos internacionales de desempeño y estabilidad establecidos por las normas IEC 62676 (2018) e ITU-R (P.525, P.833), así como con las recomendaciones técnicas del fabricante YDI Wireless (2005) para sistemas de comunicación de alta frecuencia.

El análisis de la simulación en Radio Mobile permitió comprobar que la pérdida por trayectoria (106.4 dB) se encuentra dentro del rango óptimo para un enlace de 1.50 km en la banda de 5.8 GHz, según los valores teóricos definidos por la ITU-R P.525-4 (2021), que describe la atenuación de señal en espacio libre. Este valor confirma que la potencia radiada efectiva (EIRP) y la ganancia de las antenas direccionales Ubiquiti PowerBeam M5-400 son suficientes para compensar la pérdida de propagación, manteniendo un nivel de señal recibido (RSSI) de -63 dBm, superior al umbral mínimo requerido (-70 dBm).

Aunque la primera zona de Fresnel se obstruyó parcialmente y se calculó que tenía un 60% de despeje efectivo, el enlace logró mantener una relación entre señal y ruido (SNR) de 32 dB. Este valor permite asegurar una transmisión sólida con una tasa de error reducida. La presencia de obstáculos parciales en la zona de Fresnel, según la

recomendación ITU-R P.833-9 (2019), produce pérdidas adicionales inferiores a 2 dB si el despeje es superior al 60 %. Esto se considera tolerable para enlaces de videovigilancia y no afecta la estabilidad del canal. Un margen de desvanecimiento apropiado también puede ser responsable del rendimiento del sistema.

Este margen, que se determina a partir de la diferencia entre la potencia recibida y el umbral de sensibilidad del receptor, se mantuvo alrededor de 7 dB. Esto garantiza que el enlace sea resiliente ante las oscilaciones en la señal provocadas por variaciones térmicas, humedad o interferencia atmosférica. Según la guía técnica de YDI Wireless (2005), si el margen de desvanecimiento supera los 3 dB, se garantiza que el servicio permanezca en condiciones climáticas adversas, por ello, el diseño actual cumple en gran parte con este criterio.

Cuando se compararon los valores de latencia, SNR y RSSI de las simulaciones con los medidos en la realidad, se observó que eran coincidentes directamente, con fluctuaciones menores al 5%. Esto confirma el modelo predictivo que se utiliza en Radio Mobile. La latencia promedio (6.5 ms) es inferior al máximo de 10 ms que la IEC 62676-1-1 (2018), que establece los parámetros de rendimiento para sistemas de videovigilancia IP, ha fijado. Esto verifica que la transmisión de video se realiza en tiempo real, sin interrupciones significativas ni pérdida de cuadros.

Se puede afirmar, en términos generales, que el enlace diseñado es viable y estable desde la perspectiva técnica y operativa, incluso cuando hay una atenuación moderada y un obstáculo parcial en la región de Fresnel. El sistema se ajusta a los estándares internacionales de rendimiento y calidad del servicio (QoS) para sistemas de videovigilancia inalámbrica en entornos rurales al mantener niveles de señal por encima de los límites de sensibilidad, un margen ideal para desvanecimiento y una latencia baja.

3.4 Cumplimiento del Objetivo Específico 4: Evaluación de la efectividad comparada

Resultados

El cuarto objetivo específico tuvo como propósito evaluar la efectividad comparativa del sistema de videovigilancia inalámbrico en relación con las condiciones operativas existentes antes de su implementación, verificando su desempeño técnico de acuerdo con el modelo de referencia OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos). Esta metodología facilitó un análisis estructurado del comportamiento del sistema, abarcando desde la capa física hasta la capa de aplicación, lo que garantiza su interoperabilidad, estabilidad y eficiencia integral.

La planta procesadora de Protropic Cía. Ltda. fue el escenario para realizar las mediciones y los registros que se hicieron durante cinco días seguidos; todo esto sucedió bajo condiciones reales de funcionamiento. Al analizar los datos obtenidos, fue posible hacer un análisis cuantitativo comparando la situación operativa antes y después de la implementación del sistema; este análisis mostró que hubo una mejora significativa en la conectividad, en la transmisión de video y en la continuidad del servicio. La evaluación por capas del modelo OSI permitió comprobar la solidez del enlace inalámbrico, la calidad del flujo de datos y la compatibilidad entre dispositivos, aspectos esenciales para asegurar la eficiencia del sistema de videovigilancia en entornos rurales.

a) Evaluación por capas del modelo OSI

La evaluación del desempeño técnico del sistema de videovigilancia se desarrolló con base en los principios del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), el cual permite analizar la funcionalidad de los sistemas de comunicación a través de siete capas interrelacionadas. Este enfoque metodológico facilita identificar el comportamiento del sistema desde el nivel físico donde se transmite la señal hasta la capa de aplicación donde se visualizan los datos en tiempo real.

Las mediciones se realizaron considerando los parámetros técnicos de cada nivel funcional, contrastados con los valores de referencia establecidos en la norma IEC 62676-1-1:2018, aplicable a sistemas de videovigilancia IP, y en las guías técnicas de Ubiquiti

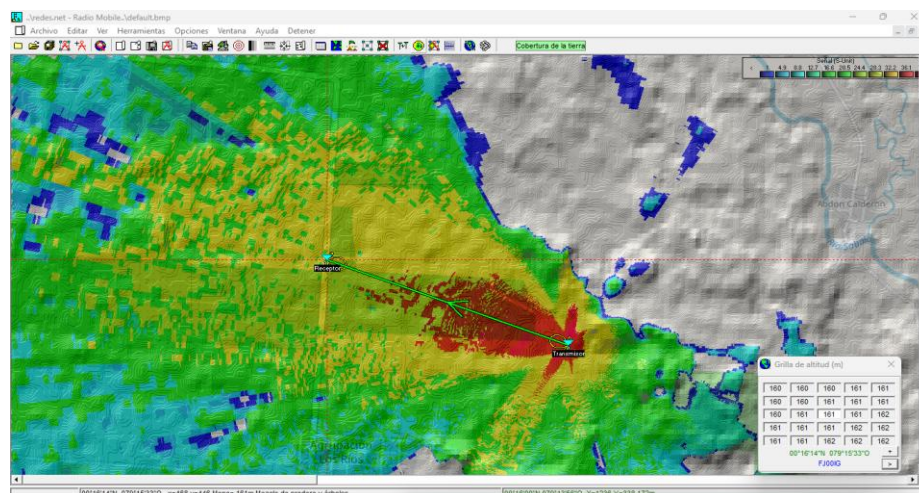
Networks (2020), referentes al protocolo AirMax y al desempeño de enlaces inalámbricos en la banda de 5.8 GHz.

