

UNIVERSIDAD DEL PACÍFICO



**MAESTRIA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
TELEDETECCIÓN**

TESIS DE MAESTRÍA

Portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay

Autor:

Ana Sofía Arguello Fernández

Tutores:

Jorge Acuña, Arq. MSc.

Alberto Giménez, Ing.

Asunción, Paraguay

2025

Ana Sofía Arguello Fernández

Portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay

Tutores: Jorge Acuña, Arq. MSc.

Alberto Giménez, Ing.

Trabajo presentado para optar al título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

Número de páginas: 60

Línea de Investigación: Aplicaciones Web Gis

Universidad del Pacífico, Asunción, Paraguay, 2025

Portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay

Esta tesis de maestría fue evaluada y aprobada en fecha ___/___/___ para la obtención del título de **Magíster en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección** por la Universidad Pacífico del Paraguay.

Miembros de la Mesa Examinadora:

Nombre

Firma

.....

.....

.....

Calificación final:

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Ana Sofía Arguello Fernández, en calidad de autor de la tesis titulada:

"Portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay",
certifico que:

1. Este trabajo es original, y ha sido realizado de manera independiente bajo mi propia autoría.
2. Todas las fuentes de información, investigaciones previas y datos utilizados han sido debidamente citadas, respetando los derechos de autor correspondientes.
3. Toda la información contenida en esta tesis ha sido obtenida y procesada de manera ética y legal.

Firma del autor:

Fecha:

AGRADECIMIENTO

Me permito expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que de una u otra forma hicieron posible la culminación de este trabajo.

A la Ing. Lucia, por su apoyo y compromiso como coordinadora, el cual fue clave durante este proceso para mantener el rumbo y superar los desafíos que se fueron presentando.

Al profesor Jorge y Alberto, por su valiosa tutoría, por compartir sus conocimientos con generosidad y por guiarme con paciencia en cada etapa de este trabajo.

A la profesora Andrea Amarilla, por su tiempo y dedicación en la revisión del trabajo, aportando siempre con claridad y buena disposición.

A mi colega Geol. Federico Arguello, por su colaboración en la obtención de información fundamental para este trabajo. A la Geol. Mónica Urbieta, por facilitar datos relevantes que enriquecieron el contenido del trabajo.

A mi familia, a mi novio y amigos, gracias por no dejar de creer en mí, por su apoyo incondicional, por su cariño en los momentos de duda y por estar siempre presentes.

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay, con el objetivo de centralizar, estandarizar y difundir de forma interactiva los datos geospaciales del sector. El proyecto surge ante la dispersión y heterogeneidad de la información existente, limitando el acceso de investigadores, instituciones y público en general. Se plantea un enfoque metodológico aplicado, combinando métodos cualitativos y cuantitativos, estructurado en cuatro etapas: recopilación, sistematización y procesamiento de datos geológicos, el desarrollo de aplicaciones web para la visualización e interacción; la creación de un portal interactivo mediante ArcGIS Hub, y la difusión de información en formatos abiertos.

La recopilación incluyó fuentes oficiales, académicas y técnicas, generando una base de datos geoespacial en formatos interoperables (CVS, SHP, Geodatabase, KMZ), con simbología estandarizada y atributos corregidos. El desarrollo de mapas web, tableros dinámicos (Dashboards) y narrativas interactivas (Story Maps) permitió presentar la información de manera inmersiva y comprensible para distintos perfiles de usuarios. El portal, organizado por temáticas, ofrece buscadores, filtros, enlaces externos, material multimedia y opciones de descarga, en concordancia con los principios FAIR (Findable, Accesible, Interoperable, Reutilizables) y las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE).

Los resultados demuestran que el geoportal facilita el acceso abierto y la reutilización de la información, promueve la investigación y fortalece la visibilidad del potencial geológico nacional. Se concluye que esta iniciativa constituye un avance hacia la consolidación de una IDE temática en geología y minería en Paraguay, recomendándose su sostenibilidad tecnológica, adopción de estándares internacionales y capacitación continua en SIG para garantizar su actualización y expansión.

Palabras clave: datos abiertos, geología, SIG, IDE, ArcGIS Online.

ABSTRACT

This study presents the development of an open data portal for geological information in Paraguay, aiming to centralize, standardize, and interactively disseminate the sector's geospatial data. The project addresses the dispersion and heterogeneity of existing information, which currently limits access for researchers, institutions, and the public. An applied methodological approach was adopted, combining qualitative and quantitative methods, and structured into four stages: collection, systematization and interaction, creation of an interactive portal through ArcGIS Hub, and dissemination of information in open formats.

Data collection included official, academic, and technical sources, generating a geospatial database in interoperable formats (CVS, SHP, Geodatabase, KMZ) with standardized symbology and corrected attributes. The development of web maps, dynamic dashboards, and interactive narratives (Story Maps) enabled the presentation of information in an attractive and comprehensive manner for different user profiles. The portal, organized by thematic areas, offers search tools, filters, external links, multimedia content, and download options, in line with the FAIR principles and Spatial Data Infrastructure (SDI) standards.

The results show that the geoportal facilitates open access and reuse of information, promotes research and strengthens the visibility of Paraguay's geological potential. It is concluded that this initiative represents progress towards the consolidation of a thematic SDI for geology and mining in Paraguay, with recommendations for technological sustainability, adoption of international standards, and continuous training in GIS to ensure its maintenance and expansion.

Keywords: open data, geology, GIS, SDI, ArcGIS Online.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2 Justificación..... | 2 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general | 3 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.4 Pregunta de investigación | 3 |
| 1.5 Hipótesis | 4 |
| 1.6 Alcance..... | 5 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 6 |
| 2.1 Información pública y datos abiertos en Paraguay: desarrollo y panorama actual ... | 6 |
| 2.2 Plataformas para el acceso a la información geológica y minera en Paraguay | 7 |
| 2.3 Casos de estudio: geoportales y plataformas temáticas en otros países. | 7 |
| 2.4 Representación de los datos en la Web: tecnologías y herramientas | 9 |
| 2.4.1 Computación en la nube (Cloud Computing)..... | 9 |
| 2.4.2 ArcGIS Online..... | 10 |
| 2.5 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográficos..... | 13 |
| 2.6 Aplicación de los SIG en la Geología | 13 |
| 2.7 El contexto geológico de Paraguay | 15 |
| 2.7.1 Geología en Paraguay..... | 15 |
| 2.7.2 Situación actual de la Minería en Paraguay..... | 17 |
| 3. METODOLOGIA | 20 |
| 3.1 Descripción del Área de Estudio..... | 20 |
| 3.2 Presentación de la metodología | 21 |
| 3.3 Detalle de las diferentes etapas metodológicas | 22 |
| 3.3.1 Etapa 1. Recopilación, sistematización y procesamiento de información geológica del Paraguay..... | 22 |
| 3.3.2 Etapa 2. Desarrollo de aplicaciones web para la visualización e interacción de datos | 22 |
| 3.3.3 Etapa 3. Creación del portal interactivo..... | 23 |
| 3.3.4 Etapa 4. Difusión de información, trabajos científicos y técnicos | 23 |
| 3.4 Flujograma | 24 |
| 3.5 Justificación de la metodología..... | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 4. RESULTADOS Y DISCUSION | 26 |
| 4.1 Resultados | 26 |
| 4.1.1 Recopilación, sistematización y procesamiento de información geológica del Paraguay..... | 26 |
| 4.1.2. Desarrollo de aplicaciones web para la visualización e interacción de datos ... | 36 |
| 4.1.3. Creación del portal interactivo | 46 |
| 4.1.4. Difusión de información, archivos procesados en diferentes formatos..... | 51 |
| 4.2 Análisis de Resultados | 53 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 55 |
| 6. REFERENCIAS..... | 57 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1: Mapa de ubicación | 21 |
| Figura 3.2: Flujograma de procesos metodológicos | 24 |
| Figura 4.1: Capa de mapa geológico sin corrección. Fuente: Anschutz Co. 1983 | 33 |
| Figura 4.2: Resultado de mapa geológico corregido. Fuente: Anschutz Co. 1983..... | 33 |
| Figura 4.3: Georreferenciación del catastro de hidrocarburos. Fuente: vmme.gov.py..... | 34 |
| Figura 4.4: Resultado de digitalización del catastro de hidrocarburos. Fuente: vmme.gov.py..... | 34 |
| Figura 4.5: Georreferenciación del mapa geológico. Fuente: Mapa Geológico Proyecto Par 1986..... | 34 |
| Figura 4.6: Resultado de digitalización del mapa geológico. Fuente: Mapa Geológico Proyecto Par 1986..... | 34 |
| Figura 4.7: Georreferenciación de cartas geológicas. Fuente: vmme.gov.py..... | 35 |
| Figura 4.8: Resultado de ajustes realizados, al archivo de cartas geológicas. Fuente: vmme.gov.py..... | 35 |
| Figura 4.9: Georreferenciación del mapa de provincias alcalinas. Fuente: geologiadelparaguay.com.py..... | 35 |
| Figura 4.10: Resultado de la digitalización del mapa y búsqueda de provincias alcalinas. Fuente: geologiadelparaguay.com.py..... | 35 |
| Figura 4.11: Resultado del mapa web de Geología del Paraguay..... | 37 |
| Figura 4.12: Resultado del mapa web de Mapas geológicos..... | 37 |
| Figura 4.13: Resultado del mapa web de Hidrogeología..... | 38 |
| Figura 4.14: Resultado del mapa web de Minería..... | 38 |
| Figura 4.15: Resultado del mapa web de Hidrocarburos..... | 39 |
| Figura 4.16: Resultado del mapa web de Suelos del Paraguay..... | 39 |
| Figura 4.17: Resultado del mapa web de Rocas Alcalinas..... | 40 |
| Figura 4.18: Resultado del mapa web de Cerros del Paraguay..... | 40 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.19: Resultado del mapa web de Explotación de rocas..... | 41 |
| Figura 4.20: Resultado del mapa web de Sismos registrados | 41 |
| Figura 4.21: Resultado del tablero de Hidrogeología..... | 42 |
| Figura 4.22: Resultado del tablero de Minería..... | 43 |
| Figura 4.23: Resultado del tablero de Hidrocarburos..... | 43 |
| Figura 4.24: Resultado del tablero de Explotación de rocas | 44 |
| Figura 4.25: Resultado del tablero de Sismos registrados..... | 44 |
| Figura 4.26: Resultado del story maps sobre el uso del agua subterránea en el Departamento Central..... | 45 |
| Figura 4.27: Resultado del story maps sobre la Minería en el Paraguay..... | 46 |
| Figura 4.28: Resultado del geoportal con datos disponibles..... | 47 |
| Figura 4.29: Resultado del geoportal con aplicaciones disponibles..... | 48 |
| Figura 4.30: Resultado del geoportal con otras aplicaciones disponibles..... | 49 |
| Figura 4.31: Resultado del geoportal con noticias disponibles..... | 50 |
| Figura 4.32: Resultado del geoportal con redes y páginas disponibles..... | 50 |
| Figura 4.33: Resultado del geoportal con mapas interactivos disponibles..... | 51 |
| Figura 4.34: Resultado del geoportal con datos disponibles para su descarga..... | 52 |
| Figura 4.35: Resultado del geoportal con datos disponibles para su descarga..... | 52 |
| Figura 4.36: Resultado del geoportal geológico del Paraguay..... | 52 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1. Datos recabados y procesados | 27 |
| Tabla 4.2. Detalles de los resultados de las capas generadas | 31 |
| Tabla 4.3. ID de los mapas web generados | 36 |
| Tabla 4.4. ID de los tableros generados | 42 |
| Tabla 4.5. ID de los story maps generadas..... | 45 |

SIGLAS Y ABREVIATURAS

| Abreviatura | Significado |
|--------------------|--|
| CENIHP | Centro nacional de información de hidrocarburos del Paraguay |
| CSV | Valores separados por comas |
| DRM | Dirección de Recursos Minerales |
| FaCEN | Facultad de Ciencias Exactas y Naturales |
| FAIR | Localizable, Accesible, Interoperable, Reusable |
| GDB | Geodatabase |
| HTML | Lenguaje de Marcado de Hipertexto |
| IDE | Infraestructuras de Datos Espaciales |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| KML | Keyhole Markup Language |
| MAG | Ministerio de Agricultura y Ganadería |
| MOPC | Ministerio de Obras públicas y comunicaciones |
| OEA | Organización de Estados Americanos |
| PHP | Procesador de Hipertexto |
| PNUD | Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo |
| SARO | Proyecto Sistema Ambiental de la región Occidental |
| SEGEMAR | Servicio Geológico Minero Argentino |
| SENASA | Servicio nacional de Saneamiento ambiental |
| SHP | Shapefile |
| SIG | Sistema de Información Geográfica |
| SIGAM | Sistema de Información Geoambiental Minera |

| Abreviatura | Significado |
|--------------------|-----------------------------------|
| UEC | Uranium Energy Corporation |
| URL | Localizador Uniforme de Recursos |
| VMME | Viceministerio de Minas y Energía |

1. INTRODUCCION

1.1. Planteamiento del problema

En Paraguay las principales instituciones referentes a la geología son, la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FaCEN), única institución en el país con la carrera en geología, y el Viceministerio de Minas y Energías (VMME), cuya función principal se basa en ubicar, estudiar, evaluar y proponer el uso de los recursos minerales dentro del territorio de la República del Paraguay.

El VMME dependiente del Ministerio de Obras Públicas (MOPC), cuenta con la Dirección de Recursos Minerales, la Dirección de Hidrocarburos y el Departamento de Geología. La institución dispone de una página web estructurada por direcciones, a través de la cual se ponen a disposición diversas informaciones relacionadas con cada sector, tales como el catastro minero y de hidrocarburos, mapas geológicos, materiales bibliográficos, resoluciones entre otros. Hace algunos años se llevó a cabo el proceso de digitalización de los trabajos realizados por las empresas de exploración de Hidrocarburos, los cuales fueron publicados en el portal del CENIHP (Centro nacional de información de hidrocarburos del Paraguay), administrado por la Dirección de Hidrocarburos. Para acceder a estos contenidos, es necesario realizar la solicitud correspondiente ante dicha dirección del VMME. (<https://www.ssme.gov.py>)

La página web Geología del Paraguay (Gadea, s.f.), contiene información acerca de la geología, rocas, recursos minerales, petrolíferos, hidrogeológicos, suelos, fósiles y mapas del Paraguay. Comprende el principal sitio web para la obtención de información referente a lo antes citado, dicha página se trata de un esfuerzo individual de un docente de la FaCEN, el cual pone a disposición del público los materiales compilados por el mismo.

Según lo consultado en la web, varios países cuentan con portales o sitios web que brindan informaciones referentes a la geología y minería del país. Diferentes proyectos y trabajos de tesis son llevados a cabo para la creación de estos, tanto a nivel local como regional.

Con el desarrollo del portal de datos abiertos, se propone centralizar la información y datos geológicos, poniéndolos a disposición de los interesados de manera inmersiva y comprensible mediante el uso de las herramientas que ofrece ESRI. Además, se plantea el trabajo en conjunto entre instituciones públicas y privadas para impulsar la implementación del portal web, un proceso que requerirá un importante esfuerzo de digitalización y actualización permanente de los datos e informaciones.

1.2 Justificación

El desarrollo del portal de información geológica del Paraguay representa una iniciativa orientada a la compilación y publicación de datos del sector, considerando la importancia de ofrecer contenidos de forma interactiva y accesible a los interesados.

Son diversas las áreas de aplicación del sector geológico en el país, como la hidrogeología, minería, hidrocarburos, paleontología, geotecnia, geofísica, entre otras. Todas estas ramas podrían adquirir visibilidad a través de la difusión y actualización permanente de la información geológica del país, puesta a disposición de los interesados, mediante el portal de datos abiertos.

