



Reconstrucción histórica y geoespacial de un sector de la ruta alternativa del ferrocarril al Atlántico (años 1871-1873), denominada: “línea de Fajardo”, en un área geográfica asociada con los valles de Orosi y de Ujarrás, Cartago, Costa Rica

Historical and Geospatial Reconstruction of a Sector of the Alternative Route of the Railroad to the Atlantic (1871-1873) Called “Fajardo Line,” in a Geographical Area Associated with the Valleys of Orosi and Ujarrás, Cartago, Costa Rica

Iván J. Sanabria-Coto¹

Investigador independiente, Costa Rica

Maureen A. Bonilla-Hidalgo²

Investigadora independiente, Costa Rica

Adolfo Quesada-Román³

Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

- 1 Investigador independiente. Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Licenciado en Geología de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: isanac81@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-8281-298X>
- 2 Investigadora independiente. Licenciada en Geología de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: maureenbh2007@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-0680-626X>
- 3 Ph.D. Doctorado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Ginebra. Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: adolfo.quesada@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-6601-5254>

Resumen

Este trabajo consiste en una reconstrucción histórica y geoespacial, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), de un sector de la ruta alternativa del ferrocarril al Atlántico de Costa Rica denominada: "línea de Fajardo", construida entre los años 1871-1873 y posteriormente abandonada. Esta fue impulsada por el gobierno de Tomás Guardia Gutiérrez y ejecutada por el contratista norteamericano Henry Meiggs Keith. En su momento esa obra incluyó, geográficamente, el norte y el oeste de los valles coloniales de Orosi y Ujarrás, respectivamente, en la provincia de Cartago. Esta investigación abarcó la compilación documental (histórica) y de insumos geoespaciales, así como la identificación, análisis e integración, mediante SIG, de vestigios constructivos de obras civiles y de evidencias de actividad antrópica asociada, dentro del área de estudio. Como resultado fue posible reconstruir geoespacialmente la ruta original del ferrocarril en el sector geográfico de interés, mediante una confiable integración metodológica, de las diferentes evidencias identificadas.

Palabras clave: Ferrocarril, reconstrucción, patrimonio, Atlántico, Costa Rica.

Abstract

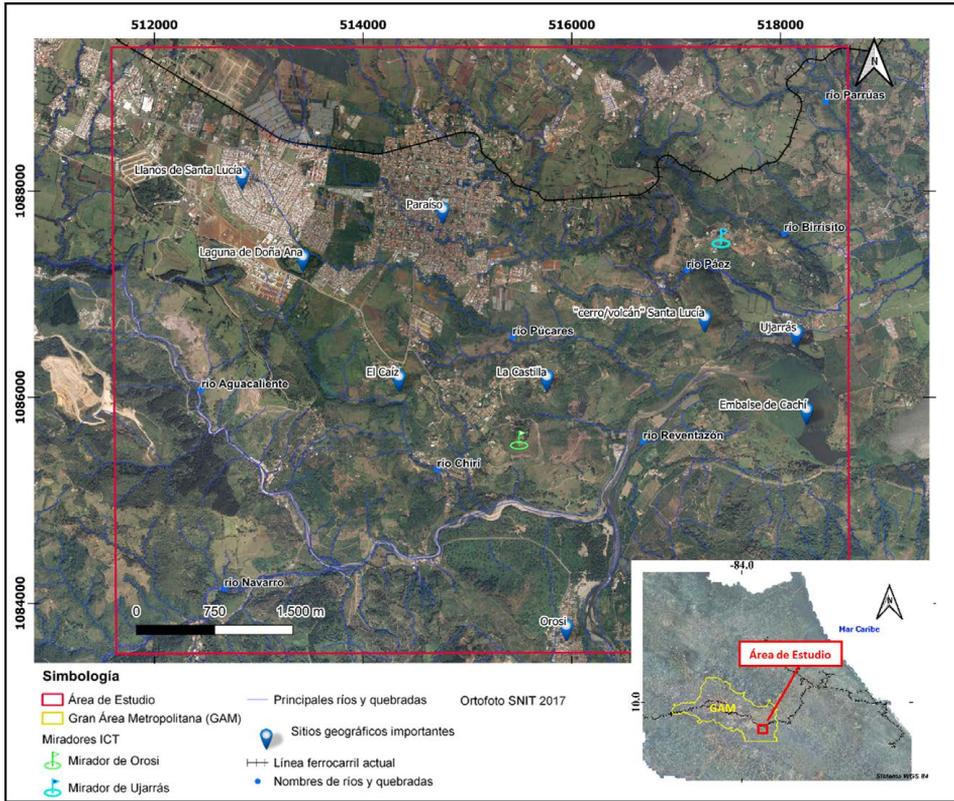
This work consists of a historical and geospatial reconstruction, using Geographic Information Systems (GIS), of a sector of the alternative route of the Costa Rican Atlantic railway called "Fajardo line," built between 1871-1873 and later abandoned. It was promoted by the government of Tomás Guardia Gutiérrez and executed by the North American contractor Henry Meiggs Keith. At the time, this work included, geographically, the north and west of the colonial valleys of Orosi and Ujarrás, respectively, in the province of Cartago. This research covered the compilation of documents (historical) and geospatial inputs, as well as the identification, analysis, and integration, through GIS, of construction traces of civil works and evidence of associated anthropic activity, within the study area. As a result, it was possible to geospatially reconstruct the original railway route in the geographic sector of interest through a reliable, methodological integration of the different identified evidence.

Keywords: railroad, reconstruction, heritage, Atlantic, Costa Rica.

Introducción

El área geográfica de interés se encuentra hacia el este de la ciudad de Paraíso, cantón N° 2 de la provincia de Cartago, formando parte del límite oriental de la Gran Área Metropolitana (GAM), de Costa Rica (Figura 1), incluyendo parte de los valles ligados con poblaciones coloniales de Orosi y Ujarrás, respectivamente.

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica, en coordenadas CRTM05, del área de estudio al límite extremo sureste de la GAM de Costa Rica

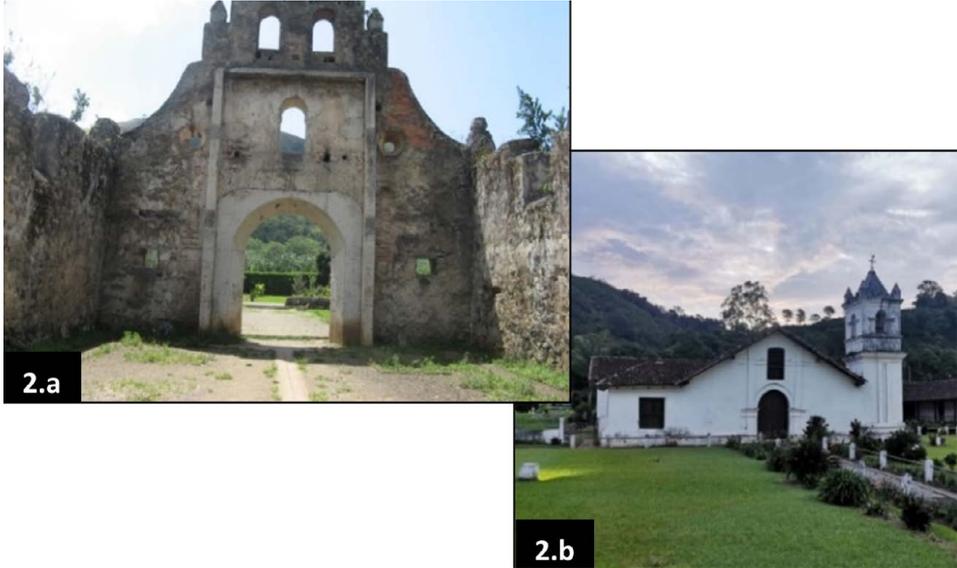


Fuentes: SNIT (2021), Ortiz y Montoya (2014) y elaboración propia.

El área específica de estudio se encuentra ubicada al sur y al este de la población de Paraiso de Cartago (Figura 1); dominada por una variedad de relieves topográficos caracterizados por valles, llanuras de inundación y planicies paleolacustres (Ujarrás); que han sido aprovechados en la producción agrícola, el desarrollo hidroeléctrico y, en conjunto, por atractivos turísticos naturales de gran belleza escénica.

Cabe destacar también el carácter histórico del área representado por las ruinas coloniales de la iglesia católica de Ujarrás y del templo y convento colonial de Orosi, ambos declarados monumento nacional y monumento histórico-arquitectónico, respectivamente (Figuras 2.a y 2.b), ubicados dentro de los principales núcleos de población de cada valle.

Figura 2. Ruinas de iglesia colonial de Ujarrás



Nota. (2.a) y de Iglesia y convento colonial de Oroquieta (2.b), en los respectivos centros de población de ambos valles.

Fuentes: Fotografía cortesía de Isaac Solano (Figura 2.b) y elaboración propia.

Adicionalmente, esta investigación se centra en los años desde 1871 hasta 1873, durante los primeros intentos y el casi inmediato abandono de la construcción de la línea del ferrocarril a la zona Atlántica de Costa Rica.

Por lo tanto, para el periodo precitado y dentro del área de estudio (Figura 1), la construcción de esta ruta buscaba facilitar el acceso a la zona Atlántica de Costa Rica, ya que: “El viaje de 180 millas entre San José y el Atlántico tomaba 30 días en llevarse a cabo, y para el mismo se hacía uso de diferentes medios de transporte” (Quesada, 1983, p. 89).

Además, según Gutiérrez (1981), el contratista norteamericano Henry Keith deseaba, por razones personales, que la futura vía bajara al salir de Cartago, hacia el este, lo más rápido posible, llegando hasta el nivel superior de la margen derecha del río Reventazón (Figura 1), y continuando así al este, hacia la costa la Atlántica del país. Además, Núñez (1924) indica que esta ruta se basó en el plan de uno de los ingenieros principales llamado M. Norris, quien la denominó como: “línea de Fajardo”, la cual atravesaba el valle de Ujarrás.

Sobre lo anterior, **Gutiérrez (1981)** agrega que, en ese entonces, se trazó la línea, se abrió la trocha, incluso se tendieron rieles por alguna longitud, pero al llegar a las "Lomas de Fajardo", muy cerca de la actual represa hidroeléctrica del Embalse de Cachí, se toparon con paredes de roca imposibles de pasar por encima, haciendo un desvío, o bien, por medio de un túnel.

De lo anterior se infiere que el rápido abandono en la construcción de esta ruta alterna del ferrocarril al Atlántico de Costa Rica fue, en buena parte, debido a un nulo o escaso planeamiento y diseño, esta afirmación es respaldada por **Murillo (1995)**, quien agrega que: el trazado mismo de la ruta del ferrocarril y el inicio, casi simultáneo, de las labores de construcción de la vía desde sus dos puntos extremos, en el Valle Central y el Puerto de Limón, se debió más a una decisión política que técnica.

Lo anterior también lo reafirma **Gutiérrez (1981)**, al indicar que, como parte de la usual tónica en los contratos para la construcción de la ruta del ferrocarril, no se conocía la longitud exacta ni la localización de la vía, sin existir un perfil y sin estimarse el número, tamaño, así como localización de puentes, alcantarillas, cortes, rellenos, estaciones, posibles túneles, entre muchos otros aspectos. En resumen: "el proceso de construcción se inició partiendo de la improvisación, más que de una cuidadosa planificación" (**Rodríguez & Borge, 1979, p. 88**).

Por lo tanto, un objetivo de esta investigación es mostrar de una forma original y novedosa una reconstrucción de una parte de la ruta para el ferrocarril al Atlántico, llevada a cabo durante los años 1871-1873, dentro del contexto fisiográfico del área de estudio.