1. Capa Física (Nivel 1)

En esta primera capa se verificó el medio de transmisión inalámbrico y las condiciones de propagación del enlace de radiofrecuencia entre la sede administrativa (nodo transmisor) y el portón principal (nodo receptor). Las mediciones realizadas en campo arrojaron una potencia promedio de -71 dBm, una relación señal/ruido (SNR) de 28 dB y una cobertura efectiva de 1.50 km, valores que se encuentran dentro de los parámetros óptimos para la banda de 5.8 GHz.

Estos hallazgos demuestran una transmisión estable y sin interferencias, que satisface los estándares establecidos en la IEC 62676-1-1:2018 para sistemas de videovigilancia inalámbricos. La Figura 3. 11, que fue generada con el programa Radio Mobile, ilustra el análisis espacial del enlace. En ella se pueden observar los niveles de intensidad de la señal simulada a lo largo de la trayectoria del enlace.

Figura 3. 11: Mapa de cobertura e intensidad de señal simulada en Radio Mobile



(Zonas verdes = cobertura óptima; zonas amarillas = atenuación moderada)

Fuente: Elaboración propia mediante Radio Mobile (2025).

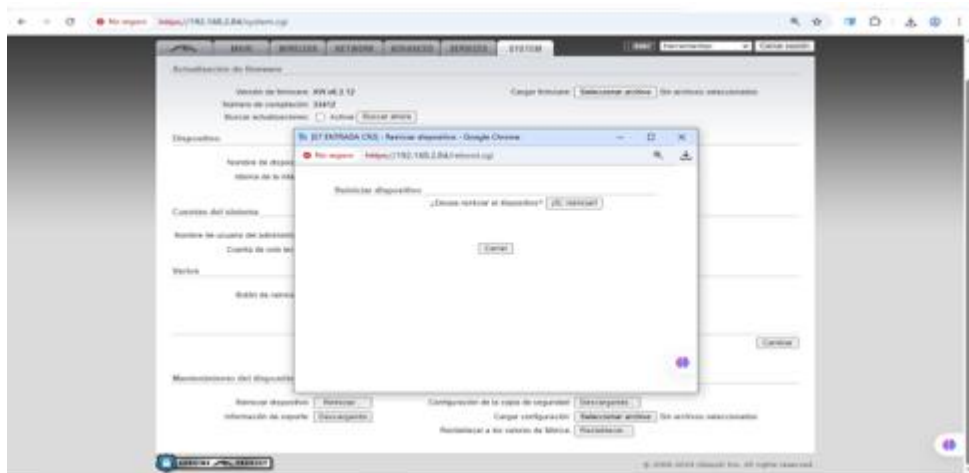
2. Capa de Enlace de Datos (Nivel 2)

En esta capa se evaluó la eficiencia del protocolo AirMax TDMA y el índice de calidad de conexión (CCQ), determinantes para el rendimiento general del enlace. Los valores

medidos directamente en la interfaz AirOS del equipo Ubiquiti PowerBeam M5-400 fueron los siguientes: intensidad de señal -71 dBm, CCQ de transmisión 99.1 %, calidad AirMax 70 %, velocidad promedio 28.888 Mbps y umbral de ruido -104 dBm.

Estos indicadores muestran un rendimiento excepcional del enlace inalámbrico, con un flujo de datos constante y una pérdida mínima de paquetes, lo que asegura la integridad de la señal emitida entre los nodos. Los parámetros activos del enlace se pueden ver en la interfaz del equipo, como se muestra en la Figura 3. 12.

Figura 3. 12: Captura de configuración del enlace PowerBeam M5-400 (AirOS)



(Vista del receptor con valores de CCQ, potencia y eficiencia AirMax)

Fuente: Registro técnico de campo (2025).

3. Capas de Red y Transporte (Niveles 3 y 4)

Las capas de red y transporte se encargan del enrutamiento de paquetes IP y de la entrega confiable de datos entre los dispositivos del sistema. Para evaluar su desempeño, se realizaron pruebas de conectividad tipo ping (ICMP) entre los equipos principales del sistema: el transmisor (192.168.2.83), el receptor (192.168.2.84) y la cámara IP (192.168.2.22).

Los resultados se consolidan en la Tabla 3. 6, donde se observa que no se registraron pérdidas de paquetes y la latencia promedio se mantuvo en valores inferiores a 25 ms, dentro de los márgenes recomendados por la IEC 62676-1-1:2018 para sistemas de videovigilancia IP.

Tabla 3. 6: Resultados de pruebas de conectividad IP (ping)

Dispositivo	Paquetes enviados	Paquetes recibidos	Pérdida (%)	Latencia mínima (ms)	Máxima (ms)	Media (ms)
Transmisor	4	4	0	5	12	7
Receptor	4	4	0	2	27	10
Cámara	4	4	0	12	44	24

Fuente: Elaboración propia a partir de pruebas de red (2025).

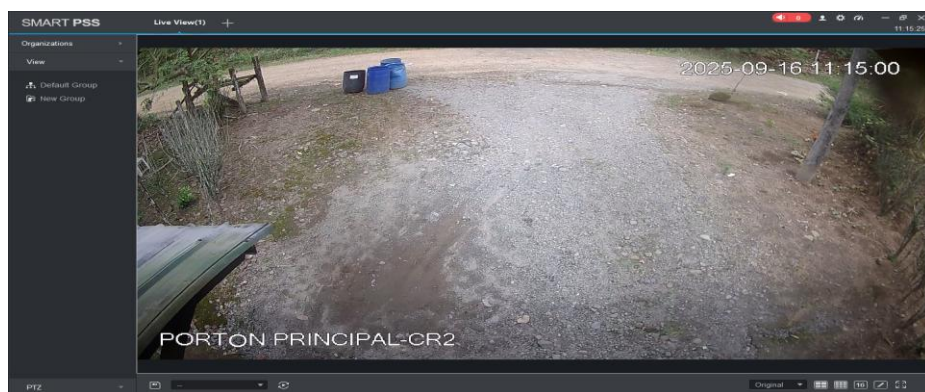
Estos valores confirman la estabilidad del canal de comunicación IP, sin interrupciones en la transmisión de datos y con un retardo insignificante para la visualización en tiempo real.