Considerando la relevancia de las informaciones y datos geológicos para las distintas áreas de aplicación, se propone la creación de un portal web que funcione como una herramienta útil para la difusión de contenidos geológicos. Este espacio no solo facilitara el acceso a información técnica, sino también buscara atraer el interés de inversionistas extranjeros interesados en impulsar proyectos de investigación, así como iniciativas de prospección, exploración y explotación de los recursos minerales.

El portal de información geológica consistirá en un sistema destinado de recopilar y organizar los datos geológicos del Paraguay, con el propósito de ponerlos a disposición de organismos gubernamentales, instituciones no gubernamentales y del público en general.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Desarrollar un portal de datos abiertos que facilite el acceso a la información geológica del Paraguay.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Recopilar, sistematizar y procesar la información geológica del Paraguay.
- Generar aplicaciones web para facilitar a los usuarios la visualización e interacción con los datos abiertos referentes a la geología del Paraguay.
- Crear un portal interactivo que permita el acceso a la información y páginas web sobre datos geológicos del Paraguay.
- Proveer y facilitar el acceso y la localización de datos e información disponible sobre la geología del Paraguay.
- Contribuir a la difusión de los trabajos científicos y técnicos realizados por profesionales y estudiantes del sector geológico, con el fin de promover la investigación científica en el área.

1.4 Pregunta de investigación

¿Qué implica el desarrollo de un portal de datos abiertos que facilite el acceso a la información geológica del Paraguay?

¿Qué metodologías serán aplicadas para el desarrollo del portal de datos abiertos de información geológica?

¿Cuál será el impacto del desarrollo de un portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay?

¿Cuáles son los datos disponibles y cuáles se podrán utilizar en el portal de datos abiertos de información geológica del Paraguay?

¿De qué manera el portal puede fomentar la difusión y visibilidad de trabajos científicos y técnicos del sector geológico del Paraguay?

1.5 Hipótesis

Hipótesis descriptiva: El desarrollo de un portal web geológico, mejorara la disponibilidad y el acceso a la información sobre la geología y los recursos minerales del Paraguay, facilitando la investigación y la toma de decisiones en la gestión de los recursos minerales.

Hipótesis correlacional: Con el aumento de la accesibilidad y disponibilidad de la información geológica a través del portal web, se incrementará la investigación científica en el área de la geología, así como las inversiones y desarrollo de proyectos mineros.

Hipótesis explicativa: La implementación del portal geológico-minero centralizará los datos abiertos y promoverá la transparencia en la información. Esto generará mayor participación de investigadores, empresas mineras, autoridades gubernamentales y el público en general, lo que permitirá una gestión más eficiente de los recursos minerales del país. Actualmente la falta de información y conocimiento constituye una barrera para el desarrollo de inversiones, proyectos e investigaciones en el sector.

1.6 Alcance

El desarrollo del portal web geológico implica el tipo de investigación aplicada y práctica, con un enfoque cualitativo, debido a la recolección de datos sin medición numérica, y un diseño no experimental, transversal, de alcance descriptivo correlacional. Busca organizar, estructurar y difundir datos geoespaciales de manera accesible y funcional para diversos tipos de usuarios (académico, institucional y ciudadano en general).

El diseño de la investigación es no experimental y de tipo transversal, ya que no se manipulan variables, sino que se observa y sistematiza la información existente. El alcance es descriptivo correlacional, pues además de describir el contenido y la estructura de los datos geológicos, se analizan las relaciones entre distintas capas temáticas (litología, acuíferos, estructuras geológicas, etc.) para su representación e integración en el portal.

Este enfoque permite una comprensión integral de la información geológica del país, facilitando su visualización, uso y reutilización mediante herramientas tecnológicas actuales. Además, sienta las bases para futuras investigaciones aplicadas con la geología del Paraguay.

2. REVISION DE LITERATURA

La revisión técnica de los principales avances relacionados con la disponibilidad de información pública y geoespacial en Paraguay, así como el análisis de plataformas existentes orientadas a la difusión de datos geológicos, son presentados en este capítulo. A ello se suma la búsqueda web de experiencias internacionales sobre el desarrollo de geoportales especializados, que constituyen referencias metodológicas y tecnológicas aplicables al contexto nacional. Se analizan las herramientas utilizadas en la gestión de datos geoespaciales en entornos web, tales como ArcGIS Online, destacando sus funcionalidades para la construcción de portales temáticos y soluciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la nube. Así también, se analizan las aplicaciones específicas de los SIG en la geología, haciendo referencia al marco geológico en el Paraguay.

2.1. Información pública y datos abiertos en Paraguay: desarrollo y panorama actual

En Paraguay, el proceso de implementación del acceso a la información pública inició en el año 2011, con el fin de promover la transparencia, participación ciudadana y rendición de cuentas en la administración pública. Este proceso también ha impactado en el sector geológico y minero, aunque con avances aún incipientes.

En lo que respecta al acceso de la información pública, relacionada con la geología y minería en el país, el VMME, dependiente del MOPC, cuenta con una página web donde se publican las actualizaciones del catastro minero y de hidrocarburos, así como algunas informaciones geológicas del país, referentes a trabajos realizados por las empresas con permisos otorgados por el Estado para la prospección, exploración y explotación de minerales e hidrocarburos. (<https://www.ssme.gov.py>)

A pesar de los avances, la centralización y estandarización de la información sigue siendo un desafío, especialmente considerando el potencial que tienen los SIG y las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) para mejorar el acceso, uso y análisis de grandes volúmenes de datos geoespaciales.

2.2. Plataformas para el acceso a la información geológica y minera en Paraguay

Uno de los principales referentes digitales de información geológica en el país es el sitio web “Geología del Paraguay” (Gadea, s.f.). Esta página ofrece acceso libre a información diversa sobre la geología del país, incluyendo mapas, tipos de rocas, recursos minerales, suelos, hidrocarburos, hidrogeología y fósiles. Se trata de un esfuerzo individual que ha contribuido notablemente a la difusión del conocimiento geológico, aunque carece de un respaldo institucional.

El desarrollo de portales web especializados constituye una solución efectiva para la organización, publicación y acceso a datos geoespaciales. Al integrar herramientas SIG y funcionalidades web, estos portales permiten a los usuarios acceder, explorar y analizar información de forma dinámica y segura, lo que representa una ventaja significativa para sectores como la geología y la minería.

En este sentido, resulta pertinente diferenciar la publicación de información geoespacial en entornos web tradicionales respecto de su publicación a través de Infraestructuras de Datos Espaciales. La difusión convencional mediante páginas web y repositorios digitales suele limitarse a documentos o archivos descargables, en formato PDF o archivos sin metadatos, lo que restringe su reutilización y la interoperabilidad.

En contraste, las IDE se sustentan en estándares internacionales, servicios interoperables y metadatos estructurados, lo que favorece la integración de la información en sistemas de información geográfica y garantiza su disponibilidad para análisis avanzado, visualización interactiva y consumo automatizado mediante servicios geoespaciales. La IDE no solo facilitan el acceso a datos geoespaciales sino promueven el uso efectivo, asegurando trazabilidad, actualización y reutilización en distintos contextos técnicos y científicos.

2.3. Casos de estudio: geoportales y plataformas temáticas en otros países.

Existen experiencias exitosas en otros países que demuestra el potencial de los geoportales para la gestión y divulgación de datos públicos. Por ejemplo, en Ecuador se desarrolló el geoportal denominado *GeoSalud*, como parte de una tesis de grado presentada por

Arias, R. (2017). La misma fue elaborada utilizando información geográfica y alfanumérica de acceso libre de instituciones públicas del Ecuador. Mediante el uso de software libre, se realizaron los respectivos procesamientos para su incorporación en el geoportal, desarrollado desde ArcGIS Online. A través de esta plataforma, los usuarios pueden acceder a diversas aplicaciones del portal, obtener información sobre el sistema de salud en Ecuador e interactuar con las distintas entidades de salud pública, de acuerdo con sus necesidades, además de consultar horarios, noticias e informaciones preventivas, entre otros recursos.

En el marco del programa de Gestión Ambiental Minera de la Secretaría de Minería de Argentina, se desarrolló el Sistema de Información Geoambiental Minera (SIGAM), con el objetivo de contribuir a la modernización e implantación de nuevas capacidades en el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

El modelo de datos aglutina la información generada, facilitando la interrelación de las distintas capas temáticas, potenciando el análisis, la eficiencia en el manejo de datos y sus posibles aplicaciones. Este modelo se implementó sobre una Geodatabase (GDB) corporativa que contiene datos topográficos, geológicos, mineros y geoambientales de la República Argentina. Todos los componentes desarrollados para el SIGAM lo convierten en un ejemplo destacado de proyecto SIG para la gestión estatal de datos geológicos y ambientales, facilitando la optimización de recursos y el aprovechamiento de la información geográfica. El desarrollo del modelo de datos del SIGAM permite la interrelación de un gran volumen de capas de datos y el uso de datos comunes, sin duplicidades. El modelo garantiza la integridad de los datos y su disponibilidad simultánea para varios usuarios (Marquínez, J. et al., 2017).

Los trabajos consultados, en su mayoría, fueron realizados con el objetivo de optimizar el acceso a la información de manera rápida y segura, centralizando los datos a través de portales y sitios web mediante el uso de las herramientas que ofrecen los SIG. El desarrollo de estos portales permite y facilita la organización y el acceso a la información existente, a través de metadatos geográficos y la integración de servicios de información web mediante el intercambio de datos.

2.4. Representación de los datos en la Web: tecnologías y herramientas

Los primeros sistemas de gestión de contenidos fueron desarrollados por organizaciones que publicaban grandes volúmenes de información en internet y requerían actualizaciones constantes, como revistas en línea, periódicos y publicaciones corporativas.

La evolución de Internet hacia portales con mayor cantidad de contenido, junto con la alta participación de los usuarios mediante blogs y redes sociales, ha convertido a los gestores de contenidos en herramientas esenciales, tanto para empresas e instituciones como para usuarios individuales.

2.4.1. Computación en la nube (Cloud Computing)

El término *Cloud Computing* (computación en la nube) hace referencia a un modelo tecnológico que permite ofrecer servicios de computación a través de internet. Este modelo habilita el acceso a un conjunto compartido de recursos computacionales, como redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, minimizando el uso de recursos locales y permitiendo el acceso a la información en cualquier momento y lugar. Según el NIST, esta modalidad implica un acceso de red conveniente, ubicuo y bajo demanda a recursos configurables, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción con el proveedor (Mell y Grance, 2011).

El funcionamiento de la computación en la nube se basa principalmente en tres componentes; software como servicio, plataforma como servicio e infraestructura como servicio. Cada uno de ellos cumple un propósito específico en la nube y cubre diferentes áreas de productos y servicios tanto para empresas como para particulares (FEMEVAL, 2008).

Un ejemplo aplicado de esta tecnología es el servicio que presta ArcGIS Online, el cual permite el traslado de servicios geoespaciales a la nube. Aunque su implementación conlleva desafíos relacionados con la seguridad y tecnología, su integración en una

infraestructura robusta permite satisfacer los requerimientos de seguridad de diversas organizaciones (ESRI, 2019).

2.4.2. ArcGIS Online

ArcGIS Online es un sistema SIG web colaborativo que permite crear, usar y compartir mapas, escenas, aplicaciones, capas y datos. Proporciona acceso al *Living Atlas of the world*, a diversas aplicaciones y a la nube de Esri, permitiendo agregar elementos y publicar capas web. Como parte del sistema ArcGIS, amplía las capacidades de ArcGIS Desktop, ArcGIS Enterprise, las API web y los SDK de ArcGIS Runtime (ESRI, 2023).

Esta plataforma permite administrar la información geográfica de una organización, facilitando su acceso y uso incluso por parte de usuarios sin experiencia previa en SIG, quienes pueden crear contenido espacial accesible al público. Además, permite la creación de cuentas gratuitas para realizar diversas actividades. (ESRI, 2023)

2.4.2.1. Principales funcionalidades disponibles en ArcGIS Online.

- **Explorar datos:** ArcGIS Online incluye mapas y escenas interactivos con herramientas de análisis que permiten encontrar ubicaciones, enriquecer datos, hallar elementos próximos y resumir información.
- **Crear mapas, escenas y aplicaciones:** mediante el visor de mapas y el visor de escenas, permite acceder a una galería de mapas base y a herramientas para añadir capas y configurar combinaciones que pueden ser compartidos.
- **Colaborar y compartir:** se puede configurar grupos privados y solo por invitación o grupos públicos abiertos en todo el mundo. También se puede compartir mapas integrándolos en páginas web, blogs, aplicaciones web y mediante redes sociales.

ArcGIS Online incluye una serie de constructores de aplicaciones configurables. En tan solo unos cuantos pasos y sin programar, se puede publicar una aplicación web a la que todo el mundo podrá acceder desde un navegador web.

- **Publicar datos como capas web:** es posible agregar capas a aplicaciones web, de escritorio, móviles y permitir que otros usuarios las utilicen. Permite publicar datos directamente desde ArcGIS Desktop o el sitio web de ArcGIS Online sin necesidad de instalar su propio servidor y compartirlos con otras personas de su organización, que pueden añadir capas de mapas o herramientas de geoprocésamiento a sus propios mapa y aplicaciones.
- **Administrar la organización:** ofrece herramientas y ajustes que permiten al administrador de la organización personalizar la página de inicio y además administrar la organización en su totalidad. Esto incluye configurar el sitio web, invitar y agregar miembros y determinar sus roles, administrar contenido y grupos y definir la política de su seguridad.
- **Aplicaciones:** incluye una amplia gama de aplicaciones que pueden ser utilizadas como plantillas configurables, las cuales permiten integrar y visualizar datos geoespaciales dispuestas por el administrador de la organización. Estas aplicaciones están diseñadas para facilitar la interacción con los datos de forma accesible, atractiva y funcional, tanto para usuarios técnicos como no especializados.

2.4.2.2 Aplicaciones integradas en ArcGIS Online.

- **Portales Web**

Los portales web permiten la búsqueda y acceso a información geoespacial y a servicios como visualización, edición y análisis. Son componentes clave de las IDE, ya que facilitan la publicación y descubrimiento de metadatos basados en estándares (ESRI, 2023). También permiten desarrollar aplicaciones web para visualizar, consultar y distribuir datos geográficos con herramientas SIG de código abierto, optimizando tiempo y recursos.

A través del portal web se proporcionan datos geográficos y servicios de las distintas administraciones u organismos del sector público integrado en la IDE. Para desarrollar una aplicación web de mapas interactivos, publicados en un Portal donde se pueda visualizar, consultar, actualizar y distribuir los datos geográficos como parte de una IDE, es de mucha utilidad para las empresas e instituciones poder generarla desde un software SIG web open source que demande menos recursos económicos y que se la realice en menor tiempo. El principal reto es que todos los componentes encajen y que el portal sea operativo en su totalidad.

- **Páginas web**

Una página Web es un documento electrónico adaptado particularmente para el Web, que contiene información como texto, imagen, video, animación u otros y que es almacenado en algún sistema de cómputo que se encuentre conectado a la red mundial de información denominada Internet, de tal forma que este documento pueda ser consultado por cualquiera persona que se conecte a esta red mundial de comunicaciones y que cuente con los permisos apropiados para hacerlo.

Una página Web forma parte de un Sitio Web o Sitio de Internet, este no es más que el conjunto de páginas Web que lo componen ordenadas jerárquicamente bajo una misma dirección de Internet (URL). Las páginas Web son visualizadas a través de Navegadores Web que interpretan el código con el que son diseñadas estas.

- **Diferencias entre portal web y pagina web**

En ocasiones se tiende a confundir el concepto de Portal Web con el de Página Web. Una página es simplemente un documento de hipertexto con cierta información, mientras que en un portal se encuentran diferentes servicios que facilitan al internauta la navegación y búsqueda de documentación e información en Internet, entre los que podemos mencionar: Espacios de páginas Web, chat, comunidades virtuales, motor de búsqueda o índice, información completa sobre el tema, noticias de todo tipo, novedades, etc.