Otro objetivo asociado con este trabajo implica marcar un hito en el abordaje de este tipo de investigaciones para motivar al resguardo y la promoción del valor turístico y cultural del área de interés; por tanto, al final de este trabajo se suministra el enlace de descarga del recorrido geoespacial de la ruta propuesta.

Marco teórico-conceptual

Primeros intentos del trazado y construcción de la línea de ferrocarril al Atlántico antes del año 1871

Para **Peraldo y Rojas (1998)**, la idea de construir un ferrocarril ya se percibía desde los años veinte del siglo XIX, por parte del minero inglés

Richard Trevithick, quien había propuesto a la Junta de Gobierno la construcción de un ferrocarril que comunicara entre San José y Limón; no obstante, ambos autores agregan que fue durante la segunda mitad del siglo XIX que se intensificaron todos los esfuerzos para la construcción de un ferrocarril, al considerarse de urgencia o prioritario para el país.

Cabe mencionar que, según Hall (1976), la construcción del ferrocarril de Alajuela a Limón era factible mediante financiación extranjera, mano de obra migrante, la importación de materiales de construcción, equipo rodante y combustible, siendo estos problemas que preocuparon a los contratistas durante todo el periodo de los años 1871 a 1873.

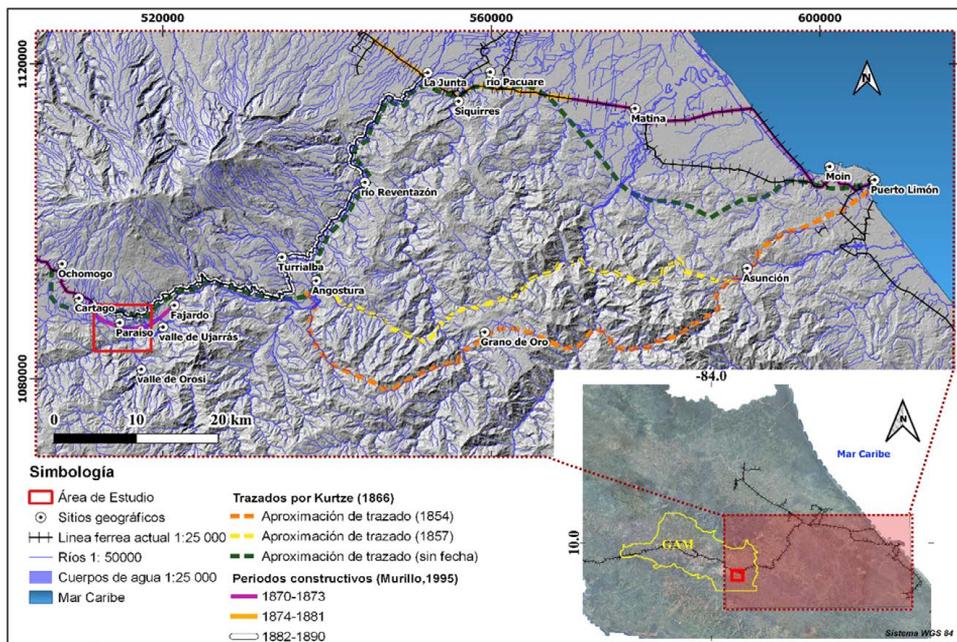
Por otra parte, para Peraldo y Rojas (1998) el trazado de la ruta merece un apartado especial, ya que se caracterizó por la improvisación, donde todo parece indicar que la ruta fue estudiada concomitantemente a la apertura de la trocha, ocasionando pérdidas económicas y problemas técnicos durante y después de su construcción. También agregan que el pretexto que predominó en el faltante de estudios previos para la obra ferroviaria pudo tener su explicación en la desconfianza del gobierno ante contratos para tal propósito.

No obstante, para Quesada (1983) fue después en 1866 que el Gobierno del presidente José María Castro Madriz contrató los servicios de Franz Kurtze, quien elaboró un mapa de la primera ruta interoceánica a través de Costa Rica.

Para Rodríguez y Borge (1979), entre los pocos estudios realizados, los más importantes fueron hechos por el ingeniero alemán Kurtze (1866) quien presenta tres propuestas de línea del ferrocarril dentro del sector geográfico comprendido entre Ochomogo de Cartago, en el centro del país, hasta Puerto Limón en el litoral Atlántico de Costa Rica.

Por otra parte, dentro de este mismo sector, en el mapa de la figura 3, Murillo (1995) logra diferenciar geográficamente los posteriores periodos constructivos del ferrocarril hacia el Atlántico.

Figura 3. Mapa de interpretación, en coordenadas CRTM05, de las rutas propuestas por Kurtze (1866) y de las posteriores etapas constructivas (Murillo, 1995).



Fuente: Interpretaciones de Kurtze (1866), Murillo (1995) y relieve de JAXA/METI (2011).

En la figura anterior se observan tres aproximaciones de las propuestas de trayectos hacia el Atlántico del país, denominadas como: “*Line Survey*”, con fechas: 1854 (en naranja), 1857 (en amarillo) y sin fecha (en verde), siendo el último trayecto el que guarda una mayor semejanza con la actual ruta; sin embargo, dentro de esta propuesta de Kurtze (1866), se situaba la ruta del ferrocarril en la margen derecha del río Reventazón, contraria a la margen donde se ubica la actual ruta definitiva (margen izquierda).

Firma del contrato del año 1871 y trabajos realizados para la construcción del ferrocarril al Atlántico durante los años 1871-1873, dentro del área de estudio

Después de varios intentos de finiquitar una contratación para la construcción del ferrocarril al Atlántico, Gutiérrez (1981) señala la vital aparición en escena de la figura del Ing. Henry Meiggs Williams, también llamado el “Padre de los ferrocarriles chilenos”. Sin embargo, para

Macune (1982), fue el coronel y presidente de la república Tomás Guardia, quien después de derrocar al presidente de turno Jesús Jiménez Zamora, dio el empuje necesario a la construcción del ferrocarril al Atlántico.

Además, según **Gutiérrez (1981)** el contrato con Keith fue firmado en Lima, Perú el 20 de julio de 1871, el cual transfirió él mismo a su sobrino Henry Keith (Henry Meiggs Keith), y este luego incluyó a su hermano menor, de tan solo 23 años, llamado Minor Keith.

Para **Quesada (1983)**, inicialmente la División Atlántica fue dispuesta en tres secciones "Limón-Pacuare" (38 millas), "Pacuare-Angostura" (28 millas), y la más importante para esta investigación, la de "Angostura-Cartago" (28 millas), como se observa en la figura 3.

Por lo tanto, para **Quesada (1983)**, desde el inicio se percibía que el ferrocarril al Atlántico de Costa Rica iba a ser una empresa que exigiría un enorme esfuerzo humano, económico y de ingeniería, esto fue palpable en los primeros seis meses de construcción de la División del Atlántico, donde perdieron la vida unos 4000 hombres, debido a las pobres condiciones sanitarias de la región.

Cabe indicar que el área geográfica de estudio de la presente investigación se relaciona con la División Atlántica, denominada así por **Quesada (1983)**; no obstante, basándose en **Rodríguez y Borge (1979)**, **Murillo (1995)** y **Casey (1976)**, esta área corresponde específicamente a una parte de la sección de Angostura-Cartago (Figura 3), lo anterior porque, según **Rodríguez y Borge (1979)**, para el año 1872 la empresa contratista fue organizada en cuatro divisiones de trabajo, de tipo operativas/logísticas, a saber: I División: Limón-Siquirres (río Pacuare), II División: Siquirres (río Pacuare)-Angostura, III División: Angostura-Cartago y IV División: Cartago-Alajuela.

Por otra parte, **Gutiérrez (1981)** menciona que, en una carta del año 1871, enviada por Guillermo Nanne, superintendente general del proyecto, a Henry Keith, se menciona que la carencia de ingenieros fue un problema: "debido al corto periodo durante el cual toda la línea debiera construirse... desde el principio, los contratistas improvisaron y comenzaron a construir la línea sin que los estudios preliminares necesarios hubieran sido llevados a cabo por ingenieros calificados" (**Gutiérrez, 1981, p. 87**).

Además, se afirmaba que inicialmente no tenían básicamente nada: "ningún plan, ningún perfil, en realidad ningún estudio de línea y mucho

menos de terreno. Las cosas se hicieron con tanta prisa al principio, que solo poco a poco se da cuenta de cuantas partidas importantes han sido olvidadas" (Gutiérrez, 1981, p. 87). Por otra parte, se describió que: "Nuestros contratistas están continuamente persiguiendo a los ingenieros, y no les dan siquiera el tiempo para estudiar el terreno debidamente" (Hall, 1976, p. 112).

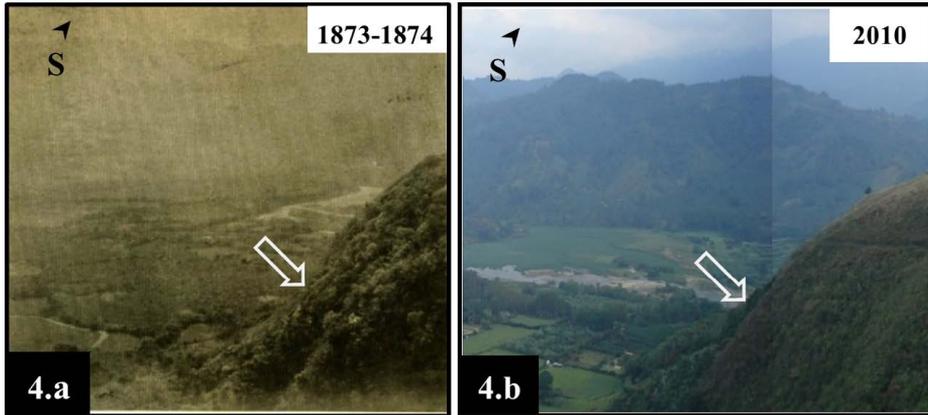
Para Casey (1976), fue particularmente en el sector comprendido entre Angostura-Cartago, denominado como III División, donde fueron formados campamentos de trabajadores, esto por una posible ausencia de centros densamente poblados, exceptuando Cartago, en los cuales pudieran vivir los trabajadores, así como por la necesidad de tenerlos agrupados en determinadas áreas geográficas para lograr una mejor dirección y más fácil abastecimiento de estos.

Además, el autor antes mencionado señala que en principio existieron cinco campamentos: el #1 en el Llano, el #2 en Orosi, el #3 cerca de Paraíso, el #4 en Ujarrás y el #5 en Fajardo.

Por otra parte, según Rodríguez y Borge (1979), al iniciar las obras, 25 hombres habrían partido desde Paraíso de Cartago, donde en octubre de 1871, luego de 12 días de viaje, se iniciaron los trabajos de abrir el bosque, construir bodegas, casas provisionales, así como atracaderos provisionales que luego convertirían en muelles de hierro de 250 m a 350 m de longitud. Por lo cual la línea del ferrocarril rumbo al interior cruzaba montañas vírgenes y zonas pantanosas que debían rellenarse con roca o ladrillo.

En fotografías históricas de SINABI (2020) se visualiza el alto grado de cobertura vegetal existente en el valle de Ujarrás, para los años 1873-1874 (Figura 4.a) así como del año 2010 (Figura 4.b), lo cual permite comprender el grado de complejidad natural del área de estudio, específicamente al oeste del valle de Ujarrás, a través del denominado "cerro/volcán Santa Lucía" (Sanabria-Coto & Bonilla-Hidalgo, 2021, p. 32).

Figura 4. Vista, durante los años 1873-1874 (4.a) y 2010 (4.b), de sector aproximado (flechas) de la construcción de línea del ferrocarril en la base del "cerro/volcán" Santa Lucía (Ujarrás)



Fuentes: Modificada de [SINABI \(2020\)](#) y elaboración propia.