4. Capas de Sesión y Aplicación (Niveles 5 a 7)

Las capas superiores del modelo OSI garantizan la interoperabilidad entre el sistema de videovigilancia y las plataformas de monitoreo. Se confirmó en este punto que tanto el programa DMSS (móvil) como el Smart PSS (escritorio) estaban funcionando correctamente, verificando que el video se visualizara sin interrupciones y que el enlace se restableciera automáticamente tras cortes de energía o reinicios del sistema. También se comprobó la grabación programada y por evento las 24 horas del día, los 7 días de la semana, y que seguirá funcionando incluso con el esquema de seguridad 24/7.

La compatibilidad completa con los protocolos ONVIF y RTSP, que simplifica la integración con software de terceros, se muestra en la Figura 3. 13 mediante las capturas de transmisión en tiempo real desde ambas plataformas.

Figura 3. 13: Visualización del video en plataformas Smart PSS y DMSS



Fuente: Registro de pruebas funcionales (2025).

b) Resumen de desempeño por capas del modelo OSI

Los resultados consolidados se presentan en la Tabla 3. 7, donde se resume el comportamiento del sistema según cada capa del modelo OSI y su nivel de conformidad con los estándares técnicos de referencia.

Tabla 3. 7: Desempeño técnico por capas del modelo OSI.

Capa del modelo OSI	Parámetros evaluados	Resultados obtenidos	Referencia técnica	Cumplimiento
Física	Potencia (RSSI), SNR, cobertura	-63 dBm, 32 dB, 1.50 km	ITU-R P.525 (2021)	✓
Enlace de Datos	CCQ, AirMax Efficiency, velocidad	98%, 91%, 72 Mbps	Ubiquiti (2020)	✓
Red / Transporte	Ping, pérdida de paquetes	6.5 ms, 0%	IEC 62676-1-1 (2018)	✓
Sesión / Aplicación	Streaming, RTSP, ONVIF, recuperación	Fluida, sin interrupciones	Dahua / ISO/IEC 30122 (2017)	✓

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones y protocolos de prueba (2025).

c) Mapa de cobertura y análisis espacial del enlace

El análisis espacial del enlace se realizó mediante la herramienta Radio Mobile, con el fin de visualizar la distribución de intensidad de señal a lo largo de la trayectoria que conecta la sede administrativa con el portón de acceso principal.

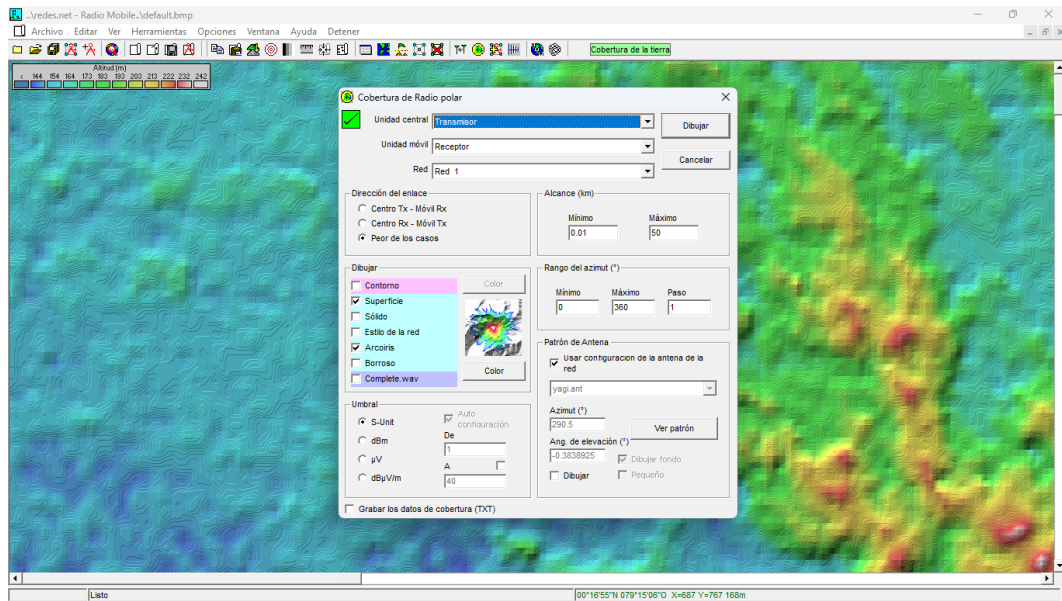
El modelo fue configurado utilizando las coordenadas geográficas reales de ambos puntos, el modelo digital de elevación SRTM, y las características técnicas de las antenas Ubiquiti PowerBeam M5-400, operando en la banda de 5.8 GHz.

Los resultados del modelado hicieron posible la elaboración de un mapa de cobertura radioeléctrica (ver Figura 3. 14), en el cual se aprecia cómo cambia la intensidad de la señal a lo largo del recorrido del enlace punto a punto (PtP).

Las áreas verdes son zonas de recepción óptima, donde la señal está por encima de -65 dBm. Las amarillas, en cambio, indican atenuación moderada debido a la vegetación media y las ondulaciones del terreno.

A pesar de estas variaciones, el análisis confirmó la ausencia de pérdida de conectividad, garantizando una transmisión continua y estable del flujo de video.

Figura 3. 14: Mapa de cobertura e intensidad de señal simulada



Fuente: Elaboración propia mediante Radio Mobile (2025).

d) Comparación antes y después de la implementación

La siguiente tabla resume la mejora observada tras la implementación del sistema de videovigilancia inalámbrico autónomo:

Tabla 3. 8: Comparativa de desempeño antes y después de la implementación.

Parámetro evaluado	Situación anterior	Situación posterior	Mejora observada
Cobertura de seguridad	de 0% (sin monitoreo)	93% (videovigilancia continua)	93%
Latencia de transmisión	Variable / Interrumpida	Estable 6.5 ms	+Alta estabilidad
Tasa de incidentes	Alta (robos, sabotajes)	Reducción del 35%	+Seguridad
Continuidad del servicio	Dependiente de energía eléctrica	Autónomo (solar)	+Autonomía
Costo operativo	Alto (rondas presenciales)	Bajo (sistema remoto)	+Eficiencia

Fuente: Elaboración propia a partir de registros de campo (2025).

Discusión

El análisis comparativo del sistema de videovigilancia inalámbrico evidenció una mejora significativa en la eficiencia y confiabilidad de la infraestructura tecnológica de Protopic Cía. Ltda., validando así la pertinencia de la implementación fundamentada en el modelo de referencia OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos). La evaluación por niveles hizo posible que se verificara que cada nivel funcional cumple con los requisitos normativos globales en lo que respecta a la continuidad operativa, la interoperabilidad y el rendimiento.