Normalmente un portal está desarrollado en algún lenguaje más poderoso y complejo que HTML, puede ser PHP o Java, y habitualmente está asociado a una base de datos que almacena tanto la información que se quiere presentar como la que se obtiene del usuario del portal. Dicha información es totalmente aprovechable, la misma se debe poder administrar desde un área diseñada para que un usuario común pueda actualizarla, modificarla, añadir nuevo contenido, de tipo que sea, sin necesidad de expertos.

2.5. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográficos

La utilidad principal de un SIG radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de bases de datos digitales. Estos modelos constituyen herramientas eficaces para analizar tendencias, identificar factores influyentes y evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en un área de interés (Sarria, 2019).

Los SIG permiten la integración de bases de datos espaciales y la aplicación de diversas técnicas de análisis. En consecuencia, cualquier actividad relacionada con el espacio geográfico puede beneficiarse de estas herramientas. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran los estudios científicos, especialmente los medioambientales, la elaboración de modelos dinámicos, la teledetección, la cartografía, el catastro, la planificación territorial, los estudios de impacto ambiental y la evaluación de recursos. Asimismo, en el ámbito empresarial, los SIG se emplean en estrategias de marketing y distribución (Bravo, 2000).

2.6. Aplicación de los SIG en la Geología

Los SIG resultan aplicables en diversas ramas de las geociencias, tales como la cartografía geológica, los estudios geofísicos, petrofísicos, físico-mecánicos y geoquímicos, el análisis metalogénico y los estudios tectónicos, geomorfológicos, estratigráficos y sedimentológicos. También son fundamentales en actividades como la exploración geológica, la modelación de yacimientos y la geología ambiental (Batista et al., 2014).

En todas estas disciplinas, el procesamiento y la representación de los datos requieren del uso de sistemas de información. En el ámbito minero, la principal actividad consiste en el levantamiento de datos en campo, los cuales deben ser resguardados con seguridad, dado que constituyen información crítica para el avance de los trabajos. Por lo general, las zonas exploradas se encuentran en lugares remotos sin acceso a internet, lo que implica semanas de trabajo de campo. Toda la información recolectada es posteriormente procesada en gabinete, utilizando herramientas que ofrecen los SIG, las cuales permiten su representación, visualización, análisis y la toma de decisiones orientadas al avance de las labores y a la identificación de zonas de interés.

Anteriormente, la prospección geológica consistía en trabajos de mapeo en papel, representados hechos a mano o mediante software básico. Sin embargo, gracias a los avances tecnológicos en los SIG, estos procesos se han agilizado y optimizado, facilitando su ejecución en menor tiempo y con mayor precisión. En consecuencia, las empresas mineras están adaptando cada vez más este tipo de herramientas, que contribuyen a la eficiencia y eficacia de sus operaciones.

Uno de los principales beneficios del uso de SIG en el sector minero es la unificación y representación centralizada de la información recolectada durante los trabajos de relevamiento. Gracias a estas tecnologías, es posible contar con datos en línea, accesibles desde el campo hasta la gerencia en pocos pasos. Además, el uso de datos compartidos entre el personal de campo y de oficina, minimiza errores, incrementa la productividad y reduce costos.

La plataforma ArcGIS, permite trabajar con diversos tipos de información, como imágenes satelitales, datos geológicos, geofísicos, geomorfológicos y de sondaje. Estas herramientas avanzadas posibilitan el análisis, procesamiento y modelado espacial de manera integral.

La tecnología de ArcGIS transforma el trabajo de campo, mediante aplicaciones móviles que permiten la recolección y almacenamiento de datos, incluso en sitios sin conexión a internet. La posibilidad de visualizar datos precisos en tiempo real facilita la toma de decisiones ejecutivas en lapsos reducidos. Asimismo, estas herramientas garantizan el

almacenamiento y respaldo de la información sensible, lo cual es fundamental para las empresas del sector.

Dado que el sector minero en Paraguay se encuentra en proceso de desarrollo, uno de sus principales desafíos es la implementación efectiva de estas tecnologías, así como la capacitación continua del personal. Esto permitirá estar a la altura de los avances tecnológicos y responder a las exigencias de los inversionistas. La adopción de los SIG puede contribuir a obtener mejores resultados en menor tiempo, avanzar con las investigaciones e ir avanzando en las etapas de exploración y explotación, generando así una mayor cantidad de proyectos, inversiones y oportunidades laborales.

2.7. El contexto geológico de Paraguay

2.7.1. Geología en Paraguay

El mapa geológico del Paraguay (1986) fue elaborado a escala 1:1.000.000, el cual cuenta con un texto explicativo que resume información sobre la geología del Paraguay.

En los últimos años, diversos proyectos de investigación han contribuido significativamente al conocimiento geológico del territorio nacional, especialmente en la región oriental. Entre ellos se destacan el Proyecto Aquidabán, los trabajos de The Anschutz Co., y los proyectos de mapeamiento en las áreas de las represas de Yacyretá e Itaipú.

A pesar de que Paraguay es un país relativamente pequeño, su geología se caracteriza por una notable complejidad, determinada principalmente por la presencia de dos grandes cuencas regionales; la Cuenca Chaco Paranaense, que abarca el sector occidental del país, y la Cuenca del Paraná, que se extiende en la parte oriental. Esta diversidad geológica también ha sido influenciada por eventos relacionados con la apertura del océano Atlántico y la separación de los continentes, evidenciados en la lito-estratigrafía y en las estructuras tectónicas claramente definidas.

Las dos regiones geográficas naturales del país, divididas por el río Paraguay, reflejan esta dualidad geológica derivada de las cuencas mencionadas, y presentan marcadas diferencias en sus características geomorfológicas, litológicas y estructurales. Estas diferencias también repercuten en aspectos ecológicos, climáticos y en el potencial geoeconómico de cada región.

Las principales cuencas sedimentarias del Paraguay son: Curupayty, Carandayty, Pirity, Pilar y la del Chaco, en la Región Occidental, y la cuenca del Paraná en la Región Oriental. Según Gómez (1986), las cuencas sedimentarias occidentales tienen casi todas sus columnas sedimentarias en sub-superficie, estando rellenas actualmente, por sedimentación Cretácico Terciario de la Cuenca del Chaco, con excepciones de las cuencas Curupayty y Carandayty que poseen afloramientos de algunas de sus unidades estratigráficas, en la parte norte del Alto de Boquerón y a lo largo de los Altos del Chaco Central y Lagerenza.

La Cuenca del Paraná es una cuenca sedimentaria intracratónica (Fúlfaro, 1996) que inició su proceso de sedimentación en el Carbonífero Superior y tiene como su límite occidental aproximadamente en el actual curso del río Paraguay. Está totalmente ubicada en la región oriental, donde sus unidades sedimentarias poseen una dirección Norte-Sur. Juntamente con la cuenca del Chaco, fueron considerados en todos los trabajos geológicos anteriores, como las dos únicas cuencas sedimentarias del Paraguay (Harrington, 1956; Eckel, 1959; Putzer, 1962).

En el sur de la Región Oriental se encuentra el complejo basal del río Tebicuary (Wiens, 1984), el cual constituye un área de afloramientos de rocas cristalinas y metasedimentos de edades que van desde el Precámbrico Inferior a Precámbrico Superior. Estas corresponden a las rocas más antiguas del Paraguay. Su límite septentrional está marcado por un gran alineamiento con dirección noroeste-sureste, donde se localiza el denominado Rift de Asunción (Hoja Caacupé, 1999), considerado la principal estructura tectónica del país (Harrington, 1950, 1956; Eckel, 1959; Putzer, 1962).

Las grandes unidades geológicas del Paraguay han evolucionado a lo largo del tiempo geológico mediante diversas reactivaciones de líneas estructurales de diferentes edades. La última reactivación de edad Juro-Cretácico-Terciaria, asociada a la gran ruptura continental, generó movimientos verticales de carácter positivo en un proceso “rift” (Fúlfaro et al., 1982, 1986), configurando el marco geológico actual del Paraguay.

2.7.2. Situación actual de la Minería en Paraguay

La minería en Paraguay ha tenido sus inicios en la utilización de rocas para construcciones, una práctica desarrollada por los Jesuitas junto a los guaraníes desde comienzos del siglo XVII. Existen evidencias de que también llevaron a cabo la minería metálica, como lo demuestran elementos decorativos en altares de los templos construidos en las ciudades misioneras, así como estatuas talladas en piedra y madera con detalles en oro.

En 1850, durante el gobierno de Carlos Antonio López, se realizó el primer ensayo de fundición de hierro en el país. Posteriormente, se redactó un informe que mencionaba las minas de hierro del Paraguay, así como yacimientos de cal, pedernal y cuarzo. Ante el interés por estas riquezas minerales, el gobierno contrató al ingeniero mineralogista inglés Charles Twite, con el objetivo de realizar exploraciones en minas y canteras. Sin embargo, sus trabajos fueron interrumpidos debido al estallido de la Guerra de la Triple Alianza.

Entre 1972 y 1974, el gobierno nacional, en cooperación con el Departamento de Desarrollo Regional de la Organización de Estados Americanos (OEA), desarrolló el Proyecto Aquidabán. Este proyecto generó información valiosa sobre la geología, estratigrafía y tectónica de la región nororiental del país, y produjo un mapa geológico a escala 1:500.000, así como un inventario de los recursos minerales. Dicho trabajo constituyó un hito en la investigación geológica detallada en Paraguay.

Durante esa misma década, se dio inicio a una de las más importantes exploraciones geológicas regionales realizadas en el país. Entre julio de 1976 y junio de 1983, la empresa estadounidense *The Anschutz Corporation* ejecuto investigaciones centradas en la prospección de uranio, utilizando las técnicas más avanzadas de la época. Como resultado se obtuvo una amplia base de datos geológica, geofísica y geoquímica, así como un detallado mapa geológico de la Región Oriental del Paraguay a escala 1:500.000, publicado en el año 1982. Esta información se ha mantenido como referencia fundamental para exploraciones posteriores de minerales como oro, cobre, hierro, uranio y otros.

En 1984, el gobierno nacional impulsó la modernización de la información geológica del país mediante convenios con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Como resultado, se ejecutaron los proyectos "Mapa Geológico, Hidrogeológico y Metalogénico del Paraguay", y "Minerales No Metálicos del Paraguay". En primero de estos proyectos permitió la elaboración de un mapa geológico a una escala de 1:1.000.000, que cubrió por primera vez en una sola carta geológica los 406.752 km del territorio nacional. Además, se elaboró el primer mapa metalogénico del país, que consistió en la compilación y evaluación de información sobre áreas con potencial de mineralización.

Las investigaciones realizadas por *The Anschutz Corporation*, posicionaron al Paraguay como un país con potencial minero atractivo, gracias a una legislación favorable y a sus condiciones geológicas. Este contexto motivó la llegada de nuevas compañías exploradoras.

En 2006, la empresa minera *Transandes S.A.* solicitó varias concesiones continuar la exploración de los depósitos de uranio identificados anteriormente por la *Anschutz Co.* Luego de verificar los datos existentes y realizar una campaña intensiva de perforación entre el 2007 y 2008, la empresa confirmo la presencia del yacimiento y continuó la exploración en colaboración con *Uranium Energy Corporation (UEC)*, que actualmente sigue con los trabajos de exploración. De igual manera la firma canadiense *Latin American Minerals Inc.*, inició en 2007 una campaña de exploración aurífera, basada en descubrimientos realizados por pobladores en depósitos aluviales.

Actualmente se encuentra en desarrollo proyectos de prospección de titanio, liderados por la empresa *Metálicos y No Metálicos del Paraguay S.A.*, que posee permisos de prospección de ilmenita en los departamentos de Alto Paraná y Canindeyú.

En la Región Occidental, varias empresas han solicitado permisos para la prospección de litio. Otras compañías, tanto nacionales como extranjeras, han llevado a cabo investigaciones en distintos segmentos del sector minero.

El creciente interés global por nuevos ambientes metalogénicos ha generado un impulso significativo para el sector minero en Paraguay. En la actualidad, once empresas se encuentran realizando investigaciones en diversas etapas del proceso de prospección. Además, existen 103 solicitudes de áreas para prospección minera en diferentes regiones del país (<https://www.ssme.gov.py>).

3. METODOLOGIA

3.1. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio abarca la totalidad del territorio de la República del Paraguay, ubicado en el centro de América del Sur. El país limita al norte y noreste con Bolivia, al este y sureste con Brasil, y al sur y suroeste con Argentina. Posee una superficie de 406.752 km² y se divide en dos grandes regiones geográficas separadas por el río Paraguay: la Región Oriental, caracterizada por un relieve más accidentado y una mayor densidad poblacional, la Región Occidental o Chaco, se distingue por un terreno llano, clima semiárido y menor grado de urbanización.

Dado a que el objetivo de este trabajo es el desarrollo de un geoportal de datos abiertos sobre la geología del Paraguay, el área de estudio se extiende a nivel nacional, sin limitarse a una zona específica. La incorporación de información geológica a escala nacional permite una visión integral del potencial geológico del país y proporciona una base sólida para futuras investigaciones, la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones en los ámbitos de exploración y explotación de recursos naturales.



Figura 3.1: Mapa de ubicación

3.2. Presentación de la metodología

La metodología adoptada en este trabajo es de tipo aplicada, con enfoque cualitativo. Está orientada al desarrollo de un geoportal de acceso abierto que centraliza la información geológica del Paraguay, permitiendo su visualización, análisis y descarga tanto por usuarios especializados como por el público en general.

El trabajo se organizó en distintas etapas metodológicas alineadas con los objetivos específicos planteados. Estas etapas incluyeron la recopilación y validación de datos, el procesamiento y estandarización de la información en entornos de SIG, la organización de los datos geospaciales y finalmente, el diseño e implementación del geoportal mediante la plataforma ArcGIS Online.

3.3. Detalle de las diferentes etapas metodológicas

3.3.1 Etapa 1. Recopilación, sistematización y procesamiento de información geológica del Paraguay.

Fuentes de datos: se recopilaron datos geoespaciales en formatos abiertos, shapefile (SHP), GDB, Excel, PDF e imágenes, provenientes de fuentes oficiales y académicas. Entre las principales se incluyen el MOPC, VMME, el Servicio Nacional de Saneamiento ambiental (SENASA), la página web de Geología del Paraguay, así como publicaciones científicas y técnicas. El detalle de las capas utilizadas, sus formatos, fuentes y referencias se presentan en la tabla 4.1.

Procesamiento de datos: los datos fueron organizados, seleccionados y transformados a formatos interoperables (CSV, GeoTIFF, SHP, GDB). Se realizaron tareas de limpieza y normalización, corrección de tablas de atributos, generación de nuevos campos y carga de datos. Además, se digitalizaron mapas en formato de imagen para generar elementos vectoriales (polígonos, puntos y líneas).

Herramientas y software: *Excel, Google Earth y ArcGIS Pro3.3*, para el análisis geoespacial y la gestión de bases de datos.

Parámetros: en la selección de datos se consideraron el año de publicación para garantizar la actualización, la confiabilidad de las fuentes, y la tipología de datos geológicos tales como formaciones, estructuras, litología, suelos, acuíferos, entre otros.

3.3.2 Etapa 2. Desarrollo de aplicaciones web para la visualización e interacción de datos

Diseño y desarrollo del portal: se generaron diez mapas web en *ArcGIS Online*, cargando los archivos procesados en *ArcGIS Pro* en formato GDB. Se incorporaron un total de 59 capas, de los cuales 44 fueron procesados y 15 generados. Cada capa fue configurada con estilos personalizados, respetando las referencias visuales de las fuentes originales. Asimismo, se ajustaron los atributos y metadatos para una correcta representación.