Ambas fotografías (Figuras 4.a y 4.b) fueron tomadas desde las cercanías del actual Mirador de Ujarrás del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) (Figura 1), donde es posible, según [Sanabria-Coto y Bonilla-Hidalgo \(2021\)](#), apreciar el denominado "cerro/volcán Santa Lucía" o también conocido como: "Picacho". Las flechas (en blanco) indican, aproximadamente, el sector con evidencias de los trabajos constructivos realizados para la ruta del ferrocarril.

También para [Peraldo y Rojas \(1998\)](#) la ausencia de estudios preliminares fue bastante evidente en el caso de la sección del valle del Reventazón en Ujarrás, pues las rocas de Fajardo fueron un obstáculo insalvable, invirtiéndose la cantidad de un millón de pesos para la apertura de la trocha a través de lavas y brechas sin resultados positivos, lo anterior causó el abandono de esa sección, específicamente en los alrededores de Fajardo (Figura 3).

Es de suma importancia mencionar que:

a pesar de que 5.000 millas de terreno pantanoso habían sido drenadas y reducidas a 2.000 yardas, la malaria hacía serios estragos particularmente entre la población china. El Hospital de Cartago nunca tenía menos de 150 chinos enfermos de malaria. Las imposibilidades de penetrar las montañas

de Fajardo hicieron desistir a Henry Keith del intento, el cual resultó en una pérdida de un millón de pesos (Quesada, 1983, p. 95).

Además, para Quesada (1983), Henry Keith (Henry Meiggs Keith), solo pudo construir un total de aproximadamente 48,5 millas, pues el 7 de noviembre de 1873 Keith ya no tenía el dinero que había sido aportado por los prestamistas ingleses, por lo cual se decidió detener las operaciones, produciendo una violenta respuesta en el país; entonces el gobierno prefirió cancelar el contrato con Keith.

En resumen, para Rodríguez y Borge (1979), en todo momento existió una carencia de estudios definitivos que permitieran evaluar las dificultades topográficas venideras, los plazos de tiempo, así como los recursos financieros y humanos para la realización de la obra. Esos autores agregan que sobre la marcha se decidieron algunos trayectos y, poco tiempo después, fueron desechados. También, se efectuaron trabajos preparatorios a la construcción de la línea y, de igual manera, tiempo después eran abandonados.

Así mismo, de acuerdo con Quesada (1983), mediante el Contrato Soto-Keith del 21 de abril de 1884, Keith adquirió la obligación de construir la primera sección de La Junta-Cartago donde la ruta final y definitiva para la línea entre Limón y San José sería paralela a la margen izquierda del río Reventazón (Figura 3).

Por último, de acuerdo con Rodríguez y Borge (1979), el proceso de construcción de la ruta del ferrocarril al Atlántico se prolongó durante al menos 19 años. Para Quesada (1983) el hito histórico se dio el domingo 7 diciembre de 1890, con la salida del primer tren con un viaje directo de Puerto Limón a San José.

Contexto fisiográfico y su relación con actividades constructivas para la adaptación de las rutas de ferrocarril al medio

Para efecto de identificar las posibles evidencias constructivas de la construcción de la línea del ferrocarril es necesario comprender el contexto fisiográfico inherente, tal como las geoformas, formaciones geológicas y sus respectivos materiales preponderantes. Lo anterior tiene un gran énfasis en la resistencia y las propiedades geomecánicas de los materiales (geotecnia o geomecánica).

Cabe destacar que la importancia de la valoración de las condiciones fisiográficas en la construcción de una vía de ferrocarril radica en que:

El trazado del ferrocarril es considerablemente más exigente que el de las carreteras (menores inclinaciones, mayores radios de curvatura, etc.) lo que determina menores grados de libertad y la necesidad de asumir obstáculos, naturales o construidos, resultando en mayores volúmenes de excavación, en la realización de un mayor número de túneles y en la definición de terraplenes y taludes más elevados. También con frecuencia se atraviesan zonas de aluvión, con los problemas inherentes de drenaje y de refuerzo del cimiento de los terraplenes (Campos, Castro & Santos, 1998, p. 117).

Por lo anterior es que para Campos *et al.* (1998) la extensión de las obras complica la evaluación rigurosa de todas las características y parámetros que condicionan la ejecución de un proyecto que pueda ser perfectamente adaptado a la realidad, específicamente con la determinación de las características geotécnicas de los materiales atravesados. Adicionalmente, la "extensión de las obras, la diversidad y la heterogeneidad frecuente de los materiales asociados dificultan la realización de un proyecto definitivo, obligando a la constante intervención en obra, readaptando las soluciones siempre que la caracterización geológico-geotécnica más localizada lo aconseje" (Campos *et al.*, 1998, p. 117).

Por otra parte, según Orme (2013), durante la manía ferroviaria de Inglaterra de la década de 1840 se produjeron muchos deslizamientos de tierra en terraplenes y cortes porque los factores de seguridad requeridos para los diferentes tipos de rocas no se entendían bien, lo cual llevó a una determinada inversión teórica y práctica en geomorfología de laderas.

Marco metodológico

Compilación de información histórica y geoespacial sobre la construcción del ferrocarril al Atlántico de Costa Rica, dentro del área de estudio

En una primera etapa metodológica de esta investigación se realizó una intensiva compilación de información en los diferentes formatos (impresa, electrónica, gráfica y audiovisual) disponibles, tales como: mapas, planos, bosquejos, fotografías, artículos de periódicos, perfiles y secciones topográficas.

Para lo anterior se tomaron en cuenta las bases de datos de los siguientes lugares:

- Archivo Nacional de Costa Rica (ANCR).
- Centro de Documentación del Tribunal Supremo de Elecciones (TSE).
- Publicaciones de la Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Biblioteca Nacional de Costa Rica.
- Biblioteca Municipal de Paraíso.
- Biblioteca Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica (UCR).
- Biblioteca Luis Demetrio Tinoco de la UCR.
- Biblioteca de la Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

No obstante, una evidente limitación metodológica fue que, a pesar de una exhaustiva búsqueda documental, no fue posible obtener información histórica sobre algún prediseño que presentara algún grado relativo de detalle/escala o de disposición geoespacial para coadyuvar con una primera aproximación geoespacial del trazado originalmente propuesto, para la III sección del ferrocarril o "línea de Fajardo" en el área de estudio, durante los años 1871-1873. Seguidamente, mediante el SIG denominado: QGIS® se compiló y georreferenció (cuando fue necesario) información geoespacial de índole topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica.

También se procesaron dos ortofotos históricas del año 1945, adquiridas en el Instituto Geográfico Nacional (IGN), del Registro Nacional. La importancia en la escogencia de estas fotos áreas radicó en su cercanía temporal de 78 años (1873-1945) respecto a la fecha de la construcción, potenciando una mayor conservación de evidencias en el terreno, una menor cobertura vegetal y una menor densidad de nuevas infraestructuras que en la actualidad. Sin embargo, su georreferenciación implicó nuevas limitaciones metodológicas, debido al grado de error en el orden de 10 m en promedio.

Asimismo, de forma gratuita se utilizaron ortofotos recientes, georreferenciadas, de los años 2005-2017, así como capas de información geográfica de uso libre en los geoportales nacionales del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) mediante SIG, e imágenes satelitales para el procesamiento en línea mediante la plataforma Google Earth®.

También fue necesario, para su uso y análisis, la descarga de geoinformación en los repositorios de la Administración Espacial Aeronáutica de Estados Unidos (*NASA*, por sus siglas en inglés), de modelos de elevación digital (MED's), siendo producto del uso del Radar de Apertura

Sintética (SAR, por sus siglas en inglés), de los sensores espaciales: ALOS PALSAR, con una resolución de 12.5 m. Todo lo anterior se complementó con observación panorámica de campo, desde los miradores naturales, pertenecientes al ICT, hacia los valles de Orosi y Ujarrás y alrededores (Figura 1).

Elaboración de propuesta geoespacial de la ruta del ferrocarril al Atlántico de Costa Rica, durante los años 1871-1873, dentro del área de estudio

Mediante SIG se realizó una integración, análisis y, finalmente, una correlación geoespacial, por medio del software libre QGIS®, de la información documental compilada, georreferenciada, así como observada en el campo. Con lo anterior se logró elaborar una propuesta sobre la posible ruta constructiva del ferrocarril, considerando los siguientes aspectos:

- Las formas del relieve asociadas con su clasificación geomorfológica (Van Zuidam, 1986) y de su pendiente por medio de un Modelo de Elevación Digital (MED) de 12.5 m de resolución.
- La integración geoespacial sobre el contexto fisiográfico vinculado con información geológica y geomorfológica, así como de elementos hidrológicos predominantes dentro del área de estudio.
- Discriminación de rutas de tránsito previas y posteriores a la construcción del ferrocarril al Atlántico durante los años 1871-1873 en el área de estudio, mediante análisis con SIG de ortofotos históricas (1945) y con base a la información documental asociada.
- Ubicación geoespacial de geometrías vectoriales asociadas con elementos constructivos físicos identificados (obras civiles) en el terreno y mencionados en la documentación histórica.
- La identificación y correlación, por medio de SIG, de la mayor cantidad de evidencias sobre alteración o adaptación antrópica de la posible ruta al contexto fisiográfico del área de estudio propuesta, tales como:
 - La transformación de gradientes en el terreno, mediante movimiento de tierras, por medio de evidencias constructivas de cortes, rellenos, rampas o elaboración de terrazas y bermas dentro de las aparentes trochas construidas.

- La medición, mediante SIG, de anchos mínimos en terrazas construidas para el tránsito del ferrocarril.
- Identificación de radios de giro compatibles, geoméricamente, con los construidos dentro de la ruta definitiva al norte del área de estudio.
- La determinación y comparación de gradientes topográficos para la ruta del ferrocarril propuesta en esta investigación, con respecto a segmentos del trazado definitivo hacia el norte del área de estudio.
- Correlación geoespacial de obras constructivas de naturaleza logística/operativa, tales como la ubicación aproximada de los campamentos de trabajadores, que solo han figurado en la información documental.
- Construcción de obras de control hidráulico tales como puentes, alcantarillas y/o bien, de canalización, vinculadas con la hidrología preponderante.
- Identificación de elementos de carácter conservativo de la ruta, tales como de muros de contención; así como de terraplenes para elevar y proteger la ruta en áreas de fuerte pendiente o de interacción fluvial en las llanuras de inundación o abanicos aluviales del fondo del valle de Ujarrás.
- Mediante la aplicación de SIG, la identificación de diferentes áreas geográficas con indicios puntuales de relativa inestabilidad geológica y/o erosión del terreno, iniciada o acelerada por determinadas obras y actividades dentro de la construcción de la ruta.

Como resultado de todo lo anterior se logró visualizar, dentro del área de estudio, al menos tres zonas geográficas particulares que favorecían una primera integración geoespacial preliminar de las evidencias físicas visibles (obras); así como de las inferidas mediante SIG, permitiendo posteriormente la elaboración de un mapa definitivo sobre la reconstrucción propuesta de la ruta del ferrocarril para los años 1871-1873 dentro del área de estudio.