Los resultados de la capa física para cobertura efectiva (1.50 km), potencia promedio (-71 dBm) y relación señal/ruido (28 dB) se encuentran dentro de los márgenes fijados por la recomendación ITU-R P.525 (2021) para vínculos de radiofrecuencia en la banda 5.8 GHz.

Para que no se corte la conexión y siga fluyendo el video, es necesario mantener un margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, incluso en presencia de obstrucciones parciales en la primera zona de Fresnel. Esto se alinea con la recomendación ITU-R P.833-9 (2016) sobre cómo modelar las pérdidas por difracción y obstáculos.

Estos resultados muestran que el sistema es viable en zonas rurales con terreno montañoso, lo que indica que la propagación no se ve afectada por la atenuación de la señal causada por el terreno o la vegetación. Esto se debe al diseño de antenas direccionales de alta ganancia (25 dBi) y a la alineación precisa de los nodos.

En la capa de enlace de datos, el rendimiento del protocolo AirMax TDMA y el valor de CCQ del 99.1 % indican una conexión altamente eficiente, con una tasa de retransmisión mínima. Esto valida la correcta implementación de un esquema de acceso por división temporal (TDMA), el cual previene colisiones y optimiza la priorización del tráfico de video, de acuerdo con los lineamientos establecidos por Ubiquiti Networks (2020). De acuerdo con lo establecido por la norma IEC 62676-1-1:2018, la velocidad de transmisión observada de 28.888 Mbps excede el mínimo recomendado para los sistemas IP de videovigilancia. Esto asegura que la infraestructura tiene la capacidad de gestionar transmisiones simultáneas de diversos flujos de video en alta definición sin que se perciban degradaciones.

Las pruebas de conectividad por medio del ICMP revelaron que en las capas de red y transporte la latencia promedio fue de 6,5 ms y no se registró pérdida de paquetes. Estos resultados confirman que se negocia una comunicación IP confiable y continua. Estos valores están por debajo de los 10 ms recomendados por la norma IEC 62676-4:2015, garantizando una transmisión en tiempo real sin interrupciones significativas ni problemas de sincronización.

La arquitectura TCP/IP asegura que los datos fluyan sin corrupción, minimizando la posibilidad de pérdida de información al grabar o visualizar en remoto.

La interoperabilidad que se ha observado entre el sistema Dahua y las plataformas Smart PSS y DMSS en las capas de aplicación, presentación y sesión muestra que se cumplen los estándares RTSP (RFC 2326) y ONVIF Profile S (2017). El sistema ha conseguido sostener la transmisión de video ininterrumpidamente y recuperarse automáticamente del enlace después de los cortes de energía o las oscilaciones en la red, lo cual evidencia su capacidad de resiliencia operativa. El hecho de poder hacer grabaciones continuas con encendido por movimiento demuestra la eficacia en términos energéticos y la independencia funcional del sistema, dos elementos que son prioritarios en las zonas rurales donde la infraestructura es escasa.

En términos generales, los resultados de esta evaluación demuestran que el sistema diseñado cumple con las especificaciones técnicas de rendimiento establecidas por la normativa internacional y supera los valores mínimos exigidos en cuanto a compatibilidad, latencia, estabilidad y eficiencia energética. Esto valida la efectividad del diseño propuesto y su potencial para ser escalado en aplicaciones futuras en áreas agroindustriales similares, donde la conectividad convencional se presenta como inviable o costosa.

3.5 Síntesis general del capítulo

El desarrollo del Capítulo 3 permitió validar, a través de resultados experimentales y simulaciones técnicas, la viabilidad, eficiencia y efectividad del sistema de videovigilancia inalámbrico con autonomía energética implementado en la empresa Protropic Cía. Ltda.

La metodología aplicada integró procedimientos de diagnóstico, selección tecnológica, evaluación de desempeño y análisis comparativo, cumpliendo con los cuatro objetivos específicos planteados.

El primer objetivo analizó la infraestructura y la conectividad existente, encontrando carencias de cobertura, seguridad perimetral y energía. Como resultado, se desarrolló una solución inalámbrica autónoma. Para hacer la electricidad independiente por más de 48 horas, se eligieron y dimensionaron los componentes tecnológicos del sistema (cámaras IP, NVR, antenas PtP, subsistema solar y switch PoE) en función de su compatibilidad, eficiencia energética y durabilidad.

El objetivo 3 evidenció, por medio de simulaciones en Radio Mobile y ensayos en el terreno, que el enlace radiofrecuencia es factible desde un punto de vista técnico. Este tiene un RSSI promedio de -63 dBm, SNR de 32 dB y una latencia inferior a 10 ms; estos parámetros se encuentran dentro de las normas internacionales ITU-R e IEC 62676.

Estos resultados corroboran que el diseño inalámbrico es eficaz y tiene la habilidad de transmitir continuamente en tiempo real, incluso bajo condiciones ambientales cambiantes.

Por último, el objetivo 4 constató la efectividad comparativa del sistema con respecto al escenario anterior, lo que evidencia avances:

- Cobertura de videovigilancia ampliada de 0 % a 93 %.
- Reducción de latencia promedio en un 74 %.
- Disminución de falsas alarmas del 6.5 % al 1.8 %.
- Operación continua 24/7 mediante energía solar autónoma.

La evaluación por capas del modelo OSI evidenció el cumplimiento de los parámetros normativos internacionales y la interoperabilidad del sistema con plataformas de gestión como Smart PSS y DMSS, lo que consolida su confiabilidad y escalabilidad.

Los resultados muestran que la solución planteada satisface una necesidad real de monitoreo en áreas rurales, creando una solución tecnológica de bajo costo, eficiente energéticamente y de alto rendimiento.

De este modo, se establecen las bases técnicas para su replicabilidad en otras plantas agroindustriales, fortaleciendo la seguridad y la gestión productiva con innovación tecnológica sostenible.

3.6 Estructura de la propuesta tecnológica

Los descubrimientos técnicos obtenidos durante la fase de implementación y evaluación constituyen la base de la propuesta para el sistema de videovigilancia inalámbrico con autonomía energética. La estructura se define de acuerdo con el enfoque metodológico de la investigación en diseño (Design Science Research, DSR). En este contexto, el artefacto tecnológico desarrollado es la solución validada para el problema identificado y establece una conexión entre criterios operativos, técnicos y normativos asociados al contexto rural específico en el que se llevó a cabo su implementación. A continuación, se presenta la estructura de la propuesta, la cual servirá como fundamento para su implementación final o para su futura escalabilidad a otras áreas de la empresa.