Se desarrollaron tableros dinámicos (*Dashboard*) para representar los datos mediante gráficos interactivos y mapas narrativos (*Story maps*) sobre temas geológicos específicos.

Herramientas y software: *ArcGIS Online* fue utilizado para la publicación y visualización de datos mediante *Web Maps*, *Dashboards*, *Story maps*.

Parámetros: se definieron los tipos de capas según el contenido de cada mapa. En todos ellos se incluyeron capas base de informaciones regionales (rutas, ciudades, límites, puertos, etc.), permitiendo que los usuarios puedan explorar los datos según sus intereses. Los indicadores visualizados en los tableros representan atributos específicos de cada capa, los cuales fueron acompañados por su respectiva fuente de origen.

3.3.3 Etapa 3. Creación del portal interactivo

Estructuración del portal: se diseñó un portal interactivo e intuitivo, con nueve secciones de acceso rápido a la información geológica. Se incorporaron textos descriptivos, buscadores, pestañas de visualización y descarga de datos en formatos abiertos (CSV, SHP, GDB, KMZ), además de mapas web, dashboards, story maps, videos, enlaces y noticias. Para su implementación se utilizaron las herramientas disponibles en *ArcGIS Hub*, que permiten una mejor presentación e interacción con los contenidos.

Herramientas y software: fue empleado *ArcGIS Hub* para el diseño y publicación de datos abiertos.

Parámetros: durante la construcción del portal se consideraron la estructura de navegación, los formatos de descarga disponibles y los perfiles de potenciales usuarios (academia, sector público y ciudadanía en general).

3.3.4 Etapa 4. Difusión de información, trabajos científicos y técnicos

Difusión de información: los datos fueron clasificados por áreas temáticas tales como; mapas geológicos, hidrogeología, suelos, hidrocarburos, minería, canteras, cerros y rocas alcalinas, facilitando el acceso a los contenidos. Se implementaron visores de mapas interactivos y opciones de descarga en múltiples formatos para su aprovechamiento.

Herramientas y Software: fue utilizado *ArcGIS Hub* para la difusión de datos abiertos, tanto en su visualización como en la habilitación de opciones de descarga.

Parámetros: para la difusión de la información se consideraron la cantidad y tipo de datos disponibles por temática. Se habilitó la descarga en distintos formatos, tales como, GDB, SHP, KMZ, CSV, asegurando el acceso abierto y uso libre por parte de los usuarios.

3.4. Flujograma

Representación de los diferentes pasos del proceso metodológico.

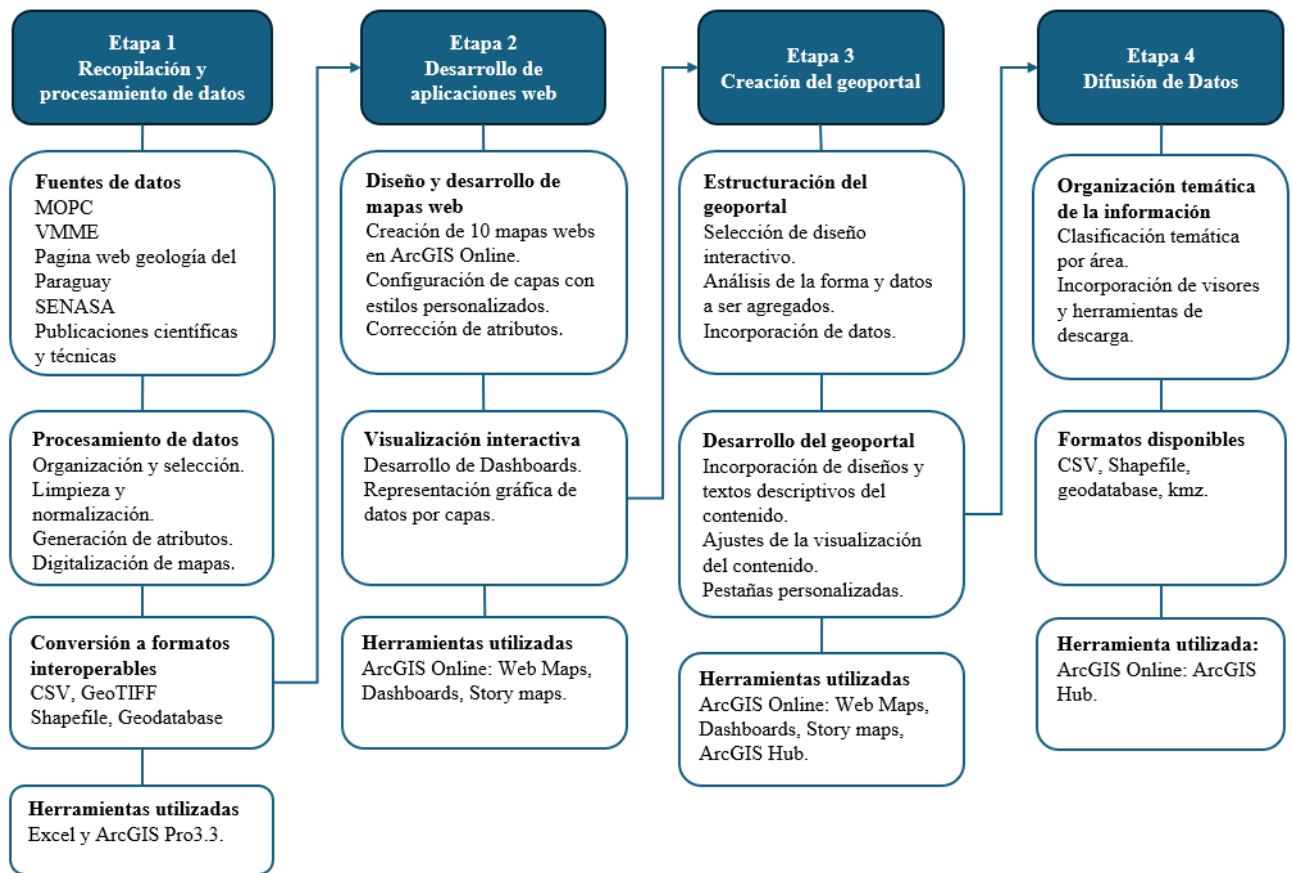


Figura 3.2: Flujograma de procesos metodológicos

3.5. Justificación de la metodología

La metodología aplicada responde a la necesidad de organizar, analizar y difundir de forma eficiente y accesible la información geológica del Paraguay, mediante el uso de tecnologías geoespaciales modernas y estándares abiertos de datos. La elección de un enfoque metodológico de etapas de recopilación, procesamiento, visualización, publicación y difusión permite abordar de forma sistemática y ordenada el tratamiento de datos geológicos heterogéneos, garantizando la interoperabilidad, actualización y utilidad de estos. En conjunto, esta metodología contribuye directamente al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Resultados

Se llevaron a cabo procesos de recopilación y procesamiento de datos geoespaciales mediante el uso de herramientas del software ArcGIS Pro. Posteriormente, estos datos fueron publicados en la plataforma ArcGIS Online, con el objetivo de crear de mapas web, desarrollar aplicaciones interactivas y estructurar el geoportal.

4.1.1 Recopilación, sistematización y procesamiento de información geológica del Paraguay.

Tras la recopilación y selección de los datos geológicos, se procedió a la sistematización y procesamiento de las informaciones en formatos interoperables tales como: CSV, GeoTIFF, SHP y GDB. Este proceso incluyó tareas de limpieza, normalización y estandarización de datos en ArcGIS Pro. Todos los datos procesados fueron posteriormente convertidos al formato GDB, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Datos recabados y procesados

| Capas procesadas y corregidas | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------------------|--|
| Datos / Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
| 1. Departamentos de Paraguay | Instituto Nacional de Estadística (INE) https://www.ine.gov.py/ | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 2. Distritos de Paraguay | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 3. Barrios localidades | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 4. Hidrografía del Paraguay | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 5. Localidades | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 6. Ciudades principales | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 7. Áreas Protegidas 2022 | INE | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 8. Comunidades indígenas 2024 | Instituto Paraguayo del indígena (INDI) | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 9. Áreas Certificadas 2023 | Ministerio del Ambiente y Desarrollo sostenible (MADES) | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 10. Parques Nacionales | MADES | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 11. Red vial | Ministerio de Obras públicas y comunicaciones (MOPC) | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 12. Puertos | Dirección del Servicio Geográfico Militar (DSGM) | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 13. Antenas de telecomunicaciones | DSGM | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 14. Alta tensión | DSGM | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 15. Estructuras Hoja Caacupé BGR/DRM | Viceministerio de Minas y Energía (VMME) https://minasyenergia.mopc.gov.py/ | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, edición de simbología según mapa original. |
| 16. Estructuras Hoja Coronel Oviedo BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, edición de simbología según mapa original. |

| Datos / Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
|--|--|-------------------------|---------------------------|---|
| 17. Estructuras Hoja Paraguari BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, edición de simbología según mapa original. |
| 18. Estructuras Hoja Villarrica BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, edición de simbología según mapa original. |
| 19. Estructuras Hoja Villa Florida BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, edición de simbología según mapa original. |
| 20. Cuencas y Cratones | Gadea, M. (s.f.). Geología del Paraguay. https://www.geologiadelparaguay.com.py | Shapefile | Geodatabase | Carga de datos a la tabla de atributos. |
| 21. Mapa Geológico the Anschutz Co. 1983 | Mapa Geológico the Anschutz Co. 1983 | Shapefile | Geodatabase | Corrección del shapefile, carga de datos en tabla de atributos y edición de simbología según mapa original. |
| 22. Geología Chiriguelo | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 23. Hoja geológica Caacupé BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 24. Hoja geológica Coronel Oviedo BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 25. Hoja geológica Paraguari BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 26. Hoja geológica San José BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |

| Datos / Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
|---|---|-------------------------|---------------------------|---|
| 27. Hoja geológica Villarrica BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 28. Hoja geológica Villa Florida BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 29. Geología Acuífero Patiño | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de polígonos, tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 30. Geología región Occidental | Proyecto sistema ambiental del chaco. MAG/BGR. 1999 | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 31. Pozos petroleros | VMME | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología. |
| 32. Líneas sísmicas | VMME | Shapefile | Geodatabase | |
| 33. Mapa hidrogeológico, 1986, Proyecto Par 83/005 | ONU/PNUD – MOPC – MAG. (1986). <i>Mapa hidrogeológico del Paraguay.</i> | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 34. Mapa hidrogeológico 1986, Proyecto Par 83/005 región Oriental | ONU/PNUD – MOPC – MAG. (1986). <i>Mapa hidrogeológico del Paraguay.</i> | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 35. Anomalía de Bougen | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Edición de simbología según mapa original. |

| Datos / Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
|--|---|-------------------------|---------------------------|--|
| 36. Ordenamiento Territorial región Oriental | | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 37. Suelos región Oriental | Proyecto de racionalización de Uso de la Tierra MAG-BM | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 38. Suelos región Occidental | Proyecto SARO. (2009). Sistema Ambiental de la región Occidental. MAG/BGR | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos, incorporación de fuente y edición de simbología según mapa original. |
| 39. Pozos de exploración Anshutz Co. | VMME | Shapefile | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 40. Concesiones Mineras VMME | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 41. Áreas Mineras en proceso administrativo o judicial | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 42. Áreas Mineras con permisos del VMME | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 43. Áreas mineras solicitadas | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |
| 44. Canteras habilitadas por el VMME | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Corrección de tabla de atributos. |

Tabla 4.2. Detalles de los resultados de las capas generadas

| Capas generadas | | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|---|
| Datos/ Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
| 1. Grilla de carta topográfica | DSGM | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada. |
| 2. Cuadrícula de carta topográfica | DSGM | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada y carga de atributos. |
| 3. Provincias Alcalinas | Velázquez, V. (1996). | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada y carga de atributos. |
| 4. Rocas alcalinas | Velázquez, V. (1996); Mapa Geológico Proyecto Par 83/005; Hojas Geológicas BGR-DRM. | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase, en base a localizaciones de rocas alcalinas según bibliografía consultada y carga de atributos. |
| 5. Cerros del Paraguay | Gadea, M. (s.f.); Mapa Geológico del Paraguay Proyecto Par 83/005; Hojas geológicas MOPC/DRM | Planilla, Imagen | Geodatabase | Elaboración de geodatabase, en base a localizaciones de cerros según informaciones recabadas, búsqueda en google earth y la posterior carga de atributos. |
| 6. Mapa metalogénico 1986 | Ministerio de Defensa Nacional, Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco y NNUU/DTCD. (1986). | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada y carga de atributos. Edición de simbología según mapa original. |
| 7. Sismos registrados en Paraguay | Gadea, M. (s.f.). Geología del Paraguay. https://www.geologiadelparaguay.com.py | Imagen de planilla y mapa | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada y carga de atributos. |

| Datos/ Capa | Fuente | Formato original | Contenido generado | Proceso realizado |
|--|--|-------------------------|---------------------------|---|
| 8. Hojas geológicas BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Unión de capas, corrección de polígonos y de atributos. Edición de simbología según mapa original. |
| 9. Hoja geológica Itacurubí BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada, carga de atributos y edición de simbología según mapa original. |
| 10. Mapa Geológico Proyecto Par 83/005 | Gadea, M. (s.f.). Geología del Paraguay. https://www.geologiadelparaguay.com.py | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada, carga de atributos y edición de simbología según mapa original. |
| 11. Estructuras Hojas geológicas BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Unión de capas, corrección de líneas y atributos. Edición de simbología según mapa original. |
| 12. Estructuras Hoja Itacurubí BGR/DRM | VMME | Geodatabase | Geodatabase | Generación de geotabase en base a imagen georreferenciada, edición de simbología según mapa original |
| 13. Catastro de Hidrocarburos 2023 | VMME | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada, carga de atributos y edición de simbología según mapa original. |
| 14. Acuífero Yrenda | Fariña, Sandra et al. (2018). Mapa Hidrogeológico del Sistema Acuífero Yrenda en Paraguay | Mapas JPG | Geodatabase | Elaboración de geodatabase en base a imagen georreferenciada, carga de atributos y edición de simbología según mapa original. |
| 15. Pozos tubulares Registro SENASA | Solicitado mediante nota al Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental (SENASA) | Planilla Excel | Geodatabase | Revisión y ordenamiento de datos, elaboración de geodatabase en base a planilla de datos. |

Se realizaron correcciones en las tablas de atributos, generación de nuevos campos, incorporación de datos complementarios y ajustes de simbología de las capas. A partir de estas modificaciones, se generaron nuevas capas que integran todas las correcciones, ajustes y mejoras.