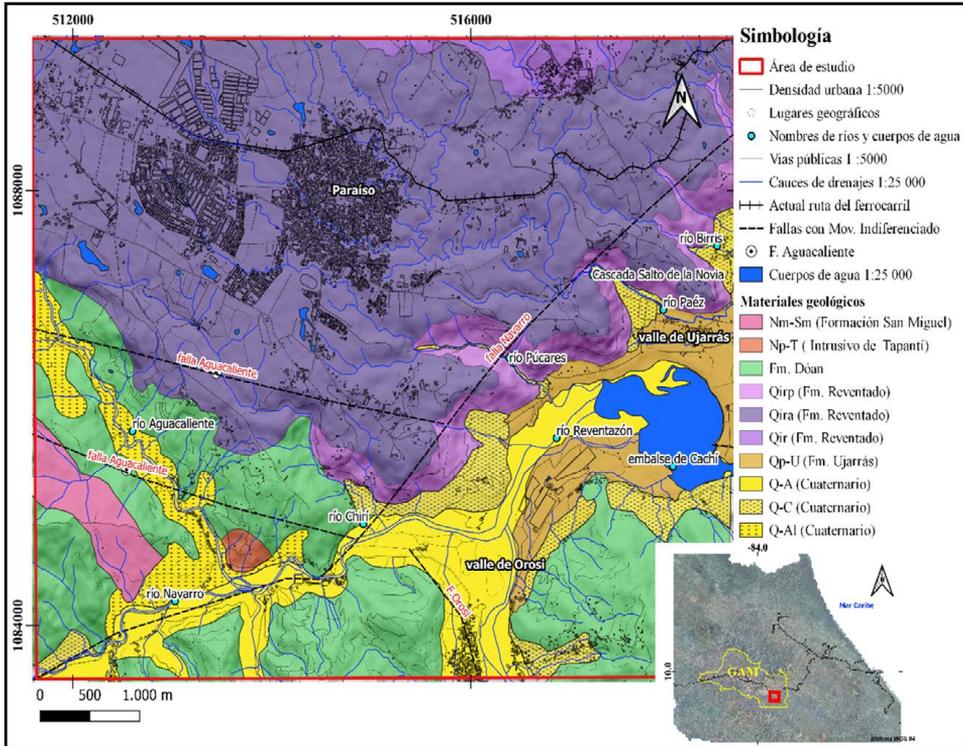
Resultados

Principales características del contexto fisiográfico del terreno y su relación con la construcción de la ruta del ferrocarril (años 1871-1873), dentro del área de estudio

Con base en la información geoespacial compilada e integrada mediante el SIG, se identificaron características fisiográficas de tipo: geológicas (Figura 5) y geomorfológicas (Figura 6). Además, de cinco perfiles

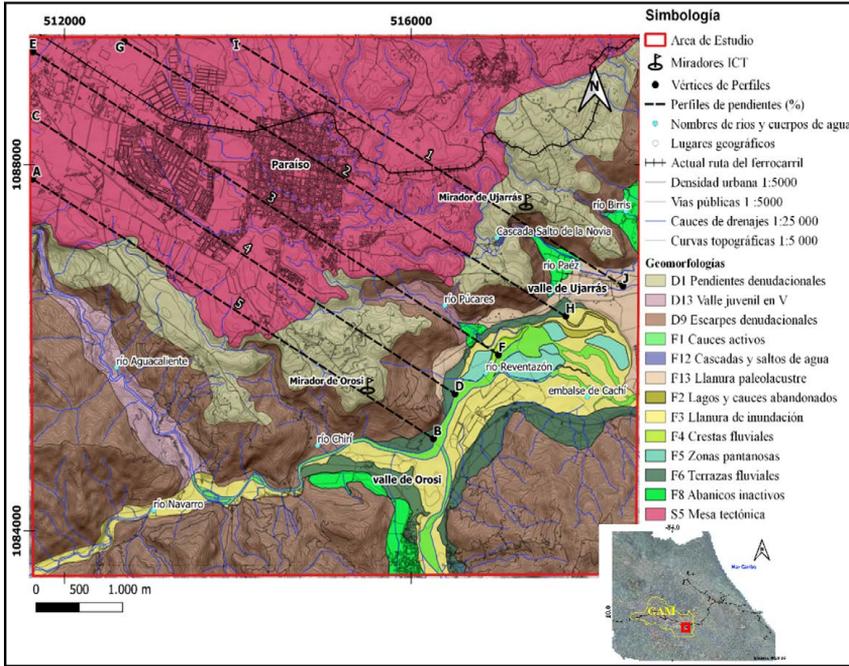
paralelos con porcentajes del relieve topográfico con rumbo de la ciudad de Cartago hacia el río Reventazón en Ujarrás (noroeste-sureste), siendo el perfil N°3 en las cercanías del valle del río Púcares el que muestra los menores porcentajes de pendiente (Figura 7).

Figura 5. Mapa geológico del área de estudio en coordenadas CRTM05



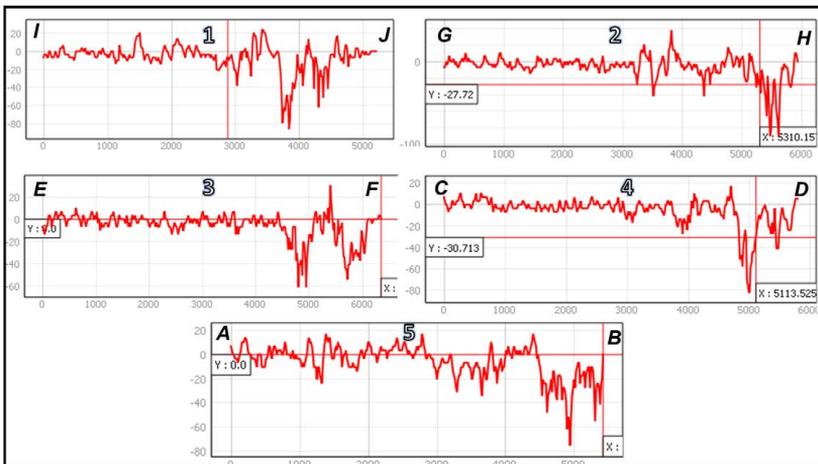
Fuentes: Basado en Krushensky (1972), Denyer, Montero y Alvarado (2009), JAXA/METI (2011), Sanabria (2014), Sojo *et al.* (2017), Sojo (2018) y elaboración propia.

Figura 6. Mapa geomorfológico del área de estudio en coordenadas CRTM05



Fuentes: Basado en Bergoing y Malavassi (1981a, b), JAXA/METI (2011) y elaboración propia.

Figura 7. Perfiles con porcentajes de pendiente (1-5) ubicados en mapa de Figura 6.



Fuentes: JAXA/METI (2011) y elaboración propia.

Adicionalmente, en la siguiente tabla comparativa (Tabla 1), se muestran las respectivas correlaciones entre el contexto fisiográfico y las potenciales evidencias constructivas.

Tabla 1. Correlaciones entre las principales características geológicas/geomorfológicas y las posibles evidencias del emplazamiento de la ruta del ferrocarril en el área de estudio

Fm. geológica	Principales características geológicas/geomorfológicas del medio fisiográfico dentro del área de estudio	Tipos de evidencias de actividades o adaptaciones identificables mediante SIG
<i>Formación San Miguel</i>	Para Sojo <i>et al.</i> (2017) es una unidad geológica compuesta por calizas. En el área de estudio se ubica al extremo suroeste. Carballo y Fischer (1978) asignan una edad de Mioceno Inferior - Mioceno Medio. Esta formación se encuentra asociada con escarpes denudaciones (D9) y marcados relieves topográficos.	En estados poco meteorizados su manipulación necesita del empleo de maquinaria o explosivos en labores de tipo cantera con cortes y taludes predominante verticales.
<i>Intrusivo Tapantí</i>	Sanabria (2014) lo describe como bloques de gran dureza de rocas ígneas con textura fanerítica y una matriz totalmente cristalizada de color gris claro. Está ubicada hacia el sur y sureste del área de estudio. Alvarado y Gans (2012), les asignan una edad de 4.20 a 3.89+/-0.30 Ma 4.20 a 3.89 Ma. Geomorfológicamente, asociada a escarpes denudacionales (D9), con altos relieves topográficos.	Tiene alta resistencia a la manipulación manual en estados poco meteorizados, por lo cual es necesario el uso de explosivos y trabajo mecanizado en caso de abrir paso mediante taludes predominante verticales.
<i>Formación Doán</i>	Sanabria (2014) la describe como lavas y tobas, así como de conglomerados de matriz arcillosa. Se encuentra, predominante, hacia el sur del área de estudio. Para Alvarado y Pérez (1999) la edad es del Plioceno Superior. Está vinculada con escarpes denudacionales (D9), en marcados relieves y pendientes topográficos.	Los materiales volcánicos no consolidados o heterogéneos hacen más fácil su manipulación; no obstante, en áreas con altas pendientes se pueden presentar inestabilidades del terreno, por lo cual no son factibles aquellos cortes y/o taludes verticales.
<i>Formación Reventado</i>	Krushensky (1972) la clasifica en Miembro superior de flujos de lava (Qir), seguido del Miembro cama de ceniza (Qira) y el Miembro inferior denominado como Paraíso (Qirp) ligadas al grupo de lavas de andesitas, las cuales Sanabria-Coto y Bonilla-Hidalgo (2021) definen como andesitas/basálticas. Esta la formación geológica más preponderante desde el centro al norte del área de estudio, con espesores de 200 m para las lavas del Miembro Paraíso (Sojo <i>et al.</i> , 2017). Krushensky (1972) la asigna a la Fm. Reventado una edad de Pleistoceno Tardío.	El Miembro Cama de Ceniza (Qira), presenta las mejores condiciones de manipulación debido a su alta ripabilidad, incluso manual, como consecuencia de su baja resistencia y consolidación; no obstante, esto la hace susceptible a la erosión e inestabilidad de los cortes o taludes verticales realizados, implicando la acumulación de agua y regolito en los cortes horizontales (bermas), por tanto, se puede evidenciar la concentración de vegetación orientada transversal y horizontalmente a las respectivas laderas.

Fm. geológica	Principales características geológicas/geomorfológicas del medio fisiográfico dentro del área de estudio	Tipos de evidencias de actividades o adaptaciones identificables mediante SIG
<i>Formación Reventado</i>	<p>También esta formación presenta una extensa geoforma de mesa tectónica (S5) desde el medio hacia el norte del área de estudio, generando áreas de relativas planicies en el sector de Paraíso y Cartago, con laderas de graduales pendientes (pendientes denudacionales D1); así como eventualmente abruptas: Cascadas y saltos de agua (F12), como la cascada Salto de la Novia en el “cerro/volcán” Santa Lucía (Figura 1), y de escarpes denudacionales (D9), conforme se presenta un evidente descenso hacia los valles de Orosi y Ujarrás.</p> <p>También hay un marcado relieve topográfico de esta formación al estar disectada por los diferentes ríos: Birrís, Páez, Púcares, y Chirí, que confluyen en valles juveniles en V y paralelos (D13) hacia el este, al río Reventazón.</p>	<p>El Miembro Cama de Ceniza (Qira), presenta las mejores condiciones de manipulación debido a su alta ripabilidad, incluso manual, como consecuencia de su baja resistencia y consolidación; no obstante, esto la hace susceptible a la erosión e inestabilidad de los cortes o taludes verticales realizados, implicando la acumulación de agua y regolito en los cortes horizontales (bermas), por tanto, se puede evidenciar la concentración de vegetación orientada transversal y horizontalmente a las respectivas laderas.</p> <p>Por otra parte, las lavas volcánicas de los miembros superior (Qir) y el miembro Paraíso (Qirp) presentan una mayor resistencia geomecánica de cortes y taludes verticales en condiciones predominantes de relativa meteorización que también permiten la elaboración de agregados y mampostería para la construcción de muros de contención, puentes y alcantarillas en la ruta. Empero, se pueden presentar condiciones geomecánicas adversas por fracturamiento tectónico, lo cual implica la elaboración de áreas de protección o sostenimiento lateral en sectores con pendientes casi verticales.</p>
<i>Formación Ujarrás</i>	<p><i>Sojo et al. (2017)</i>, asocian esta formación con los depósitos lacustres que conforman el fondo del valle de Ujarrás. Según <i>Sanabria-Coto y Bonilla-Hidalgo (2021)</i> se encuentra compuesta por bloques de conglomerados decimétricos en contactos flotantes dentro de una matriz de arena gruesa. <i>Escalante (1966)</i> le asigna una edad de Pleistoceno.</p> <p>Geomorfológicamente, se infiere una llanura paleolacustre (F13), vinculada con esta formación geológica, la cual se evidencia en bajas pendientes topográficas.</p>	<p>Potencialmente erosionable en el tiempo, disminuyendo registro de evidencias, tal como se aprecia en los contactos de esta formación con la hidrodinámica del río Reventazón, en las cercanías de las ruinas de la iglesia colonial de Ujarrás. Posee un relativo manejo de forma manual pero preferentemente con maquinaria.</p>
<i>Aluvión (Q-A)</i>	<p>Para <i>Sanabria (2014)</i>, son terrazas de depósitos cuaternarios (de arenas, arcillas, limos y bloques) a lo largo de los ríos Grande de Orosi, Reventazón, Macho, Navarro, Juco, Blanco y Agua Caliente. Para <i>Sojo et. al (2017)</i>, yacen mayormente al fondo del amplio embalse de Cachi. Posee geoformas asociadas con cauces activos (F1), llanuras de inundación (F3), crestas fluviales (F4), zonas pantanosas (F5) y cauces y lagos abandonados (F2), terrazas fluviales (F6), con pendientes de bajo gradiente.</p>	<p>Existe una relativa resistencia a la erosión en función de la cantidad de clastos vs. matriz sedimentaria. Los materiales asociados pueden emplearse para agregados en terraplenes de la ruta en áreas planas, y/o bien, como diques de protección en áreas de fuerte interacción fluvial sujetas a procesos de remoción en masa (inundaciones y flujos de lodo).</p>