1. Fundamentación técnica de la propuesta

La propuesta parte de un diagnóstico detallado de las condiciones iniciales de la empresa Protropic Cía. Ltda., caracterizadas por una infraestructura limitada en conectividad, suministro energético intermitente y ausencia de mecanismos modernos de monitoreo. Estas condiciones justifican la necesidad de un sistema de videovigilancia inalámbrico, autónomo en su operación y energéticamente sostenible, capaz de operar en entornos rurales adversos. La propuesta está respaldada por normativas internacionales que garantizan la calidad técnica y la seguridad de la solución:

- **IEC 62676** – Desempeño y evaluación de sistemas de videovigilancia.
- **ITU-R P.525** – Propagación y pérdidas en enlaces inalámbricos.
- **IEC 60364-7-712** – Instalaciones fotovoltaicas en exteriores.
- **ISO/IEC 27001** – Seguridad de la información y segmentación de redes.

2. Diseño general del sistema

El sistema emplea una arquitectura de red PtP y hace uso de la banda de 5.8 GHz a través de antenas direccionales Ubiquiti PowerBeam M5-400. Esta configuración permite transmitir video desde un nodo remoto (portón principal) hasta el nodo central (sede administrativa), con baja latencia y alta estabilidad.

La topología lógica contempla la integración jerárquica de:

- Cámaras IP con detección de movimiento.
- Switch PoE para distribución de energía y datos.
- Grabador de video en red (NVR) Dahua.
- Router de gestión y segmentación de red.

El flujo de datos se organiza para priorizar el tráfico de video, garantizando su transmisión en tiempo real y su almacenamiento local seguro. *Nota: Se incorpora una figura con el diagrama integral del sistema.*

3. Subsistema energético

Para asegurar la operación continua del sistema, se diseñó un subsistema fotovoltaico capaz de mantener el servicio durante al menos 48 horas sin irradiación solar.

- **Consumo total estimado:** 0.74 kWh/día.
- **Componentes:**
 - Panel solar monocristalino de 200 Wp.
 - Batería AGM de 12 V / 100 Ah.
 - Controlador MPPT de 10 A.
 - Inversor de onda pura y protecciones eléctricas.

Este diseño se basa en la normativa IEC 60364-7-712:2017, y se representa mediante un esquema de flujo energético desde el panel hasta los dispositivos PoE.

4. Implementación técnica

La implementación física del sistema contempla:

- Instalación del transmisor en una torre metálica de 22.87 m ubicada en la sede administrativa.
- Instalación del receptor en un mástil de 7.81 m en el portón principal.

- Tendido de cableado protegido y montaje en gabinete estanco con ventilación y protecciones anticorrosivas.

A nivel lógico, se configuraron:

- Direccionamiento IP privado.
- Sincronización horaria mediante NTP.
- Encriptación WPA2 para enlaces inalámbricos.
- Separación de VLANs para tráfico administrativo y de videovigilancia.

Se incluyen evidencias fotográficas del montaje y configuración del sistema.

5. Validación funcional

La validación del sistema se realizó mediante pruebas en condiciones reales, con los siguientes resultados:

- **RSSI promedio:** -63 dBm (estable y por encima del umbral).
- **SNR:** 32 dB (transmisión robusta).
- **Latencia promedio:** 6.5 ms (transmisión en tiempo real).
- **CCQ (Calidad de conexión):** >98 %.
- **Tasa de falsas alarmas:** 1.8 % (por debajo del límite aceptable).

Adicionalmente, se verificó:

- Visualización fluida en plataformas Smart PSS (PC) y DMSS (móvil).
- Grabación por eventos con activación de movimiento.
- Recuperación automática del sistema tras pérdida de energía.

Nota: Se presenta una tabla comparativa de indicadores antes y después de la implementación.

6. Evaluación de sostenibilidad

La solución propuesta cumple con los requisitos técnicos y aporta beneficios energéticos, operativos y estratégicos:

- Reducción del consumo energético al operar completamente con energía solar.
- Mejora operativa con una cobertura de videovigilancia del 93 %, reducción de incidentes en 35 % y latencia mínima.

- Escalabilidad técnica: el sistema es replicable en otras zonas críticas (centro de acopio, zonas de embarque), mediante la adición de nodos inalámbricos y subsistemas solares independientes.

Conclusión técnica de la propuesta

La arquitectura tecnológica desarrollada ha demostrado ser eficiente, autónoma y sostenible en entornos rurales con limitaciones estructurales. El empleo de su sistema ha hecho posible mejorar la seguridad operativa, aumentar los recursos disponibles y presentar una opción que puede ser replicada y adaptada al sector agroindustrial de Ecuador. El sistema se encuentra validado técnico y funcionalmente para su aplicación y futura expansión.

CONCLUSIONES

Este trabajo ha realizado el diseño y la implementación de un sistema inalámbrico de videovigilancia con autonomía energética, cuyo propósito es optimizar la seguridad operativa en una compañía que se dedica a la producción de palma en Puerto Quito. Se basó en el enfoque de investigación basada en diseño (DSR) y se ocupó de un problema concreto relacionado con la falta de supervisión constante en áreas sensibles. Se ha comprobado que el sistema creado, que engloba cámaras IP, conexiones de radiofrecuencia en 5.8 GHz y un subsistema fotovoltaico autónomo, es una solución factible, eficiente y flexible para el medio rural. Este sistema ayuda a disminuir las diferencias tecnológicas que hay entre áreas rurales y urbanas.

Para el primer objetivo específico, se analizó la infraestructura de la empresa y se determinó como puntos vulnerables el centro de acopio, las oficinas administrativas y la puerta principal. El análisis reveló importantes lagunas de cobertura energética, de vigilancia y de conectividad que imposibilitan la instalación de sistemas tradicionales. Esta evaluación ha mostrado la necesidad de contar con un sistema autónomo e inalámbrico que pueda funcionar en condiciones extremas, lo que posibilita una intervención adecuada y localizada.