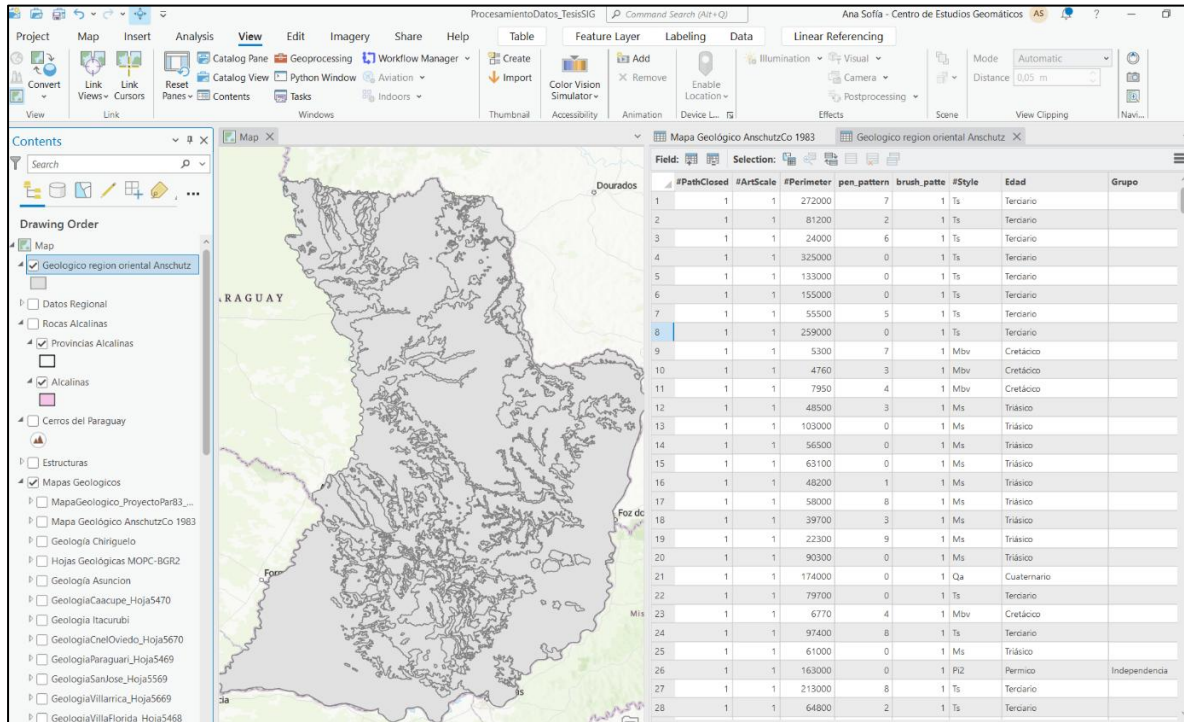


Figura 4.1: Capa de mapa geológico sin corrección. Fuente: Anschutz Co. 1983

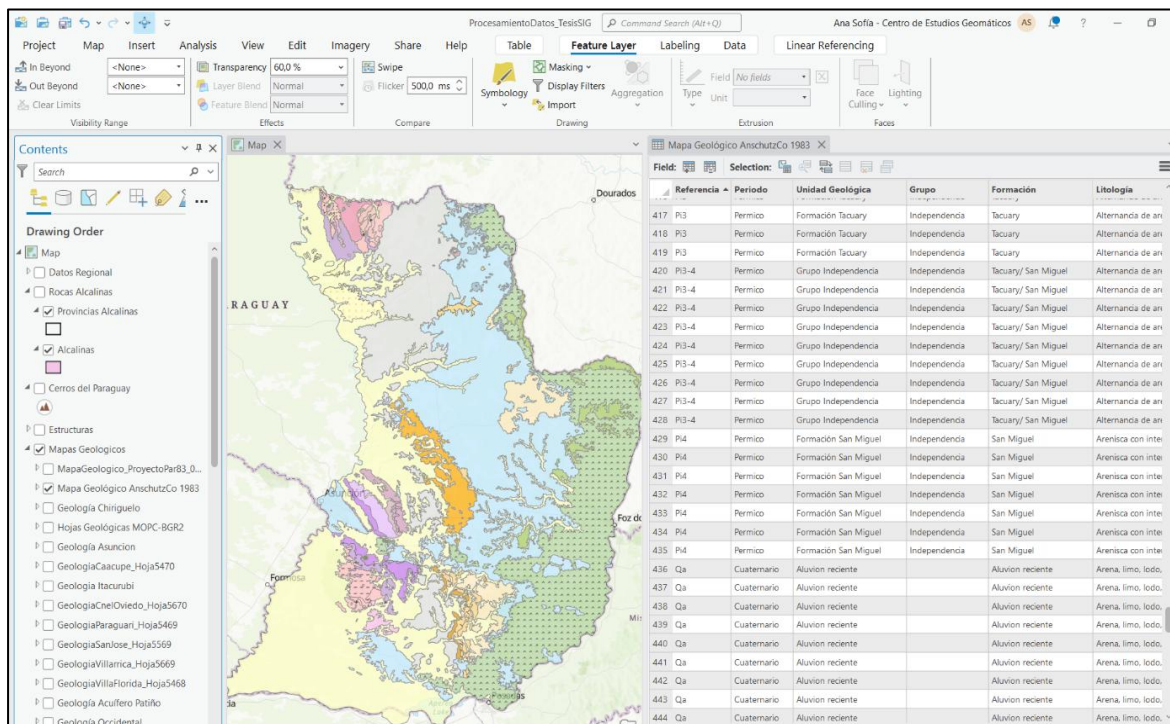


Figura 4.2: Resultado de mapa geológico corregido. Fuente: Anschutz Co. 1983

Digitalización de mapas en formato de imagen (raster) con el objetivo de generar elementos vectoriales, tales como polígonos, puntos y líneas, a los cuales fueron asignados atributos específicos y una simbología estandarizada. Estos resultados fueron obtenidos mediante el uso de ArcGIS Pro, donde se organizó toda la información antes de su publicación.

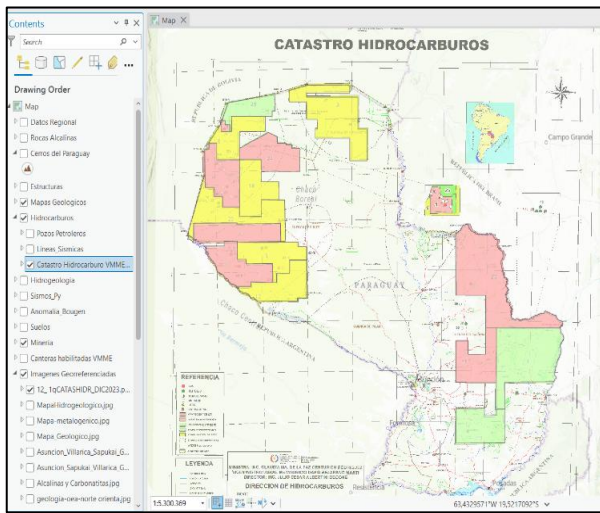


Figura 4.3: Georreferenciación del catastro de hidrocarburos. Fuente: vmme.gov.py

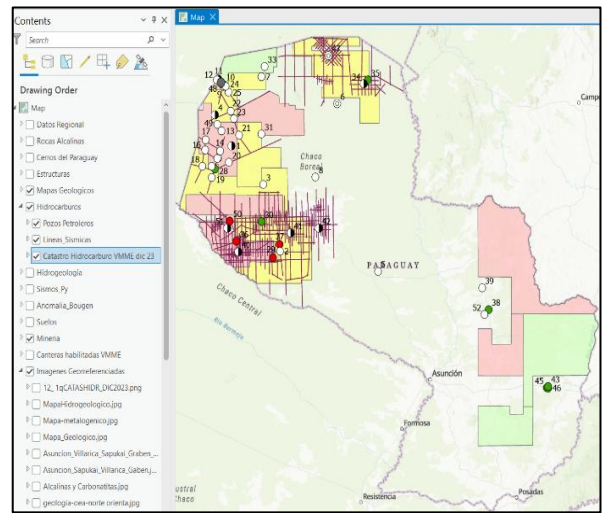


Figura 4.4: Resultado de digitalización del catastro de hidrocarburos. Fuente: vmme.gov.py

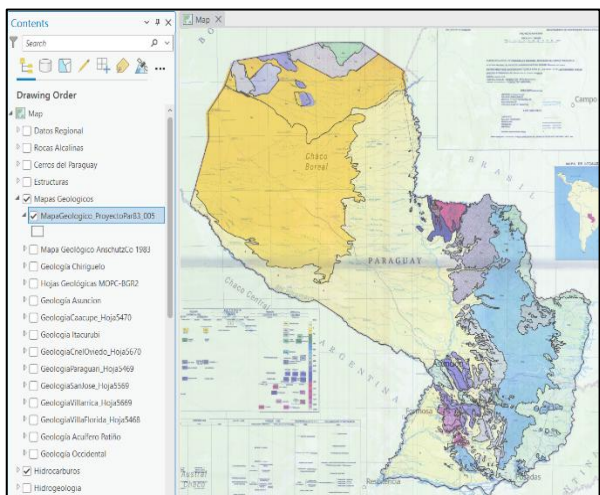


Figura 4.5: Georreferenciación del mapa geológico. Fuente: Mapa Geológico Proyecto Par 1986

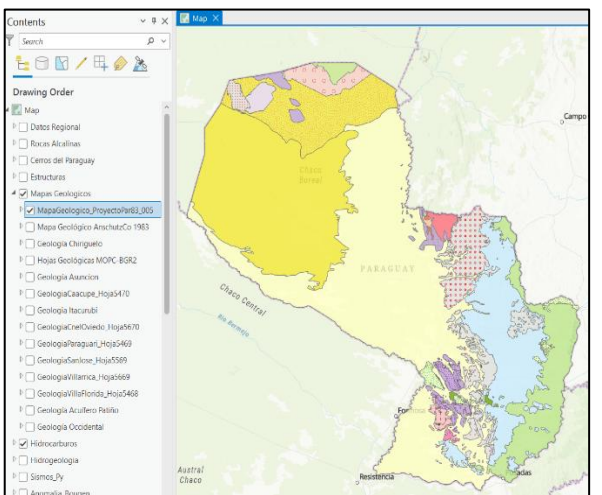


Figura 4.6: Resultado de digitalización del mapa geológico. Fuente: Mapa Geológico Proyecto Par 1986

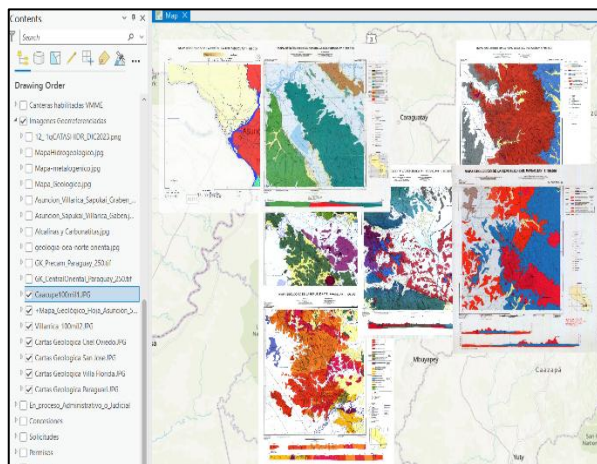


Figura 4.7: Georreferenciación de cartas geológicas. Fuente: vmme.gov.py

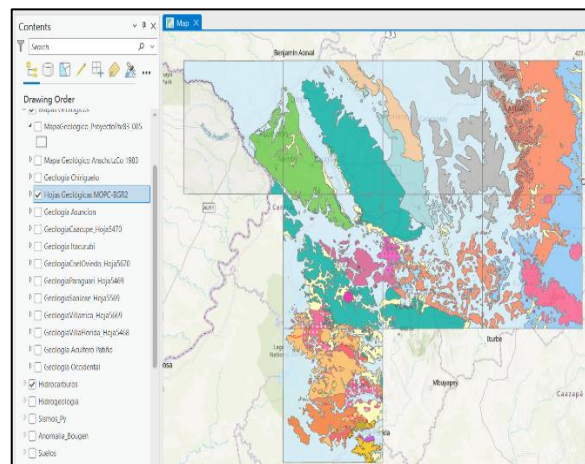


Figura 4.8: Resultado de ajustes realizados, al archivo de cartas geológicas. Fuente: vmme.gov.py

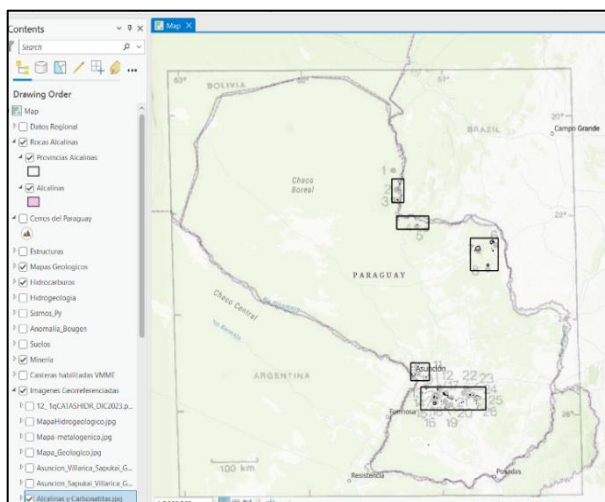


Figura 4.9: Georreferenciación del mapa de provincias alcalinas. Fuente: geologiadelparaguay.com.py

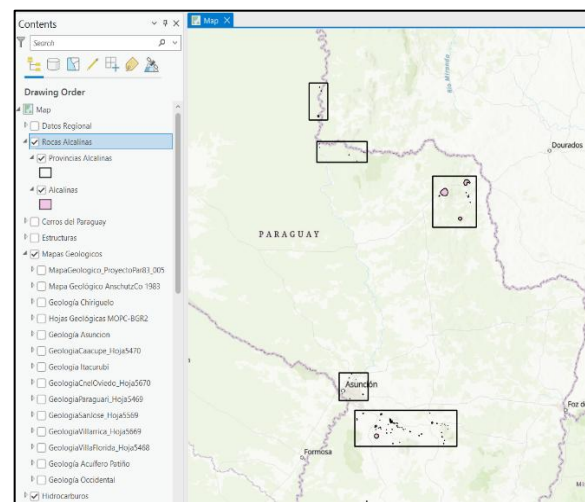


Figura 4.10: Resultado de la digitalización del mapa y búsqueda de provincias alcalinas. Fuente: geologiadelparaguay.com.py

4.1.2. Desarrollo de aplicaciones web para la visualización e interacción de datos

El desarrollo de las aplicaciones web se realizó desde ArcGIS Online, en la cual fueron publicados todos los archivos previamente corregidos y generados en el ArcGIS Pro. En este entorno se configuraron elementos esenciales como los metadatos, la fuente de los datos y las etiquetas temáticas, de manera a facilitar la búsqueda en línea.

Se generaron diez mapas web utilizando los datos procesados en formato Geodatabase, con ajustes específicos en la simbología y atributos para asegurar su fidelidad respecto a las fuentes originales. Cada mapa fue complementado con información descriptiva, incluyendo título, resumen, etiquetas temáticas y referencia de autoría.