Fm. geológica	Principales características geológicas/geomorfológicas del medio fisiográfico dentro del área de estudio	Tipos de evidencias de actividades o adaptaciones identificables mediante SIG
<i>Depósitos coluviales (QC)</i>	Para Sanabria (2014) son depósitos cuaternarios con materiales relativamente consolidados y compuestos preponderantemente por fragmentos de roca angulares (decimétricos a métricos), dentro de una matriz arcillosa de color amarillo. En el área de estudio se ubican asociados con zonas de transición topográfica "suavizando" el contraste del relieve superior respecto al fondo del valle. Están compuestos mayormente de laderas con pendientes denudacionales (D1), conformando el piedemonte de las paredes de los valles.	Por su naturaleza geomorfológica propia de la transición del relieve, así como por la relativa consolidación y heterogeneidad de materiales, es difícil poder evidenciar cortes o taludes plenamente en estos materiales; no obstante, el uso de sus materiales como insumo y de sus características geomorfológicas pudieron facilitar, en algunos sectores, la construcción de los descensos o ascensos de forma gradual respecto al fondo de los valles.
<i>Depósitos de abanico aluvial (Q-AL)</i>	Sojo et al. (2017) señalan que estos materiales se presentan en concomitancia con depósitos de coluvios y de aluvión cuaternarios, los cuales están asociados a la geodinámica erosiva/sedimentaria proveniente de los mayores escarpes alineados. Además, Sojo et al. (2017) agrega que el valle de Ujarrás ha estado expuesto a flujos de lodo con escombros, vinculados a deslizamientos, con evidencia de ocho abanicos ej. Río Paéz. Por tanto, la geoforma de abanicos inactivos (F8) le corresponde a esta formación, con una pendiente más suavizada de un piedemonte y con una mayor extensión y gradación granulométrica longitudinal que los depósitos coluviales típicos formados, principalmente, por acción de la gravedad.	Estos materiales guardan características semejantes con los depósitos coluviales (QC); no obstante, por el alto de grado energía y rapidez asociado a su formación, es difícil la preservación en el tiempo de toda evidencia constructiva de una ruta a través de estos debido a la alta posibilidad de destrucción en periodos de flujos de lodo o rocas. Por otro lado, estas áreas pueden facilitar la construcción de terraplenes o terrazas de aproximación "sacrificables" entre los bastiones de puentes sobre cauces activos (F1).

Fuente: elaboración propia.

Identificación y correlación geoespacial de obras civiles en el campo y de evidencias inferidas mediante SIG sobre la construcción de la línea férrea al Atlántico, entre los años 1871-1873, dentro del área de estudio

Para efecto de descartar aquellos vestigios de obras civiles tales como: puentes, taludes, muros de contención, cortes/rellenos de caminos, terraplenes, diques de protección, alcantarillas, entre otros; que podrían formar parte de rutas tránsito previas o posteriores a la construcción de la ruta del ferrocarril (años: 1871-1873), se realizó dentro del área de estudio un análisis, mediante SIG, de dos ortofotos históricas adquiridas en el IGN (1945).

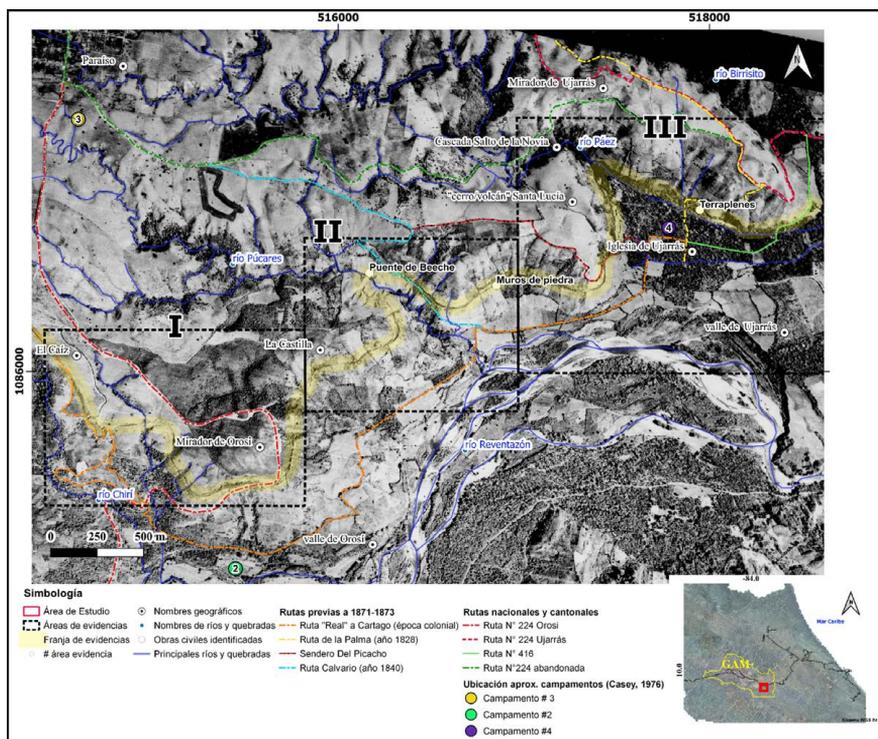
Siendo posible identificar de forma geoespacial las rutas de tránsito preexistentes a los años de construcción de la ruta del ferrocarril en el área de estudio 1871-1873, usando para ello la información recabada por

Benavides (1999), el cual identifica tres rutas de tránsito previas y de suma importancia para el valle de Ujarrás, denominadas como:

1. “La ruta Real de Cartago”, existente desde la época colonial.
2. “La ruta de la Palma”, existente previamente al año 1828.
3. “La ruta del Calvario”, existente en la década de 1840.

También, se identificaron las actuales rutas nacionales y algunas otras relevantes, tales como senderos (“Del Picacho”), bastante usados y conocidos por la población a través del tiempo, todo lo anterior en su conjunto ha servido de vías de comunicación a las poblaciones del valle de Ujarrás y Orosi, con otros centros de población mayores hacia al oeste (Figura 8).

Figura. 8. Ubicación de tres zonas de evidencias sobre la construcción del ferrocarril durante los años 1871-1873 de rutas previas y posteriores dentro del área de estudio



Fuente: Modificada de IGN (1945).

Por otra parte, en el mapa de la Figura 8 también se reconocieron tres principales zonas geográficas con vestigios de obras constructivas y/o evidencias inferidas asociadas, siendo: el área de evidencias I, al norte del valle de Orosi en las cercanías del mirador del ICT, seguida del área de evidencias II, ubicada entre La Castilla y todo el valle del río Púcares; por último, el área de evidencias III abarca el oeste del valle de Ujarrás.

En estas tres zonas geográficas se aprecian, al menos, siete tipos diferentes de evidencias constructivas, entre físicas por obras civiles observables, así como inferidas mediante SIG, como consecuencia de la alteración o adaptación de la ruta a las características del contexto fisiográfico:

Evidencia de tipo: 1. Homogenización o nivelación del relieve topográfico, sobre el perfil de la ruta, mediante movimientos de tierras, con cortes y rellenos visibles principalmente mediante ortofotos e imágenes satelitales. Esto incluye la visualización de radios de giro geoméricamente muy similares a la vía del ferrocarril definitiva (al norte del área de estudio); cabe señalar, una fuerte correlación geoespacial de este tipo de evidencia con materiales de poca resistencia geomecánica, tal como en la Formación Reventado con su Miembro Cama de Ceniza (Tabla 1).

Evidencia de tipo: 2. Suavizado gradual del relieve topográfico en la construcción de la ruta, observado mediante SIG, como una adaptación o "paralelismo" de la ruta con las curvas de nivel topográfico, con la finalidad de propiciar gradientes topográficos relativamente controlados para el descenso y ascenso de los valles (Tabla 1).

Evidencia de tipo: 3. Identificación en el terreno y mediante documentación histórica de vestigios constructivos (obras civiles) tales como puentes (ej. "De Bechee"), pasos de alcantarillas y muros de contención en mampostería de rocas. Un aspecto de sumo interés, en el puente "De Bechee", es su exagerado ancho, lo cual definitivamente está asociado con su ubicación dentro del marcado radio de giro de la ruta en el fondo del valle fluvial juvenil del río Púcares; siendo por tanto uno de los pocos o posiblemente el único puente de este tipo en curva del país.

Evidencia de tipo: 4. Fuertes evidencias de erosión y potenciación de procesos de inestabilidad (deslizamientos), consecuencia de los cortes transversales del relieve topográfico, en diferentes formaciones geológicas, caracterizadas de materiales de baja competencia geomecánica, tales como el Miembro Cama de Ceniza (Qira) de la Formación Reventado. También

en otros casos se presenta un mayor crecimiento de vegetación zonas de corte horizontal para el ancho de la vía o bermas, lo cual fue favorecido por la reducción de la escorrentía propia del relieve original provocando acumulaciones de regolito transportado y de mayores saturaciones del terreno.

Sobre lo anterior [Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo \(2002\)](#) señalan que, en determinados tipos de suelos o macizos rocosos blandos, los procesos ligados con la meteorización juegan un rol importante en la reducción de sus propiedades resistentes, por lo cual se pueden presentar una alteración y degradación intensas al ser expuestos los materiales como consecuencia de una excavación. En resumen, esta pérdida de resistencia puede dar lugar a la caída del material superficial y, si existe afectación de zonas críticas del talud, podría generar roturas generales, sobre todo en condiciones de presencia de agua.