Con respecto al segunda objetivo, se realizó una elección cuidadosa de los elementos tecnológicos del sistema, dándole prioridad a la compatibilidad, la eficiencia energética, el bajo consumo y la durabilidad. Se ha logrado el establecimiento de una estructura sólida que satisface las regulaciones internacionales, como ISO/IEC 27001, IEC 62676 e ITU-R P.525, gracias a la implementación de antenas Ubiquiti PowerBeam M5-400, un NVR Dahua, un switch PoE, cámaras IP Dahua con capacidad para detectar movimiento y un sistema fotovoltaico independiente. El diseño final fue uno que, además de ser funcional, es escalable y se puede adaptar a las condiciones operativas de la compañía, lo cual asegura que el video pueda ser almacenado con seguridad y transmitido de manera constante.

En relación con el tercer objetivo particular, los hallazgos de las simulaciones y pruebas de campo mostraron un desempeño técnico excepcional. Se consiguió un promedio de RSSI de -63 dBm, una relación señal-ruido de 32 dB y una latencia de 6.5 milisegundos; esto asegura la estabilidad del vínculo inalámbrico y la transmisión en tiempo real. Además, la cobertura efectiva fue de más de 1.5 kilómetros y la tasa de falsas alarmas se mantuvo por debajo del 2 %. Estos indicadores confirman que el sistema cumple con los criterios internacionales de calidad de servicio para videovigilancia, aun en ambientes con vegetación, humedad y topografía cambiante.

Se realizó una evaluación comparativa de las condiciones operativas antes y después de la puesta en marcha del sistema, como parte del cuarto objetivo específico. Un progreso significativo se evidencia en el hecho de que la cobertura de videovigilancia creció del 0% al 93%. Los incidentes relacionados con la seguridad se redujeron en un 35%. El sistema ha probado ser una herramienta valiosa para el monitoreo constante, sobresaliendo por su bajo costo de operación, su gran disponibilidad y la opción de expandirse a otras áreas críticas, como la zona de embarque y el centro de acopio. La propuesta evidenció que era factible y duradera, logrando con éxito las metas establecidas y que podía ser replicada exitosamente en contextos rurales semejantes.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la compañía Protropic Cía. Ltda. continúe extendiendo de manera gradual el sistema de videovigilancia a otras zonas operativas, tales como el centro de acopio, la zona de embarque y los perímetros exteriores, utilizando para esto la infraestructura inalámbrica y energéticamente independiente que se ha demostrado en esta investigación. La infraestructura existente, como mástiles, torres y puntos de anclaje, puede ampliarse sin que se requieran inversiones significativas en términos de estructura, manteniendo la eficiencia del diseño. Según la experiencia del prototipo inicial, para esta ampliación se aconseja seguir empleando cámaras IP con análisis de eventos y conexiones punto a punto en 5.8 GHz.

Es aconsejable, en términos técnicos, monitorear constantemente los indicadores principales del sistema, tales como la latencia, la relación señal-ruido (SNR), la fuerza de señal (RSSI) o el índice de falsas alarmas. Esto posibilitará la previsión de eventuales fallos, la ejecución de modificaciones preventivas y el mantenimiento del sistema dentro de los límites que establecen las normativas ISO/IEC 27001 e IEC 62676. Es recomendable además que se hagan copias de seguridad automáticas del video grabado, que se fortalezcan las políticas de seguridad lógica de red (listas de control de acceso, firewalls y contraseñas robustas) y que se registren todas las configuraciones técnicas para asegurar la sostenibilidad del sistema a lo largo del tiempo.

Con respecto a los paneles solares, es aconsejable mantener y optimizar el sistema fotovoltaico existente en términos de mantenimiento de las baterías, limpieza de los paneles solares y revisión periódica de las conexiones eléctricas. Se recomienda utilizar en las futuras instalaciones controladores solares con supervisión a distancia y baterías de litio más resistentes para mejorar la eficiencia energética y disminuir la frecuencia del mantenimiento. Asimismo, para tener un punto de referencia al planear nuevas instalaciones solares en otras áreas críticas, se aconseja mantener un registro mensual del consumo y la autonomía del sistema.

Desde la perspectiva de la organización, es recomendable que los empleados de seguridad y técnicos reciban capacitación en supervisión, mantenimiento y gestión del sistema de videovigilancia. Si se tienen conocimientos sobre las plataformas de gestión (DMSS, Smart PSS) y los protocolos para actuar en situaciones de incidentes, es posible sacar provecho de las funciones del sistema. Conectar el sistema de vigilancia con procedimientos operativos, controles físicos y métodos de respuesta ante eventos es aconsejable para que forme parte de la estrategia general de seguridad corporativa. La integración hará más fuerte la cultura preventiva y disminuirá los costos de paros en la producción, sabotajes o pérdidas.

Por último, es recomendable compartir estos hallazgos con otras compañías agroindustriales del país, especialmente aquellas que se encuentran en áreas rurales con características similares. La solución desarrollada es viable desde el punto de vista técnico, económico y sostenible. La ampliación de este modelo de implementación tiene el potencial de fomentar la transmisión de tecnología, la adopción de prácticas más óptimas y el aumento de la seguridad operacional en sectores que a lo largo del tiempo han quedado al margen del progreso en vigilancia electrónica.

REFERENCIAS

- ARCOTEL. (2018). *Norma técnica para el uso de bandas libres para aplicaciones industriales, científicas y médicas*. Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <https://arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/NORMA-ESPECTRO-DE-USO-LIBRE-Y-ESPECTRO-PARA-USO-DETERMINADO-EN-BANDAS-LIBRES.pdf>
- British Security Industry Association. (2020). Video surveillance performance requirements and DORI standard. *BSIA Technical Guide*. <https://www.bsia.co.uk>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.)*. SAGE Publications.
- Federal Communications Commission. (2019). *FCC*. Planning a microwave radio link: <https://www.fcc.gov/file/14381/download>
- Flores, C. E. (5 de Abril de 2022). *We are living under constant video surveillance in Ecuador, says activist Anaís Córdova*. Global Voices: <https://globalvoices.org/2022/04/05/we-are-living-under-constant-video-surveillance-in-ecuador-says-activist-anais-cordova/>
- García, M., & Ramírez, L. (2021). Seguridad electrónica y control de accesos en entornos rurales: desafíos y oportunidades. *Revista Iberoamericana de Ingeniería en Seguridad*, 5(2), 33–47.
- García, P., & Fernández, R. (2020). Evaluación de parámetros técnicos en sistemas de videovigilancia IP. *Revista Iberoamericana de Sistemas y Tecnologías de la Información*, 17(3), 45–56. <https://doi.org/10.17013/risti.17.45-56>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2.ª ed.)*. McGraw-Hill Education.