Tabla 4.3. ID de los mapas web generadas

| ID | Mapa Web |
|-----------|----------------------------------|
| PG-MW-01 | Geología del Paraguay |
| PG-MW-02 | Mapas geológicos del Paraguay |
| PG-MW-03 | Hidrogeología del Paraguay |
| PG-MW-04 | Minería del Paraguay |
| PG-MW-05 | Mapa de Hidrocarburos |
| PG-MW-06 | Mapa de Suelos del Paraguay |
| PG-MW-07 | Rocas Alcalinas del Paraguay |
| PG-MW-08 | Cerros del Paraguay |
| PG-MW-09 | Explotación de rocas en Paraguay |
| PG-MW-10 | Sismos registrados en Paraguay |

4.1.2.1 Mapa web Geología del Paraguay PG-MW-01

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=b810a0915279451da2992fbd96b0a6a7>

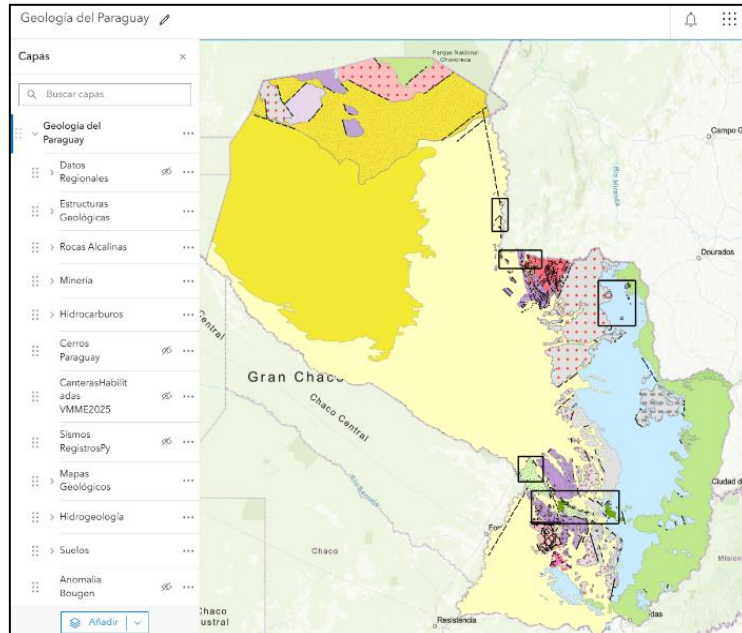


Figura 4.11: Resultado del mapa web de Geología del Paraguay

4.1.2.2 Mapa web Mapas Geológicos del Paraguay PG-MW-02

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=43b2b89b2ead4975a3dbc6fecdd04a458>

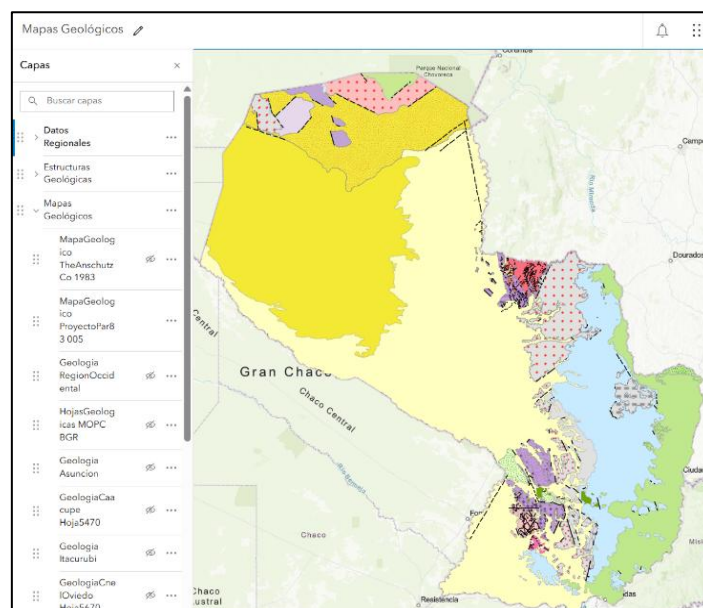


Figura 4.12: Resultado del mapa web de Mapas geológicos.

4.1.2.3 Mapa web Hidrogeología del Paraguay PG-MW-03

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=7614ac64bb3b4174ae801d7333af3711>

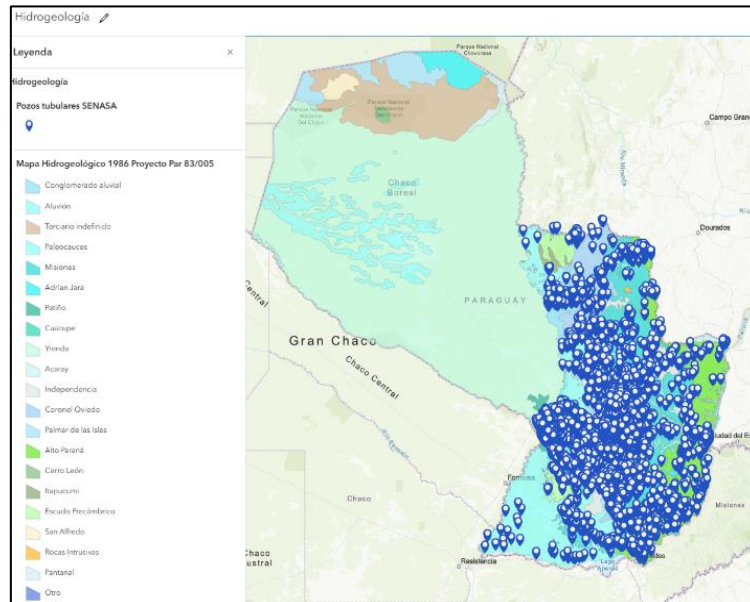


Figura 4.13: Resultado del mapa web de Hidrogeología.

4.1.2.4 Mapa web Minería del Paraguay PG-MW-04

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=4dafb260443048ccbab039e3c26d11bb>

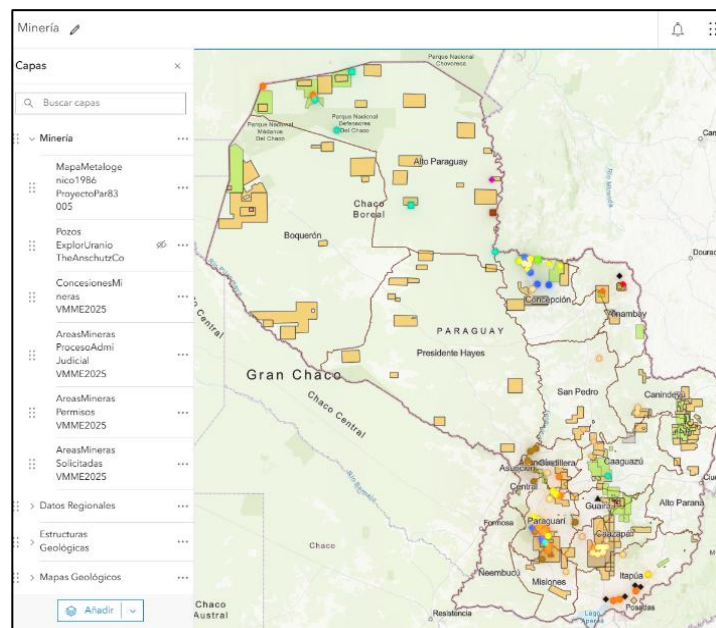


Figura 4.14: Resultado del mapa web de Minería.

4.1.2.5 Mapa web Hidrocarburos del Paraguay PG-MW-05

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=84d83248b65f4b6efa000e3cebeb19b02>

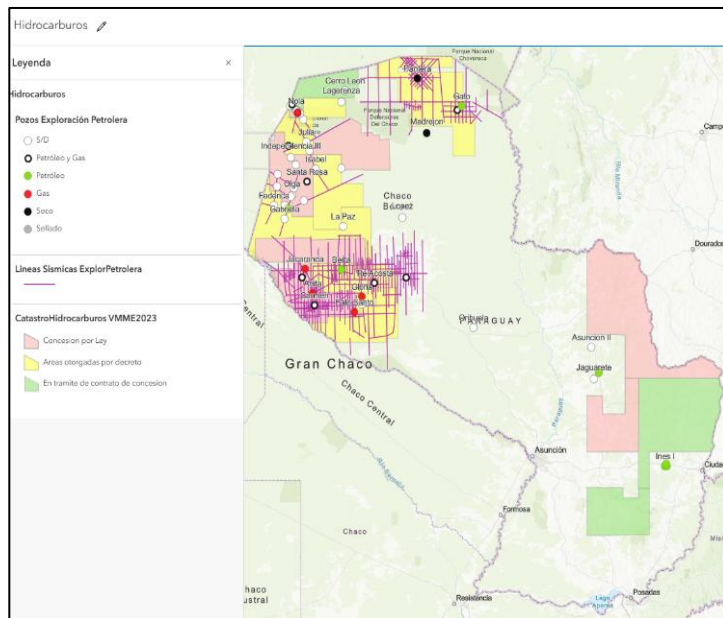


Figura 4.15: Resultado del mapa web de Hidrocarburos.

4.1.2.6 Mapa web Suelos del Paraguay PG-MW-06

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=404f24b290b74271850a580d105b5c30>

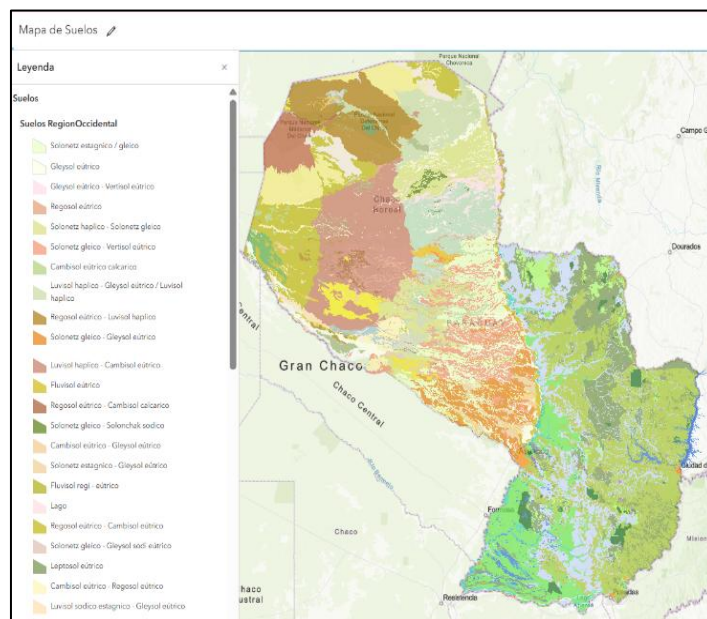


Figura 4.16: Resultado del mapa web de Suelos.

4.1.2.7 Mapa web Rocas Alcalinas del Paraguay PG-MW-07

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=17e906f9f15e499db15f389ab314aef9>

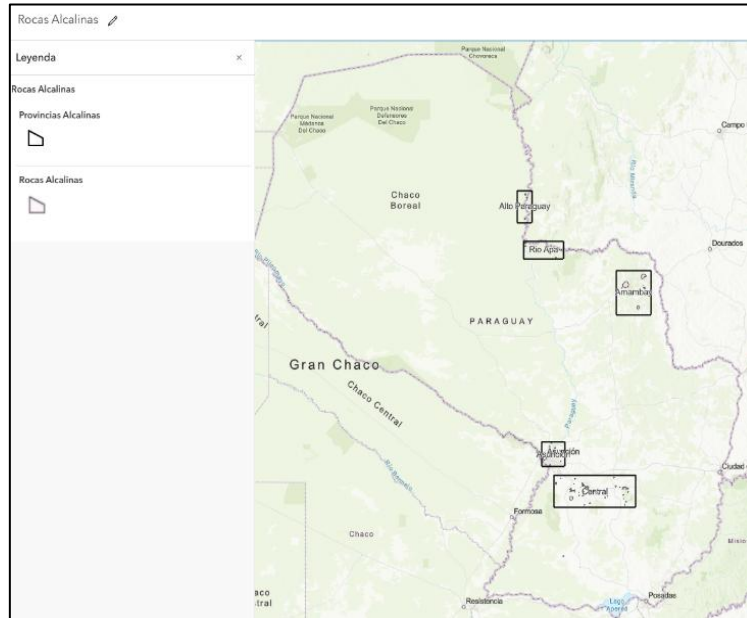


Figura 4.17: Resultado del mapa web de Rocas Alcalinas.

4.1.2.8 Mapa web Cerros del Paraguay PG-MW-08

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=c2f161ff18414ff09e6a59f46dde5920>

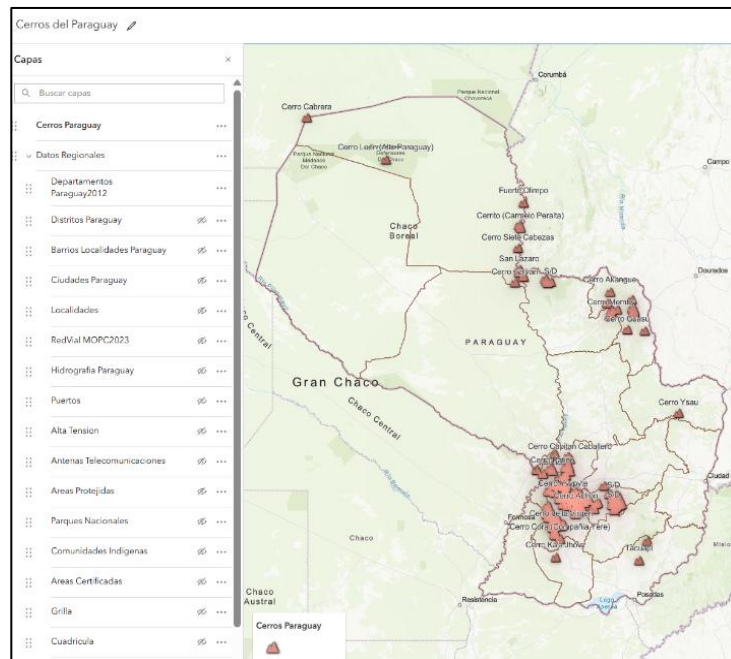


Figura 4.18: Resultado del mapa web de Cerros del Paraguay.

4.1.2.9 Mapa web Explotación de rocas en Paraguay PG-MW-09

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=94873a3b1e854d27a4df5325b48133b4>

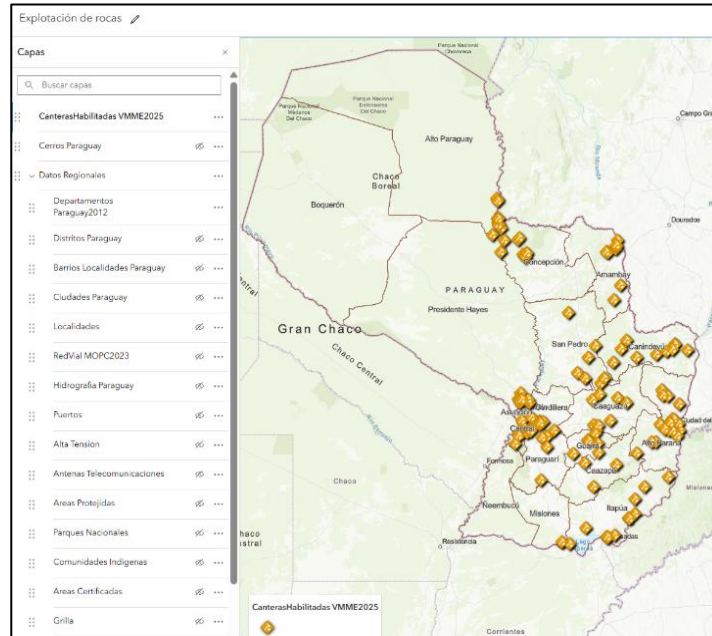


Figura 4.19: Resultado del mapa web de Explotación de rocas.

4.1.2.10 Mapa web Sismos registrados en Paraguay PG-MW-10

Enlace a mapa web:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=85d2105b10b44633b7ca8cd3ed470519>

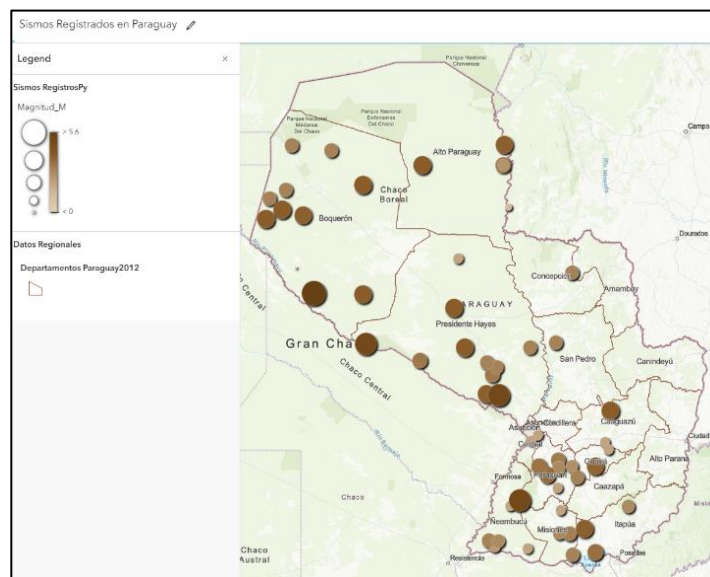


Figura 4.20: Resultado del mapa web de Sismos registrados.

Se desarrollaron tableros dinámicos mediante la aplicación de ArcGIS Dashboards, representando los datos a través de gráficos, indicadores y mapas vinculados. Estos tableros fueron organizados de acuerdo con las distintas temáticas geológicas abordadas.