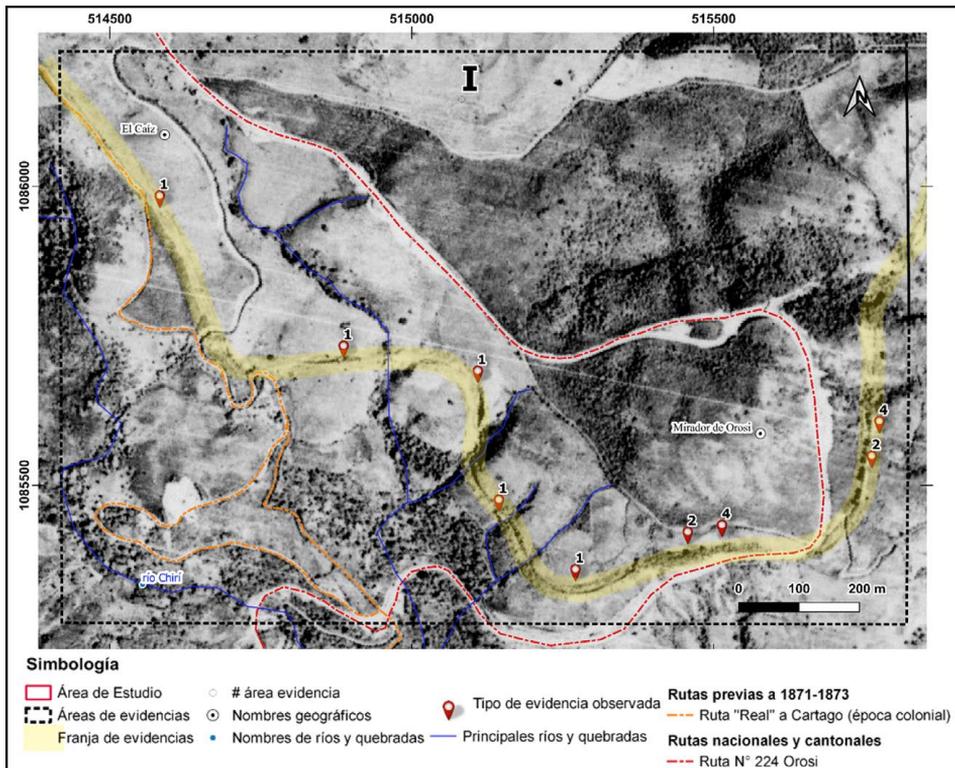
Evidencia de tipo: 5. Visualización de cortes verticales en taludes, así como de formación de bermas o terrazas angostas (< 5 m) en concomitancia a extensos muros de contención construidos con mampostería directamente en formaciones geológicas como en las lavas del Miembro Paraíso (alta competencia geomecánica), como se identifica en la Tabla 1, pero por los fuertes porcentajes de pendiente en sus laderas implica problemas para establecer amplios anchos de vía de una ruta.

Evidencia de tipo: 6. Áreas de transición topográfica asociadas con: Depósitos de abanico aluvial (Q-AL) y Depósitos coluviales (QC), los cuales geomorfológica y geomecanicamente ofrecen alternativas de "rampas o terrazas naturales" hacia o desde topografías más elevadas con respecto al fondo de los valles, tal como en el caso del valle de Ujarrás, además sus materiales geológicos ofrecen materiales de un mayor manejo manual (con múltiples obreros) y no necesariamente mecanizado o mediante el uso de explosivos.

Evidencia de tipo: 7. Evidencias de una adaptación constructiva de la ruta a la geodinámica externa (fluvial) del fondo de los valles (Ujarrás), mediante terraplenes, para un levantamiento y control del perfil topográfico de la ruta respecto al relieve plano, usando como insumos los depósitos de Aluvión (Q-A), esto como una protección y conservación de esta ante eventuales inundaciones y/o fuertes procesos de remoción y depositación en masa (Depósitos de abanico aluvial), desde topografías superiores, tal como el caso del río Páez (Tabla 1).

A continuación, se visualizan geoespacialmente dentro de la ortofoto del IGN (1945), la ubicación de los respectivos vestigios de obras constructivas o civiles que son observadas en el campo y/o mencionadas en la documentación histórica, así como de las evidencias inferidas mediante SIG, como una consecuencia de la alteración o adaptación de las características del contexto fisiográfico. Para lo anterior se usó la clasificación de evidencias anteriormente descrita, iniciando con el área de evidencias I, al suroeste del área de estudio (Figura 9).

Figura 9. Área de evidencias I, con numeración de evidencias antes descrita (1-7) dentro del área de estudio.



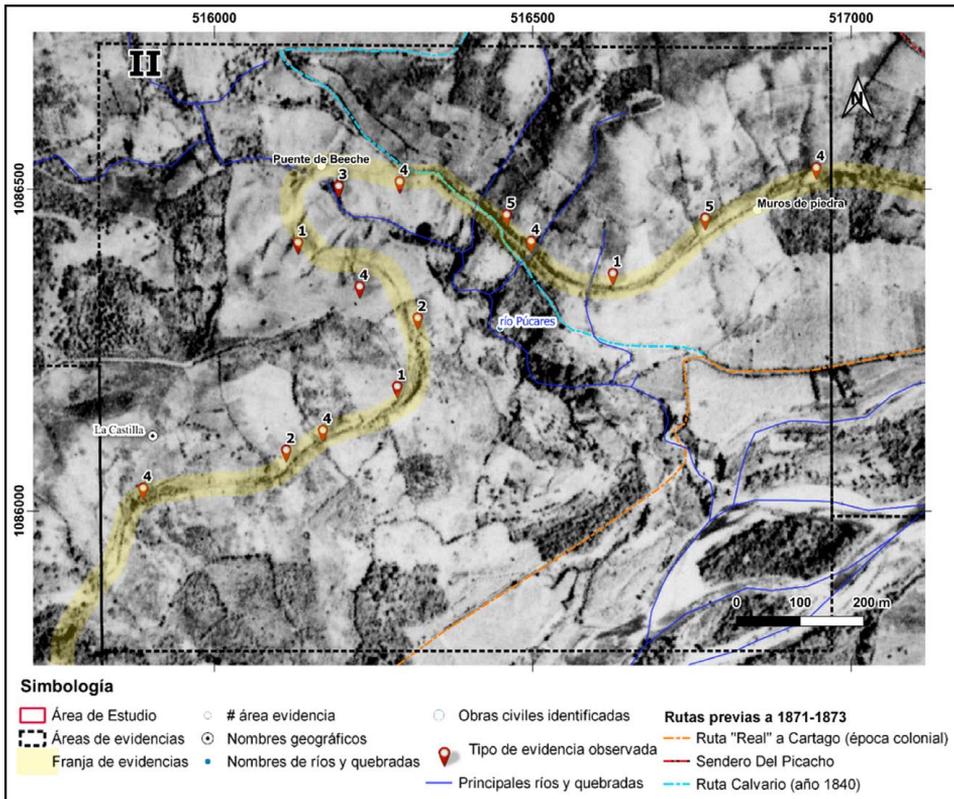
Fuente: IGN (1945) y elaboración propia.

Según Sánchez (2017), el trazo construido entre 1871-1873 salía del valle de Ujarrás hacia el oeste, por el sector de La Castilla, y seguía por el sector del Caíz hasta conectarse con el tramo construido hasta Cartago,

este último sector mencionado concuerda geoespacialmente con la primera área de evidencias (I) (Figuras 8 y 9).

Por otro lado, cabe señalar que en el área de evidencias II, además de la identificación mediante SIG de elementos adaptativos de la obra en el terreno (Figura 10), se presentan vestigios constructivos físicos (obras civiles) tales como: puentes, pasos de alcantarillas y muros de contención en mampostería, siendo elementos complementarios y necesarios para una mayor adaptación de la ruta a el contexto fisiográfico del área de estudio, un ejemplo de ello es el llamado "Puente de Beeche" sobre el río Púcares.

Figura 10. Área de evidencias II, con numeración de evidencias antes descrita (1-7) dentro del área de estudio.



Fuente: IGN (1945) y elaboración propia.

Para [Sánchez \(2017\)](#) el “Puente de Beeche” está construido en su totalidad con sillares de piedra que ocupan todo el muro, siendo una construcción de arco de medio punto, con una bóveda de caño seguida de 30 m por 4.40 m de ancho en la base del arco y de 7.0 m de alto desde el piso a la parte alta de arco, con un espesor de los muros mayor a 3 m siendo el puente de mayor tamaño entre todos los construidos en piedra dentro de la región de Paraíso.

Adicionalmente, cabe mencionar que:

En la tercera división, la mayor parte de las actividades laborales de los obreros especializados pasó en la construcción de puentes. Fue necesario contratar varios canteros encargados de proporcionar a los albañiles y peones que les ayudaban, los bloques de granito necesarios para una buena cimentación de los puentes ([Casey, 1976, p. 313](#)).

Lo anterior se ejemplifica en las figuras 11.a y 11.b, con una vista del “Puente de Beechee” construido sobre el río Púcares, el cual, según S. Barquero, tiene grabado en la misma roca el año de construcción:1872 (comunicación personal, 19 de setiembre, 2021).

Figura 11. Vista en sitio del *Puente de Beechee* construido en el área de estudio, sobre el río Púcares (11.a), para el paso superior de la ruta del ferrocarril (11.b).



Fuente: Ambas fotografías cortesía de Sergio Barquero Ramírez.

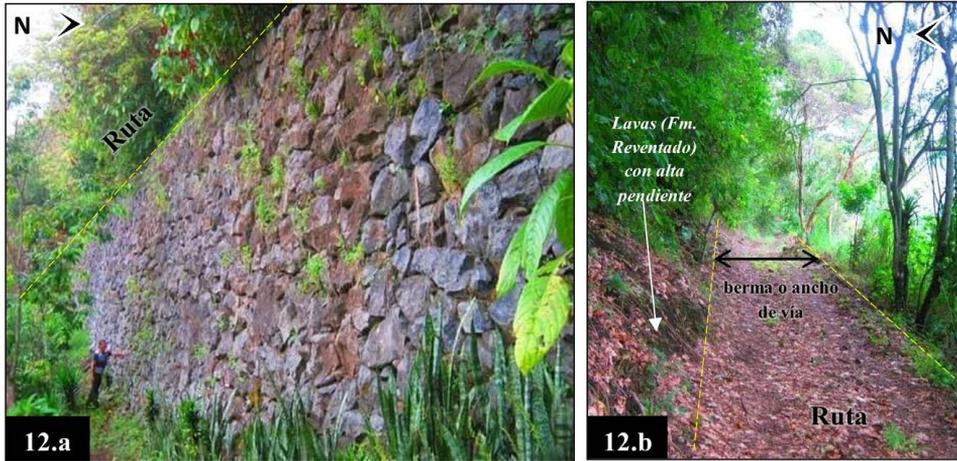
Obras civiles similares como puentes y pasos de alcantarilla fueron construidos hacia el norte del área de estudio, una década después, entre 1881 y 1888, en el trayecto actual del ferrocarril, donde es posible evidenciar un diseño constructivo arquitectónico de “sillares de piedra” como el realizado en el *Puente de Bechee*, “a la una usanza italiana de la época” (Gutiérrez, 2020).

Por otra parte, en el área de evidencias II también se visualizan muros de soporte o sostenimiento lateral, los cuales consisten en su pared externa de mampostería de rocas y rellenos de material en su parte interna (American Planning Association, 2001).

Estos muros fueron construidos con la misma técnica constructiva de “sillares de piedra” anteriormente mencionada, para dar soporte al paso superior de la ruta. Ya que, a pesar de existir materiales de alta competencia geomecánica (lavas) *in situ*, las laderas naturales presentaban un alto gradiente topográfico (Tabla 1), con el agravante de la difícil excavación de estas mediante las técnicas rudimentarias implementadas en ese entonces, para lograr cortes verticales suficientemente estables y lo suficientemente amplios en los anchos de vía de las terrazas o bermas.

La solución constructiva, ante el anterior problema, se observa en el campo por medio de impresionantes y extensos muros de contención o soporte lateral de decenas de metros con alturas mínimas de 4 a 5 metros de altura (Figura 12.a). Estos muros coadyuvaban sobre sí mismos a dar paso a la ruta del ferrocarril en sectores con laderas de rocas volcánicas y casi verticales, permitiendo anchos de vía o bermas de 3 a 4 metros de extensión en promedio (Figura 12.b).