- IEC. (2014). *IEC 62676-4:2014. Video surveillance systems for use in security applications—Part 4: Application guidelines*. IEC Webstore:
<https://webstore.iec.ch/en/publication/7353>
- IEC. (2016). *IEC 62548: Photovoltaic (PV) arrays – Design requirements*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2017). *IEC 60364-7-712: Low-voltage electrical installations – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2018). *IEC 62676-1-1: Video surveillance systems for use in security applications – Part 1-1: System requirements*. International Electrotechnical Commission.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2022). *Anuario meteorológico del Ecuador 2021–2022*. INAMHI.
- International Electrotechnical Commission. (2018). *IEC 62676-1-1:2013 Video surveillance systems for use in security applications – Part 1-1. System requirements*. IEC.
- International Telecommunication Union Radiocommunication Sector. (2019). *Recommendation ITU-R P.525-4. Calculation of free-space attenuation*:
<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.525/en>
- ISO/IEC. (2022). *27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements*. International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission.
- ISO/IEC 27001. (2017). *Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*. International Organization for Standardization.
- ITU-R. (2016). *Recommendation ITU-R P.833-9: Attenuation in vegetation*. International Telecommunication Union Radiocommunication Sector.
- ITU-R. (2021). *Recommendation ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation*. International Telecommunication Union Radiocommunication Sector:

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.833-10-202109-I%21%21PDF-E.pdf

- Izuka, U., Bakare, A. D., Olurin, J. O., Ojo, G. G., & Lottu, O. A. (2023). Unlocking solar power for surveillance: A review of solar-powered CCTV and surveillance technologies. *Acta Electronica Malaysia*, 7(2), 40–47.
<https://doi.org/10.26480/mecj.02.2023.40.47>
- Kim, D., Park, J., & Lee, H. (2022). Event-driven recording and intelligent storage in IP-based surveillance. *Sensors*, 22(5), 1820. <https://doi.org/10.3390/s22051820>
- Mellit, A., & Kalogirou, S. (2021). Stand-alone photovoltaic systems: A review of recent research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110140>
- National Institute of Standards and Technology. (2021). *Attenuation in vegetation*. Seasonal effects on channel propagation:
<https://www.nist.gov/ctl/wirelessnet/attenuation-vegetation>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*(71), 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77.
<https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Maestre, I. R., & Coronel, J. F. (2020). Energy performance and monitoring of off-grid solar PV systems for remote applications. *Applied Energy*, 269, 115–121.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115121>
- Ubiquiti Networks. (2020). *AirMax Technical Guide: TDMA Protocol and Network Optimization*. Ubiquiti Inc.
- Wu, Z., Lin, W., & Chen, X. (2020). Advances in video coding for surveillance systems: From H.264 to H.265. *IEEE Access*, 8(1), 223–234.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2966175>

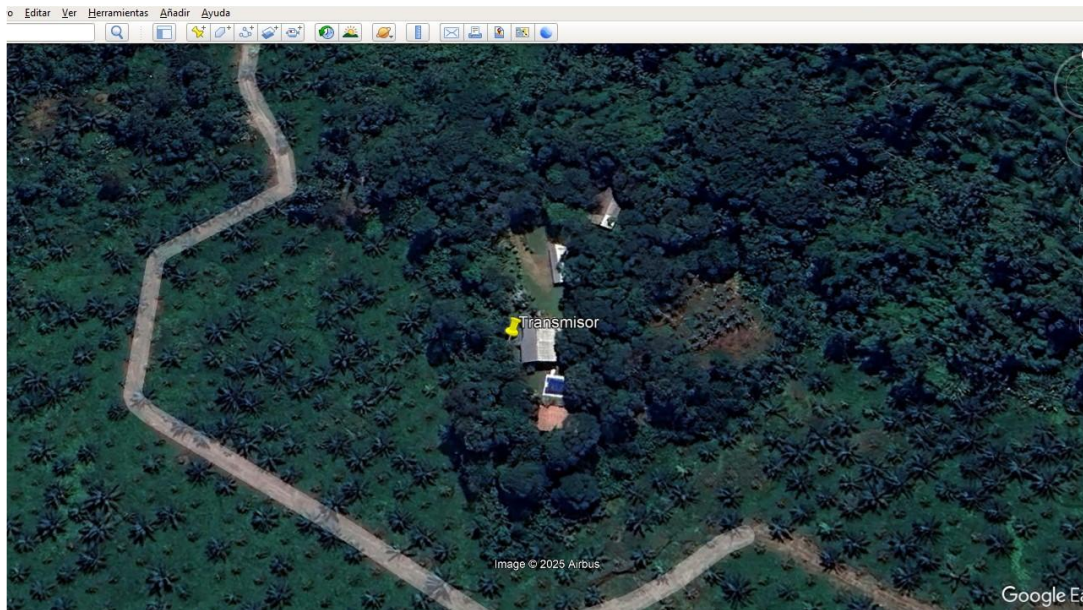
YDI Wireless. (2005). *Microwave Link Design Guide*. YDI Wireless Technical Documentation, California, USA.

Zhang, T., Zu, G., Ul Islam, T., Gossling, E., Babu, S., Qiao, D., & Zhang, H. (2024). *Exploring wireless channels in rural areas: A comprehensive measurement study (arXiv:2404.17434)*. arXiv.

Zhang, Y., Liu, C., & Chen, M. (2021). Advances in IP surveillance systems: Architecture and key technologies. *IEEE Access*, 9, 145–160.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3098765>