Tabla 4.4. ID de los tableros generadas

| ID | Tableros |
|----------|----------------------------------|
| PG-TD-01 | Datos Hidrogeológicos |
| PG-TD-02 | Datos Áreas Mineras |
| PG-TD-03 | Datos Hidrocarburos |
| PG-TD-04 | Explotación de rocas en Paraguay |
| PG-TD-05 | Sismos registrados en Paraguay |

4.1.2.11 Tablero con Datos Hidrogeológicos PG-TD-01

Enlace a tablero:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/d6e5e53e67084763bb729f042574c5df>

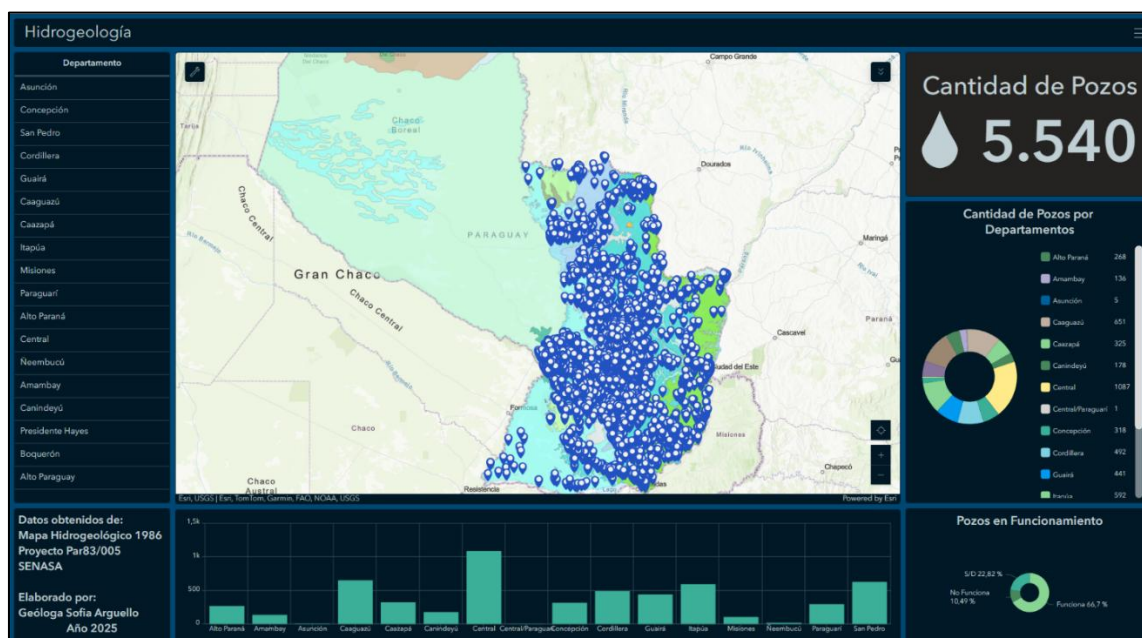


Figura 4.21: Resultado del tablero de Hidrogeología.

4.1.2.12 Tablero con Datos de Áreas Mineras PG-TD-02

Enlace a tablero:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/667e5e3358b248f8b330fd5c7679800f>

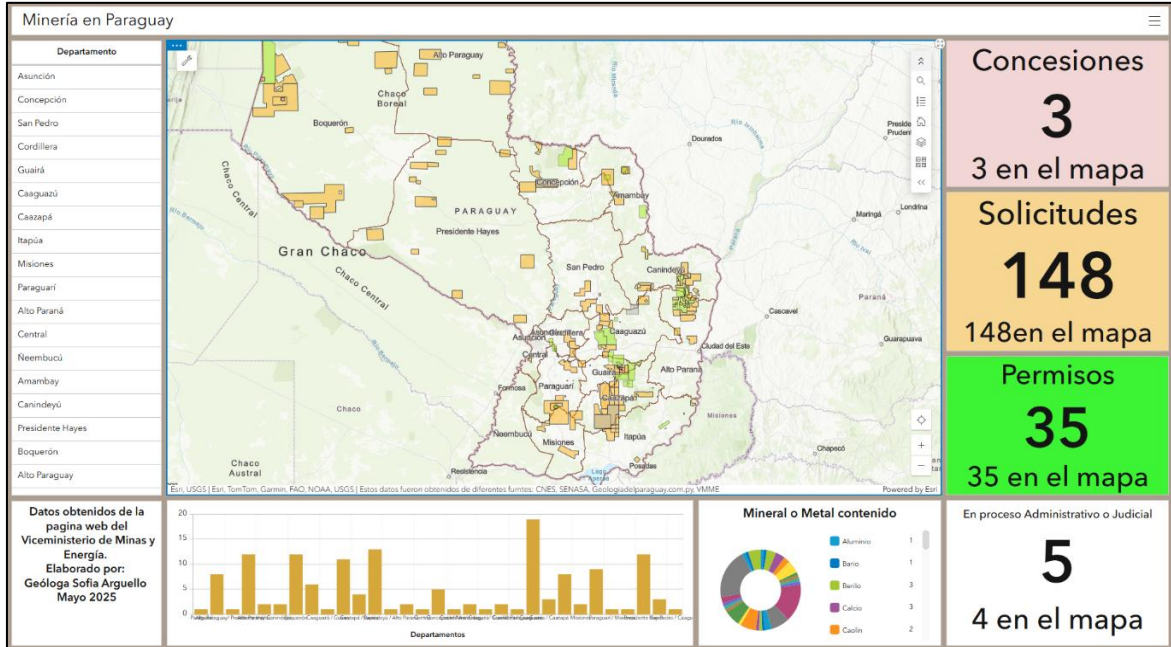


Figura 4.22: Resultado del tablero de Minería.

4.1.2.13 Tablero con Datos de Hidrocarburos en Paraguay PG-TD-03

Enlace a tablero:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/c07ff1adb3b045faadb9dd3877fcee11>

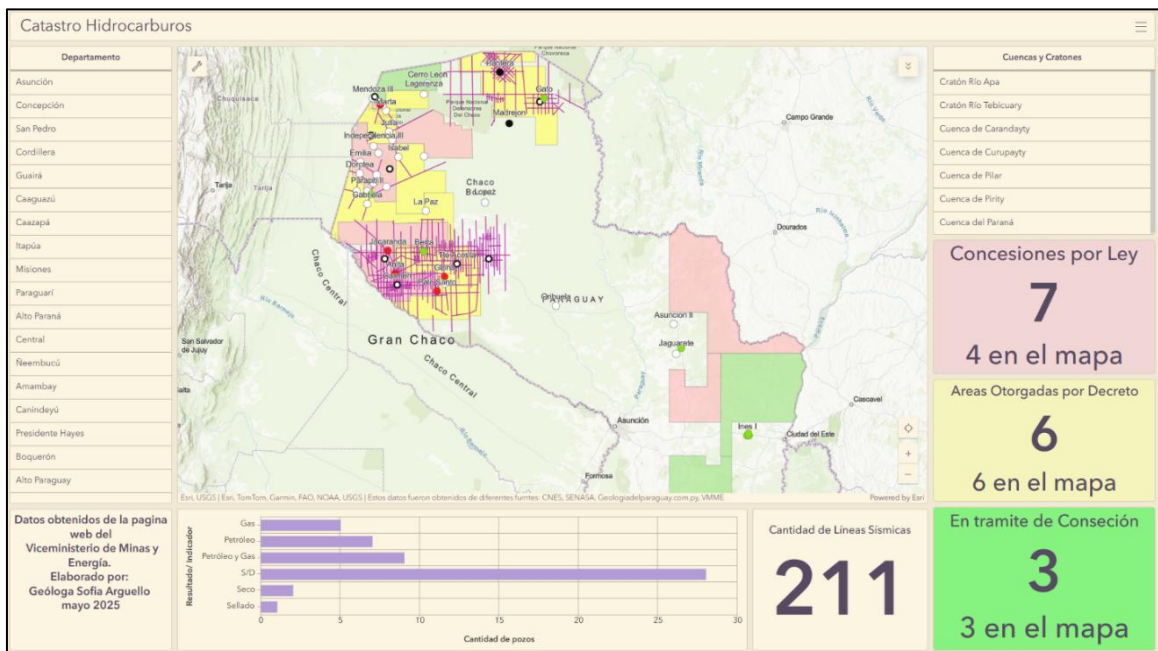


Figura 4.23: Resultado del tablero de Hidrocarburos.

4.1.2.14 Tablero con Datos de Explotación de rocas en Paraguay PG-TD-04

Enlace a tablero:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/eb106657f02340cfac40a36908ab554b>

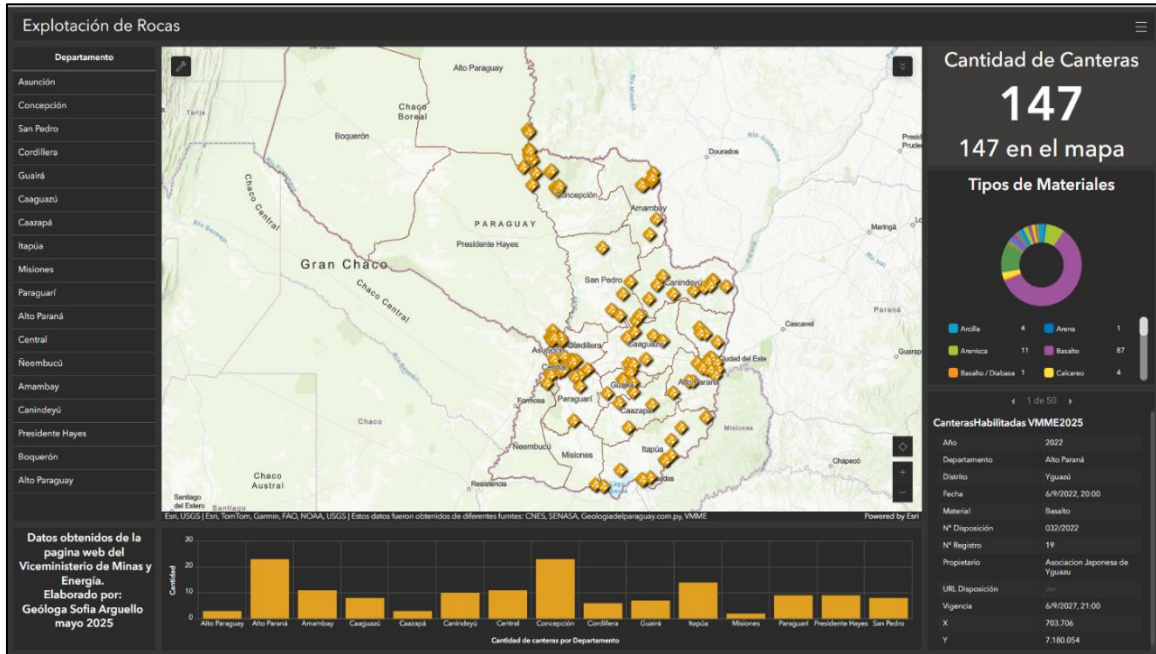


Figura 4.24: Resultado del tablero de Explotación de rocas.

4.1.2.15 Tablero con Datos de Sismos registrados en Paraguay PG-TD-05

Enlace a tablero:

<https://tecnogis.maps.arcgis.com/apps/dashboards/c22876a173664680afe88bf990cd62d3>

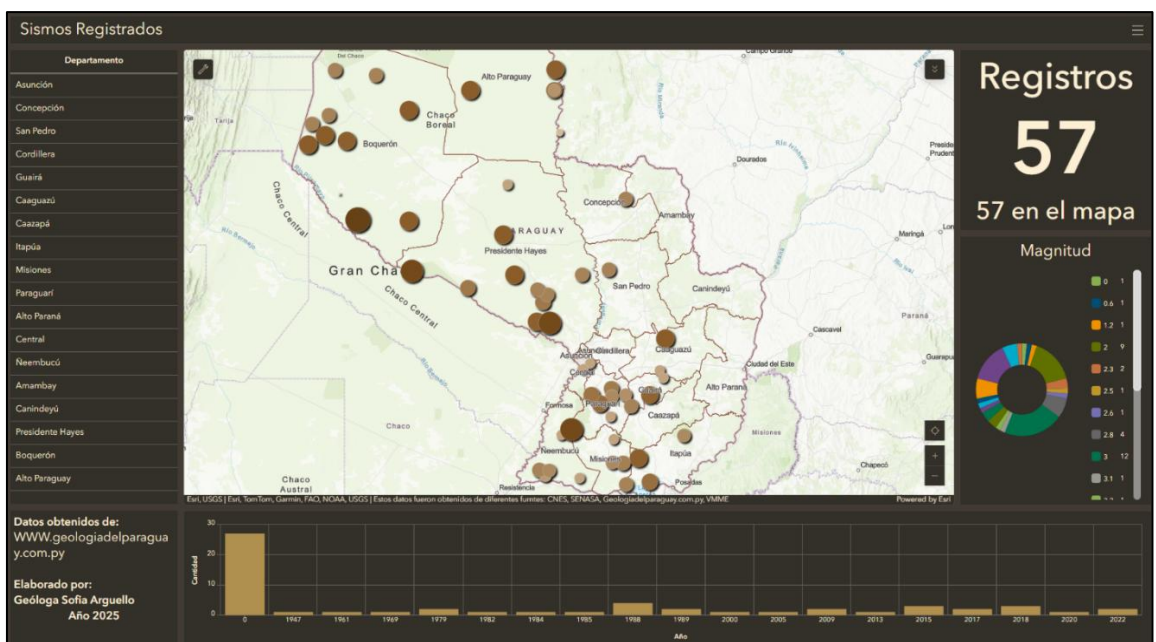


Figura 4.25: Resultado del tablero de Sismos registrados.

Se actualizaron e integraron las aplicaciones interactivas del tipo Story Maps y otras plataformas desarrolladas previamente durante los módulos de la maestría, incorporándolas como contenido complementario al geoportal. Estas aplicaciones ofrecen narrativas visuales e interactivas que enriquecen la experiencia del usuario final.

Tabla 4.5. ID de los story maps generadas

| ID | Tableros |
|----------|---|
| PG-SM-01 | Uso del agua subterránea en el departamento Central |
| PG-SM-02 | Reseña de la Minería en Paraguay |

4.1.2.16 Story maps sobre; Uso del agua subterránea en el departamento Central PG-SM-01

Enlace a story maps:

<https://storymaps.arcgis.com/stories/069b322e3d724d77b773b16fc61a8a7b>



Figura 4.26: Resultado del story maps sobre el Uso del agua subterránea en el departamento Central.

4.1.2.17 Story maps sobre; Reseña de la Minería en Paraguay PG-TD-02

Enlace a story maps:

<https://storymaps.arcgis.com/stories/447489d1d01f433384f726f5f52b4ea7>



Figura 4.27: Resultado del story maps sobre la Minería en el Paraguay.

4.1.3. Creación del portal interactivo

La creación del geoportal se realizó mediante la configuración de la aplicación ArcGIS Hub, utilizando una plantilla prediseñada por ESRI. El portal presenta de manera estructurada los diferentes mapas, capas de información y aplicaciones relacionadas con la geología del Paraguay.

Fue seleccionado un diseño intuitivo, organizado por secciones temáticas. Cada sección incluye descripciones, buscadores por tema, íconos personalizados y enlaces directos a mapas, tableros y capas, con el fin de facilitar la navegación del usuario.



Figura 4.28: Resultado del geoportal con datos disponibles.

Fueron integrados aplicaciones del tipo dashboards, representadas en plantillas que permiten visualizar los datos mediante la incorporación de textos, imágenes, hipervínculos y elementos HTML personalizados, generando así una experiencia de visualización integrada para cada tablero.



Figura 4.29: Resultado del geoportal con aplicaciones disponibles.

Las aplicaciones del tipo Story Maps y otras plataformas relacionadas, fueron personalizadas y actualizadas, incorporándose al geoportal mediante plantillas que contienen información introductoria y enlaces de acceso directo a los contenidos.