Figura 12. Vista de paredes o muros de contención en piedra (12.a) para formación de bermas o anchos de vía de la ruta del ferrocarril sobre sí mismos (12.b).

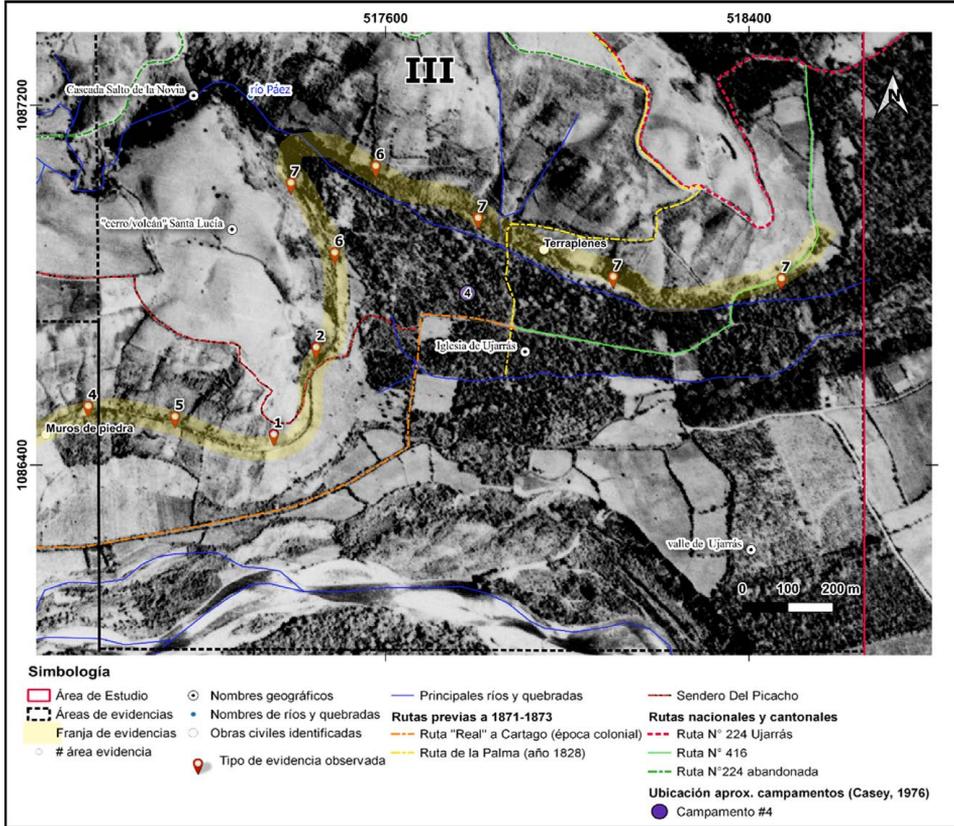


Fuente: Ambas fotografías cortesía de Sergio Barquero Ramirez.

Además, a pesar de las buenas condiciones geomecánicas identificadas (Tabla 1), pero de difícil manejo con las herramientas del momento, existen otros elementos fisiográficos como el tectonismo vinculado con la traza de la falla Navarro (Figura 5), el cual implicó mayores niveles de fracturamiento. Sumado a las características geomorfológicas, pendiente del relieve (Figura 6) y condiciones hídricas, que en total dificultaron el labrado o la construcción de terrazas con anchos de vía o bermas horizontales mínimas directamente en las rocas volcánicas, para el futuro paso del ferrocarril, las laderas de rocas volcánicas del sur del supuesto cerro/volcán Santa Lucía (Figuras 1 y 10).

Adicionalmente, sobre lo anterior, Núñez (1924) señala que al iniciar las obras del ferrocarril se pensó seguir la ruta del sur, habilitando las llanuras de Ujarrás, pero luego de gastarse una regular suma en los rellenos, construcción de alcantarillas y de los puentes se desistió de la idea original, donde todavía puede observarse el trazado de la época las ruinas de paredes de ladrillo, todo dentro del área de evidencias III (Figuras 8 y 13).

Figura 13. Área de evidencias III, con numeración de evidencias antes descrita (1-7) dentro del área de estudio.



Fuente: IGN (1945) y elaboración propia.

Por otra parte, tal como señalan Bolaños *et al.* (1993), el tramo original de la ruta desde la zona de Paraíso continuaba hacia el este, pasando por las faldas de los cerros de Santa Lucía, con dirección a la catarata de los Novios o también llamada "Cascada Salto de la Novia", formada por la caída del río Paéz al fondo del valle de Ujarrás (Figura 8), y de allí se enrubaba hasta Fajardo, donde todavía se logra ver la trocha conocida como el camino de "La Línea" así como grandes calzadas, todos estos aspectos se aprecian en el área de evidencias III (Figura 14).

Figura 14. Visualización, en el campo, de cortes y formación de bermas o terrazas de descenso/ascenso en laderas del este de cerro/volcán Santa Lucía



Fuente: Tomada de Villalobos (2020).

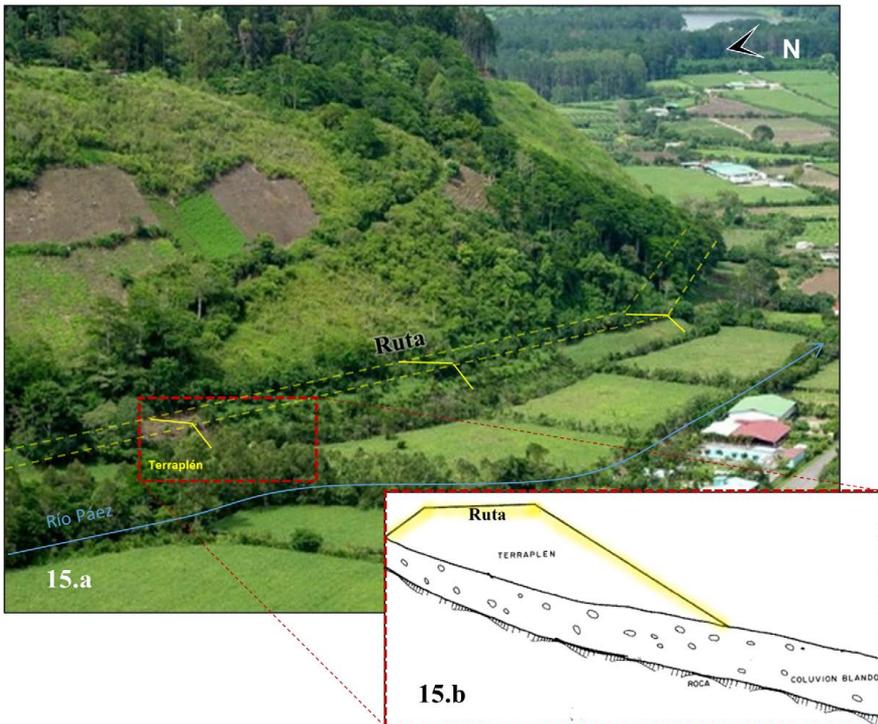
En síntesis, para el área de evidencias III se aprovecharon, al máximo, las características geomorfológicas (perfiles 1 y 2 en Figura 7), para lograr una relativa transición en la construcción de la ruta del ferrocarril desde el relieve topográfico abrupto y superior al valle de Ujarrás, siendo caracterizado por escarpes denudacionales (D9), específicamente en las laderas del supuesto cerro/volcán Santa Lucía, hasta su contacto con fondo del valle de Ujarrás (Figura 6).

Adicionalmente, en el campo, se aprecia un evidente aprovechamiento de insumos de materiales de construcción asociados con los Depósitos Coluviales (QC) de pie de monte (Tabla 1), ubicados al norte del valle y de la población de Ujarrás.

Lo anterior, mediante rellenos, con el fin de elevar la ruta sobre el relieve plano de la geoforma de llanura paleolacustre (F13) y, por ende, de los materiales geológicos de la Fm. Ujarrás los cuales son susceptibles a los procesos erosivos/sedimentarios de origen fluvial (Tabla 1), con especial énfasis sobre el río Páez, vinculado con los Depósitos de Abanico Aluvial (Q-AL) en el mapa de la Figura 5.

Además, se comprobaron hacia el norte del valle de Ujarrás, tanto mediante SIG como por observación de campo, los evidentes cortes en la ladera original y la formación de bermas o terrazas horizontales, vinculadas con la construcción de extensos terraplenes (Figura 15.a), todo como parte de una adaptación al terreno y protección de la futura línea de ferrocarril (Figura 15.b) ante la geodinámica fluvial del fondo del valle.

Figura. 15. Terraplén transversal al pie de las laderas contiguas al valle de Ujarrás (Figura 15.a), con un diagrama comparativo de su función (Figura 15.b).



Fuente: Modificada de VSat Center Co (2020) Figura 15.a y de Escario (1981) en figura 15.b.

Discusión de resultados

Como parte de los resultados de esta investigación, se comprueba que la construcción de la citada obra, durante los años 1871-1873, tuvo en apariencia una deficiente a inexistente etapa de diseño o planeamiento que fue compensada con pragmatismo o improvisación constructiva; lo cual se reafirma en la carencia de información documental de orden cartográfico sobre la localización geoespacial de los 10.6 km aprox. de extensión, para la ruta de ferrocarril alternativa y construida dentro del área de estudio.

Por otra parte, se logra validar claramente la metodología implementada en esta investigación, basada en la compilación de información, seguida de un riguroso análisis de las características del contexto geológico y geomorfológico, facilitando prever las posibles adaptaciones o alteraciones de la obra constructiva respecto a los materiales de las formaciones geológicas identificadas. También, de las respectivas geoformas asociadas del relieve, en combinación con los procesos de geodinámica externa e interna del área de interés (Tabla 1).

Cabe mencionar que, si bien se presentaron limitantes metodológicas en la resolución espacial de los insumos geoespaciales, el grado de error de la georreferenciación de ortofotos (cuando fue requerido) y la carencia de información cartográfica histórica referida al diseño y/o construcción de la ruta no representaron mayor inconveniente, puesto que se puede concluir que no hubo dificultad en evidenciar mediante análisis con SIG los vestigios de actividad antrópica vinculada directamente con la construcción del ferrocarril dentro del área de estudio, durante los años 1871-1873.

Además, se pudo realizar un análisis de varios perfiles con porcentajes de pendiente (Figura 6), desde el sector NO del área de estudio en dirección de la ciudad de Cartago hacia el valle de Ujarrás (río Reventazón) hacia el E y SE, lo cual permitió identificar entre los perfiles N° 3 y 5 en la figura 7 un sector geográfico de interés ubicado entre el actual Mirador de Orosi y el valle fluvial juvenil del río Púcares, siendo este sector el originalmente elegido para orientar (inicialmente) el descenso de la ruta desde Cartago hacia el valle de Ujarrás.

También, en la visión pragmática de los constructores el área geográfica antes mencionada era la que podía cumplir con un descenso topográfico menos abrupto en la construcción de la línea del ferrocarril, ya que Keith quería: "por razones que solo él tendría, que partiendo de Cartago

hacia el este la vía bajase lo más rápidamente posible hasta el nivel superior de la margen derecha del río Reventazón, y continuase por ella hacia la costa" (Gutiérrez, 1981, p. 88). Esta misma idea fue reiterada posteriormente por Minor Keith, hermano de Henry, al decir textualmente que "por donde sube un río sube un ferrocarril" (Peraldo & Rojas, 1998, p. 102).