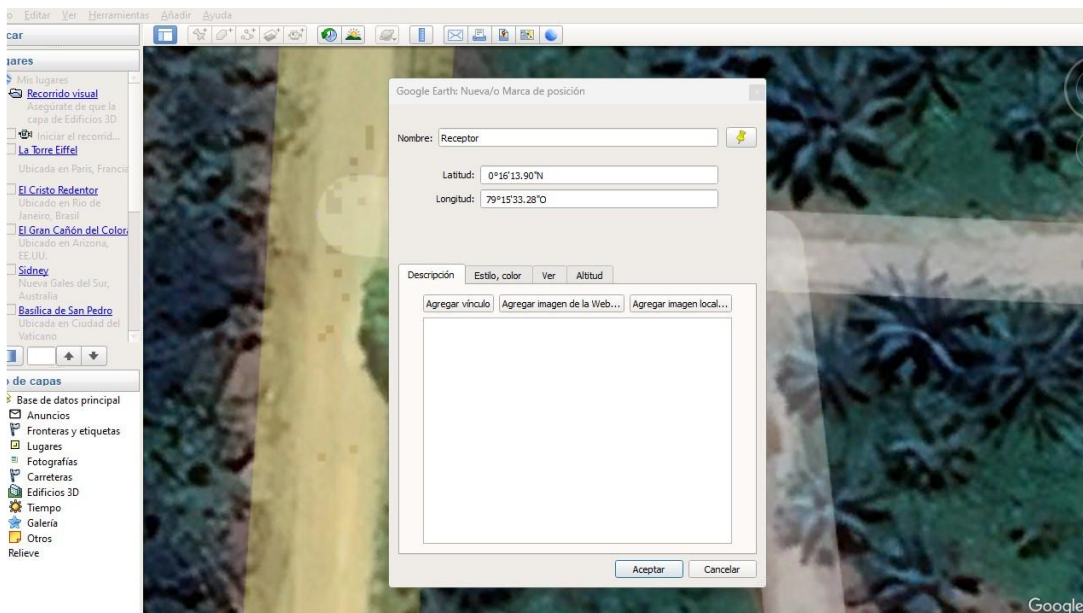
ANEXOS

Anexo 1: Vista general del panel solar y entorno físico



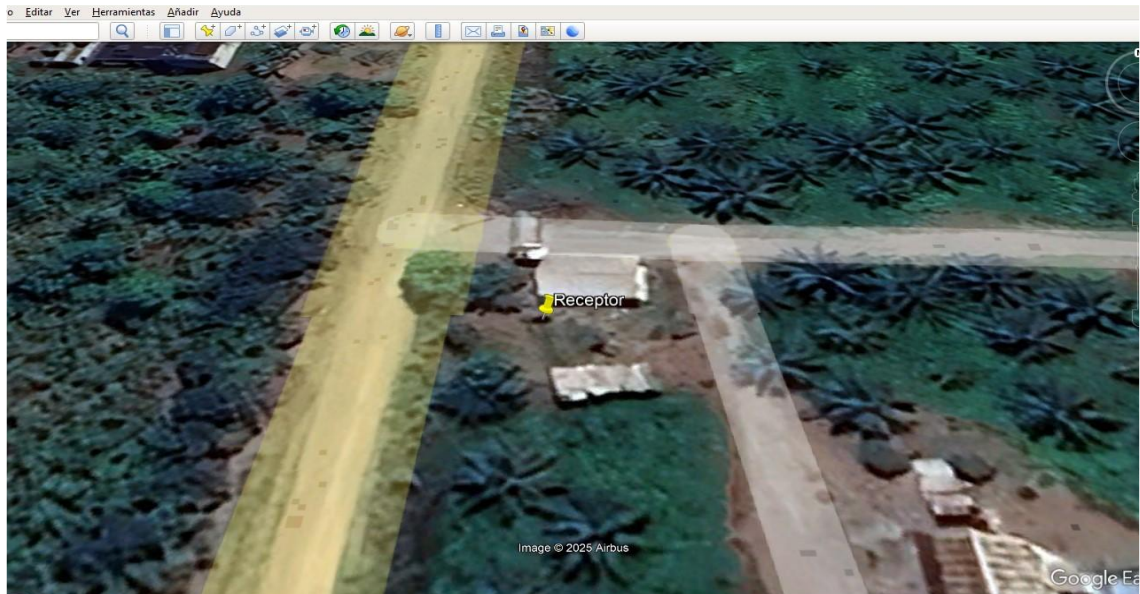
Descripción: Imagen de campo donde se observa el panel solar instalado en el sitio remoto del portón principal, con entorno rural denso.

Anexo 2: Gabinete eléctrico con conexiones internas



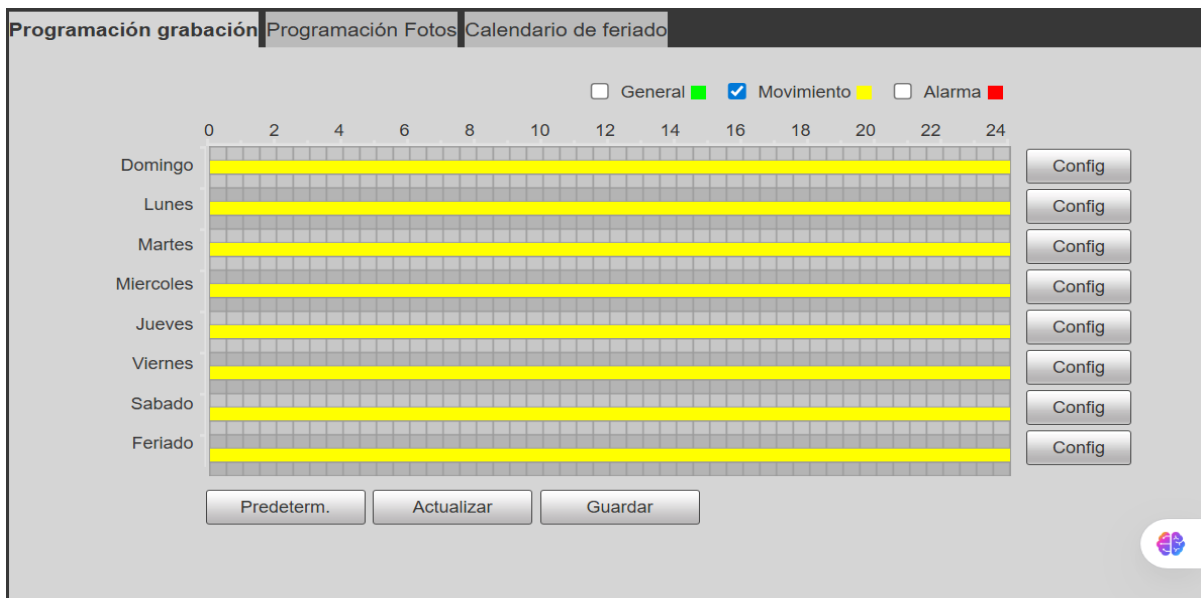
Descripción: Detalle visual de la instalación de componentes eléctricos, incluyendo baterías, controlador solar y protecciones.

Anexo 3: Configuración de enlace inalámbrico en AirOS (Ubiquiti)



Descripción: Parámetros técnicos como RSSI, CCQ, canal, frecuencia, calidad AirMax y uso de CPU/memoria.

Anexo 4: Interfaz de colores



En la interfaz gráfica de programación, los colores representan los siguientes modos de grabación:

- **Amarillo:** Grabación por detección de movimiento
- **Verde:** Grabación general o continua
- **Rojo:** Grabación activada por eventos de alarma.

Anexo 5: Aplicación móvil DMSS