Bajo la premisa anterior, la investigación se enfocó mediante análisis con SIG, en el sector geográfico específico antes citado, siendo representado en la figura 8 por las áreas de evidencias I y II, donde se identificaron claros vestigios de alteraciones y adaptaciones antrópicas de la superficie, las cuales potenciaron, a través del tiempo, los procesos de erosión/sedimentación y la consecuente adaptación vegetal que hoy día se sigue observando mediante el análisis histórico de ortofotos e imágenes aéreas.

Adicionalmente, se logró la visualización de obras civiles observadas en el terreno y/o mencionadas por diferentes autores como: puentes alcantarillas, muros de contención, terraplenes, así como aquellas no existentes actualmente; pero que, sin embargo, guardan sentido logístico/operativo, como lo fue la ubicación aproximada de campamentos.

Todo lo anterior en su conjunto permitió establecer una primera interconexión, geoespacial y coherente, de los elementos constructivos existentes, así como de las evidencias de alteraciones/adaptaciones constructivas y operativas en el terreno.

Sumado a lo anterior, se comprobaron semejanzas arquitectónicas/constructivas en los diferentes vestigios, tanto físicos como inferidos, de la ruta del ferrocarril construida durante los años 1871-1873, y la ruta actual realizada una década después hacia el norte del área de estudio.

Las similitudes en el diseño constructivo de ambas vías abarcaron porcentajes de relieve topográfico, así como de radios de giro mínimos en el rango de 45 a 65 metros para la ruta del ferrocarril reconstruida respecto a radios de giro mínimos de 25 a 80 metros en la ruta de ferrocarril actual y definitiva al norte del área de interés, específicamente entre las poblaciones de Paraíso y Turrialba.

Lo anterior también se aplicó en la identificación y comparación de obras civiles en mampostería y adaptaciones topográficas de la ruta mediante movimiento de tierras y protección ante las condiciones de geodinámica externa preponderantes. En definitiva, todo esto facilitó la identificación

e integración geoespacial de todos los elementos en una propuesta final sobre la ruta del ferrocarril construida.

Por otra parte, un importante resultado de esta investigación fue el de resaltar el trasfondo histórico y arquitectónico de las impresionantes obras ingenieriles en el área de estudio, para visibilizar el potencial turístico y la necesidad de rescate del patrimonio histórico/cultural del cantón de Paraíso y de Costa Rica en general. Respecto a lo anterior, y como un aporte en ese sentido, se incluye la ruta propuesta para el ferrocarril durante los años: 1871-1873, en un formato geoespacial para visualización en la plataforma Google Earth® (Kml): <https://www.dropbox.com/s/47i51pyahsw32jo/Reconstrucion%20final%20del%20trazado%20%281871-1873%29.kml?dl=0>

Finalmente, se espera que la presente reconstrucción histórica y geoespacial del ferrocarril dentro del área de estudio, construida originalmente durante los años 1871-1873, sea un punto de partida para un emprendimiento turístico que pueda ser impulsado por la municipalidad de Paraíso y/o el sector privado del cantón, aprovechando el legado histórico y la gran belleza escénica de los valles coloniales de Ujarrás y Orosi.

Como antecedente, Sáenz (1911) menciona que existió una iniciativa que fue presentada en su momento en el congreso, la cual pretendía aprovechar las inversiones de las obras civiles realizadas como parte de la construcción y abandono de la línea del ferrocarril en 1871-1873, para abaratar costos en una futura construcción de un tranvía que partiera del valle Orosí, dentro del área de estudio.

Por último, cabe mencionar que, según Granados y Morales (2019), entre las principales limitantes para el desarrollo turístico identificadas en el cantón de Paraíso destaca el poco aprovechamiento del potencial histórico existente, aspecto que esta investigación espera mejorar.

Agradecimientos

A la Editorial Tecnológica del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), al Centro de Documentación del Tribunal Supremo de Elecciones (TSE), a Silvia Quirós de la Biblioteca Municipal de Paraíso por su amable cooperación de suministrar textos históricos importantes para esta investigación; así como al historiador y sacerdote Manuel Benavides, además se hace extensivo el agradecimiento a Sergio Barquero e Isaac Solano por las fotografías e información asociada.

Por último, un profundo y eterno agradecimiento a los gobiernos de turno que impulsaron esta importante obra, pero sobre todo a todas las valientes personas que dieron sus ilusiones, trabajo y vida para realizar esta hazaña humana y técnica; esta investigación les está dedicada con total humildad y esmero.

Referencias

- Alvarado, G. & Gans, P. (2012). Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. *Revista Geológica de América Central*, (46), 7-122. doi: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i46.1836>
- Alvarado, G. & Pérez, W. (1999). The Doán formation (Pliocene) of Costa Rica: An overview on its description, origin, lateral equivalents, and further implications on the closing of the Central America seaway. *Sixth International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy and IGCP*, 355: 150-167.
- American Planning Association. (2001). Fundamentos de Planificación de Sitios. Recuperado de: <https://www.planning.org/publications/document/9149225/>
- Benavides, M. (1999). *De Ujarrás a Paraíso: análisis del traslado de una población 1821-1850*, (Tesis de licenciatura). Escuela de Historia, Universidad de Costa Rica.
- Bergoening, J. & Malavassi, V. (1981a). Carta geomorfológica del valle central de Costa Rica. Hoja Tapantí, a escala 1:50 000 Map 3445 – III. Costa Rica: Ed. Inst. Geof. Nac.
- Bergoening, J. & Malavassi, V. (1981b). Carta geomorfológica del Valle Central de Costa Rica. Hoja Istarú, a escala 1:50000. Costa Rica: Ed. Inst. Geof. Nac.
- Bolaños, R., Quirós, M., Alvarado, S., Quirós, E., Orozco, C., Solano, J. & Rojas, C. (1993). *Ayer Ujarrás, hoy Paraíso*. Texas: Ed. Servitex Flores, Universidad de Texas.
- Campos, A., Castro, J., & Santos, P. (1998). Geotecnia ferroviaria-una experiencia reciente. *Ferroviaria '98: Congreso Nacional de Ingeniería Ferroviaria*, 115-128. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2183/10624>

- Carballo, M. & Fischer, R. (1978). La formación San Miguel (Mioceno, Costa Rica). Instituto Geográfico Nacional, informe semestral, septiembre, 45-144.
- Casey, J. (1976). El ferrocarril al Atlántico en Costa Rica, 1871-1874. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, (2), 291-344.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G. (2009). *Atlas Tectónico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Escalante, G. (1966). *Geología de la cuenca superior del río Reventazón, Costa Rica*. Trabajos presentados en la primera reunión de geólogos de América Central. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) 1, 59-70.
- Escario, V. (1981). *Terraplenes y pedraplenes: estado actual de la técnica*. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. España: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Granados, C. & Morales, G. (2019). *Análisis del Potencial Turístico del cantón de Paraíso en el 2019*, (Informe de la Práctica Profesional). Escuela de Ciencias Sociales, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Editorial Pearson.
- Gutiérrez, H. (1981). *La ingeniería en Costa Rica: 1502-1903 ensayo histórico*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Gutiérrez, F. (16 de febrero 2020). Un 'error de ingeniería': el puente-túnel de Ujarrás por donde nunca pasó el tren. *La Nación*. Recuperado de: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/un-error-de-ingenieria-el-puente-tunel-de/X2ZHXCXBHAND65KO7Z5SDGHD2DA/story/>
- Hall, C. (1976). Los archivos de Keith: algunos aspectos de la geografía histórica de Costa Rica. 1871-1873. *Revista de Costa Rica*, (11), 101-127.
- Instituto Geográfico Nacional. (IGN, 1945). Proyecto: 732 4-M, Número de Rollo: 95 Número de línea: 1V-A, Número de sobre: 6, Números de fotos: 40 y 41, Año: 1945 Escala 1: 7 000.
- JAXA/METI. (2011). ALOS PALSAR Hi-Res Terrain Corrected 2011 (AP 26652 FBS F0190 RT1). Recuperado de: <https://www.asf.alaska.edu>. <https://doi.org/doi:10.5067/Z97HFCNKR6VA>

- Krushensky, R. (1972). *Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica*. U.S. Govt. Print. Off., Geological Survey Bulletin 1358.
- Kurtze, F. (1866). *Informe La ruta ferroviaria interoceánica a través de la República de Costa Rica, 1866*. Versión castellana de Ricardo Jiménez. Universidad de Texas. Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Macune, C. (1982). *The Building of the Atlantic Railroad of Costa Rica, 1821-1891*, (Tesis de maestría). Faculty of the school of Government of George Washington University.
- Murillo, C. (1995). *Identidades de hierro y humo la construcción del ferrocarril al Atlántico 1871-1890*. San José, Costa Rica: Editorial Porvenir.
- Núñez, F. (1924). *Iniciación y desarrollo de las vías de comunicación y empresas de transportes en Costa Rica. Estudio sobre el desarrollo de carreteras y empresas de transporte como tributo al centenario del nacimiento del presidente de la República Jesús Jiménez*. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Orme, A. R. (2013). Geomorphology for future societies. In: J., Shroder (Editor in Chief), A. R., Orme & D., Sack (Eds.), *Treatise on Geomorphology* (pp. 377-410). San Diego, CA: Academic Press..
- Ortiz, E. & Montoya, C. (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2014 [CD-ROM]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Peraldo, G. & Rojas, E. (1998). La deslizable historia del ferrocarril al Caribe de Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 24(1-2), 97-128.
- Quesada, R. (1983). Ferrocarriles y crecimiento económico: el caso de la Costa Rica Railway Company, 1871-1905. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 9(1), 87-119.
- Rodríguez, A. & Borge, V. (1979). *El ferrocarril al Atlántico en Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Escuela de Antropología, Universidad de Costa Rica.
- Sáenz, M. (1911). *Los Ferrocarriles en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Imprenta del Comercio.
- Sanabria, I. (2014). *Propuesta de modelo conceptual geotérmico de baja entalpía para el Valle de Orosí, Paraiso, Cartago, Costa Rica* (Tesis de licenciatura). Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica.

- Sanabria-Coto, I. J. & Bonilla-Hidalgo, M. A. (2021). Interpretación geológica de las leyendas del cerro o volcán Santa Lucía al oeste del valle de Ujarrás, Paraíso, Cartago, Costa Rica y su relación con los elementos particulares de su contexto fisiográfico. *Revista Geográfica de América Central*, 2(67), 30-60. <https://doi.org/doi: 10.15359/rgac.67-2.2>
- Sánchez, J. (2017). El Puente Beeche. *El Paraiseno*. Recuperado de: <https://es.calameo.com/books/0038499877d7dad96b945>
- Sistema Nacional de Bibliotecas. (SINABI, 2020). Fotografías tomadas por el alemán Otto Siemon entre 1873 y 1874. Recuperado de: <https://www.sinabi.go.cr/biblioteca%20digital/fotos/Fotografias%20de%20Otto%20Siemon.aspx#.X4vLi9BKjIV>
- Sistema Nacional de Información Territorial. (SNIT, 2021). Infraestructura Nacional de Datos Espaciales de Costa Rica. Recuperado de: <https://www.snitcr.go.cr/#>
- Sojo, D., Denyer, P., Gazel, E. & Alvarado, G. (2017). Geología del cuadrante Tapantí (1:50 000), Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (56), 83-116. <https://doi.org/doi: 10.15517/rgac.v0i56.29238>
- Sojo, D. (2018). Geología de la hoja Paraíso (1:10 000), Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (59), 101-124. <https://doi.org/doi: 10.15517/rgac.v59i0.34161>
- Van Zuidam, R. (1986). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping; with contributions from F.I. van Zuidam-Cancelado and other members of the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Villalobos, O. (2020). Fotografía de Camino a Ujarrás. Recuperado de: <https://mapio.net/pic/p-9353393/>
- VSat Center Co. (2020). Fotografía de Valle de Ujarrás. Recuperado de: <https://mapio.net/pic/p-15791956/>