Figura 4.30: Resultado del geoportal con otras aplicaciones disponibles.

Fueron incluidos enlaces externos, videos informativos y recursos multimedia, relacionados con la geología en Paraguay, así como pestañas que redirigen a sitios web oficiales y redes sociales de entidades vinculadas al sector.



Figura 4.31: Resultado del geoportal con noticias disponibles.



Figura 4.32: Resultado del geoportal con redes y páginas disponibles.

Se habilitaron pestañas de acceso directo a mapas web, con filtros temáticos y herramientas de navegación que facilitan la exploración por parte del usuario final.



Figura 4.33: Resultado del geoportal con mapas interactivos disponibles.

4.1.4. Difusión de información, archivos procesados en diferentes formatos

Los contenidos del geoportal fueron organizados en función de áreas temáticas geológicas, permitiendo una navegación eficiente y estructurada para distintos tipos de usuarios, tales como investigadores, profesionales del área y afines, estudiantes y público general.

Se implementaron visores interactivos de mapas y fue habilitada la opción de descarga de archivos en diversos formatos abiertos como, CSV, SHP, GDB, KMZ, facilitando su reutilización en proyectos académicos, técnicos y de investigación.

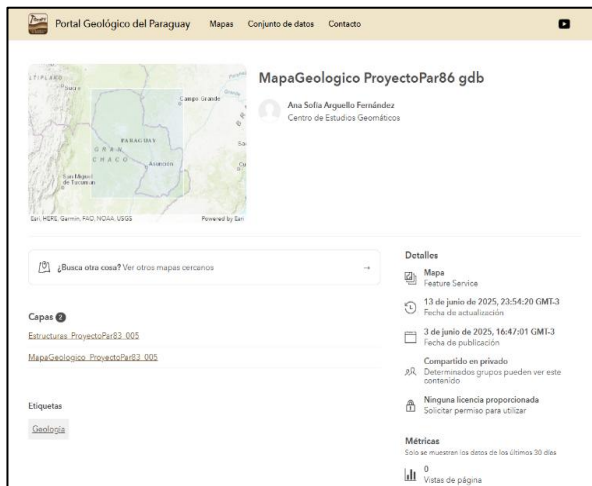


Figura 4.34: Resultado del geoportal con datos disponibles para su descarga.

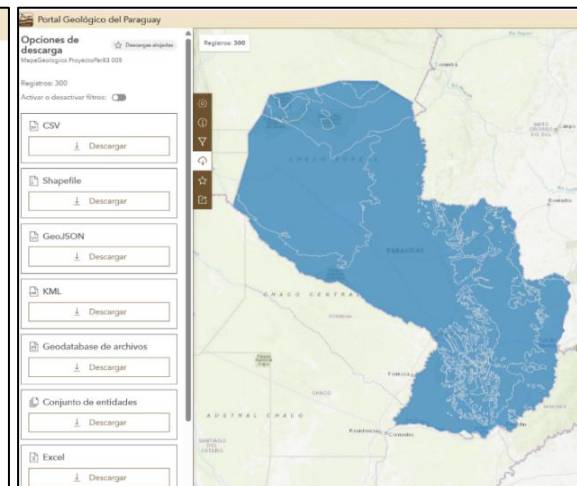


Figura 4.35: Resultado del geoportal con datos disponibles para su descarga.

Finalmente, se definieron aspectos visuales y de identidad del portal, incluyendo la selección de paletas de colores, estilos tipográficos, distribución de secciones y la creación de un logotipo representativo, con el objetivo de garantizar una presentación atractiva del portal.

4.1.4.1. Portal Geológico del Paraguay

Enlace de geoportal:

<https://geologia-py-tecnogis.hub.arcgis.com/>



Figura 4.36: Resultado del geoportal geológico del Paraguay.

4.2 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos evidencian el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos. La recopilación, sistematización y procesamiento de información geológica permitieron consolidar un conjunto estructurado de datos, previamente dispersos y en diversos formatos. A través del uso de herramientas profesionales como ArcGIS Pro, se logró corregir atributos, estandarizar simbologías y generar productos vectoriales a partir de fuentes ráster, garantizando así su reutilización y compatibilidad con entornos SIG.

El desarrollo de aplicaciones web interactivas mediante ArcGIS Online, Dashboards y Story Maps, resultaron fundamentales para la democratización del acceso a la información geológica. Estas aplicaciones no solo cumplen una función técnica, sino también pedagógica, al facilitar la comprensión de fenómenos geológicos mediante visualizaciones dinámicas y narrativas interactivas.

La creación del geoportal interactivo permitió integrar todos los productos generados en una sola plataforma accesible y organizada temáticamente, mediante el diseño, la estructuración en secciones, la incorporación de buscadores, filtros temáticos, enlaces externos y elementos multimedia, configuraron una experiencia de usuario coherente con los principios de las IDE.

La difusión de los productos y la habilitación de descargas en múltiples formatos abiertos, refuerzan el carácter público y reutilizable del portal, en concordancia con los principios FAIR (Localizable, Accesible, Interoperable, Reusable) para la gestión de datos científicos (Wilkinson et al., 2016).

La implementación de IDE en el ámbito geológico sigue siendo escasa en varios países de América Latina. Diversos autores como (Rajabifard et al., 2002; Craglia y Annoni, 2006) destacan que una IDE efectiva debe integrar componentes tecnológicos, normativos, institucionales y humanos, promoviendo la interoperabilidad y el acceso abierto a los datos. En este sentido, el portal desarrollado constituye un avance significativo hacia una IDE temática de geología en Paraguay, al facilitar el acceso libre y la visualización interactiva de datos geoespaciales.

Experiencias internacionales como el National Map del USGS (Estados Unidos), el Geoportal del Servicio Geológico Colombiano o el Geoportal del Instituto Geológico Minero de España, demuestran la importancia de combinar mapas web, dashboards y recursos multimedia para alcanzar distintos perfiles de usuarios, desde investigadores hasta estudiantes y ciudadanos interesados.

Así mismo, la incorporación de herramientas narrativas como Story Maps, ampliamente promovidas por autores como Gatner (2018), responde a una tendencia creciente en el ámbito de la geo comunicación, que busca transmitir contenidos científicos de forma atractiva e intuitiva.

En la metodología implementada se tuvieron presentes las posibilidades de interoperabilidad, así como la estandarización de simbología y atributos que facilitan la lectura visual y la organización temática estructurada que responde a las necesidades de distintos usuarios.

Cabe mencionar que se identificaron algunas limitaciones como la fuerte dependencia de herramientas del ecosistema ESRI, podría representar una barrera para la sostenibilidad a largo plazo del portal, especialmente en contextos institucionales con restricciones presupuestarias o sin acuerdos de licenciamiento.

Existen aspectos que pueden ser optimizados en futuras versiones, la comparación con experiencias internacionales permite validar el enfoque adoptado, al tiempo que se reconocen oportunidades de mejora en cuanto a estándares de interoperabilidad, accesibilidad y evaluación de impacto. Este trabajo representa una contribución significativa al fortalecimiento de las infraestructuras de datos espaciales temáticas en el país, con potencial de réplica y crecimiento.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del geoportal de datos abiertos geológicos del Paraguay representa una contribución significativa al fortalecimiento de las capacidades digitales en el manejo de la información geoespacial del país. A lo largo del presente trabajo, se logró cumplir con los objetivos específicos propuestos, mediante la consolidación de un conjunto de datos previamente dispersos y heterogéneos, empleando herramientas profesionales como ArcGIS Pro para garantizar la estandarización y reutilización.

Las aplicaciones web interactivas implementadas, incluyendo dashboards y story maps, demostraron ser efectivas no solo en la visualización de los datos, sino también en la transmisión de contenido técnico de manera accesible y comprensible para distintos perfiles de usuarios. Estas herramientas, integradas en un portal web temáticamente organizado, facilitaron una experiencia de usuario coherente con los principios de las IDE, permitiendo acceder a información geológica y minera de forma abierta, ordenada y visualmente atractiva.

La difusión en formatos abiertos y la aplicación de los principios FAIR para la gestión de datos científicos refuerzan el carácter público, reutilizable e interoperable del portal. Asimismo, la comparación con experiencias internacionales permitió validar el enfoque metodológico y tecnológico adoptado, al tiempo que puso en evidencia la necesidad de continuar avanzado en aspectos clave como la estandarización de metadatos y la sostenibilidad tecnológica.

El desarrollo de la información geológica en el Paraguay ha sido posible gracias a la articulación entre instituciones del Estado, universidades nacionales y organismos internacionales, que impulsaron proyectos conjuntos de investigación, mapeo y caracterización del territorio. Este modelo de cooperación interinstitucional se presenta como una base sólida para futuras acciones, especialmente en el contexto actual de avances tecnológicos que ofrecen nuevas herramientas para la generación, análisis y difusión de datos geoespaciales. Potenciar esta colaboración, aprovechando las facilidades que brindan las plataformas digitales, resulta fundamental para continuar ampliando el conocimiento geológico nacional y su acceso público.

El geoportal desarrollado no solo cumple una función técnica, sino también estratégica al facilitar el acceso abierto a la información geológica del Paraguay, promover la investigación científica y contribuir a la consolidación de una IDE temática en el ámbito geológico y minero nacional.

Es fundamental fomentar la capacitación continua en tecnologías de información geográfica y fortalecer la cooperación interinstitucional entre el estado, las universidades y los organismos internacionales, de modo a dar continuidad a los procesos de actualización de la información geológica.

Se recomienda e insta a las instituciones públicas, académicas y técnicas del Paraguay a avanzar en la institucionalización de iniciativas de datos abiertos geoespaciales, priorizando la sostenibilidad tecnológica y la adopción de estándares internacionales. Asimismo, se propone fomentar la capacitación continua, mediante programas académicos y de investigación, la ampliación del contenido temático, incorporando capas específicas sobre otras áreas de interés nacional, de manera a no solo dar continuidad al trabajo realizado, sino también proyectarlo como una base sólida para futuras iniciativas de mayor alcance, orientadas a consolidar una infraestructura nacional de datos geoespaciales abierta, interoperable y al servicio del conocimiento y la toma de decisiones en el país.

6. REFERENCIAS

- Gadea, M. (s.f.). Geología del Paraguay. <https://www.geologiadelparaguay.com.py>
- Viceministerio de Minas y Energía. (s.f.). <https://www.ssme.gov.py>
- Arias Sánchez, R. M. (2017). *Desarrollo de un GeoPortal utilizando ArcGIS Online con datos del área de salud en el Ecuador* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana. Repositorio Institucional.
- Manríquez, J., García, P., Pedreira, J. Á., Candaosa, G., Álvarez, S., Ferpozzi, F., ... Marín, G. (2017). El SIGAM: desarrollo de un sistema de información geológico ambiental minero para gestión de datos en el ámbito estatal. *Memorias y Boletines de la Universidad del Azuay*, 1(XVI), 81–88. <https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXVI.51>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing* (NIST Special Publication 800-145). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>
- Femeval. (2008). *Cloud computing. i-Creo*, 2.
- Esri. (2019). *Seguridad en ArcGIS Online*. Environmental Systems Research Institute. <https://doc.arcgis.com/es/security/>
- ESRI. (2023). *ArcGIS Online: guía del usuario*. <https://doc.arcgis.com>
- Sarria, L. (2019). *Sistemas de información geográfica: fundamentos y aplicaciones*. Editorial Académica Española.
- Bravo, J. (2000). *Breve introducción a la cartografía de voces utilizadas por los mineros de Iberoamérica*. CSIC.
- Batista, M., González, C., & Ramírez, J. (2014). *Sistemas de información geográfica aplicados a la geología y minería*. Editorial Geociencias.
- Proyecto PAR 83/005. (1986). *Mapa geológico del Paraguay 1:1.000.000. Texto explicativo y mapa geológico*. PNUD-MDN.
- Gómez, D. (1986). *Contribución al conocimiento geológico del Chaco Paraguayo*. Proyecto Sistema Ambiental del Chaco (PSAC), Cooperación Técnica Paraguayo Alemana (BGR), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).
- Fúlfaro, V. J., Saad, A. R., & Cordani, U. G. (1982). *Tectônica e evolução geológica da Bacia do Paraná*. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(3), 137–146.
- Fúlfaro, V. J. (1996). *Geología del Paraguay Oriental: Magmatismo alcalino en Paraguay Central-Oriental. Relaciones con magmatismo en Brasil*. Edusp/Fapesp.

- Harrington, H. J. (1950). *Geología general del Paraguay*. Boletín del Instituto de Geología y del Petróleo, Universidad Nacional de La Plata.
- Harrington, H. J. (1956). *Geología del Paraguay*. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 11(4), 197–232.
- Eckel, E. B. (1959). *Geology and mineral resources of Paraguay: A reconnaissance* (Professional Paper 327, 110 p.). United States Geological Survey.
- Putzer, H. (1962). *Die Geologie von Paraguay* (Beitrage Reg. Geol. Erde, BD. 2, 183 p.). Berlin. [Consultado en Dionissi, A. (1999)]
- Dionissi, A. (1999). *Mapa geológico de la República del Paraguay. Hoja Caacupé 5470, texto explicativo*. Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Instituto Federal de Geociencias y Recursos naturales (BGR).
- Escolano, S. (2015). *Sistema de Información Geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía*. Prensa de la Universidad de Zaragoza.
- UNIGIS Girona. (2017). *Software SIG*. <https://www.unigis.es/software-sig/>
- Harmon, J., & Anderson, S. (2003). *The design and implementation of geographic information systems*. John Wiley & Sons, Inc.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2021). *Estadística sobre la gestión de derechos mineros*. <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/informes-publicaciones/1329087-estadistica-sobre-la-gestion-de-derechos-mineros>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (s.f.). *Concesiones mineras*. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CE5D603E7719B66A05257E3B00573A04/\\$FILE/Concesiones_Mineras.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/CE5D603E7719B66A05257E3B00573A04/$FILE/Concesiones_Mineras.pdf)
- Medina, D. (2017). Empleo de sistemas de información geográfica para el análisis de problemas espaciales. *Revista Ciencia, Innovación y Tecnología (RCIYT)*, 3. Colombia.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*. OSGeo. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Rigol, J. P. (2000). *Aplicación de sistemas de información geográfica y teledetección en exploración minera* (Tesis doctoral). Universidad de Granada.
- Rivera, R., Ávila, L., & Aparicio, R. (2024). *Aplicación web para optimizar el proceso de petitorios y concesiones mineras en el sector minero artesanal* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/671733>
- Servicio Geológico Colombiano. (2024, febrero 29). *Glosario de términos*. <https://www2.sgc.gov.co/atencionalciudadano/lists/glosario%20de%20terminos/allitems.aspx>

- Wiens, F. (1984). *El Precámbrico paraguayo*. I Simposio Nacional Geológico, Asunción.
- Yeung, A. K., & Hall, B. V. (2007). *Spatial database systems: Design, implementation and project management* (Vol. 87). Springer Science & Business Media.
- Craglia, M., & Annoni, A. (2006). INSPIRE: An innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(4), 563–575.
- Gartner, G. (2018). Storytelling in Cartography and GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 389.
- Masser, I. (2005). *GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures*. ESRI Press.
- Rajabifard, A., Feeney, M.-E. F., & Williamson, I. P. (2002). Future directions for SDI development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 11–22.
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Diseño de investigación: enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto* (3.^a ed.). Pearson Educación.
- Anschutz Corporation. (1983). Geological map of eastern Paraguay 1:500.000.
- MAG/BGR. (1999). Proyecto sistema ambiental del chaco. Ministerio de Agricultura y Ganadería / Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Naciones Unidas – PNUD (1986). Mapa hidrogeológico, Proyecto Par 83/005.
- MAG/Banco Mundial. (s.f.). *Proyecto de Racionalización de Uso de la Tierra*. Ministerio de Agricultura y Ganadería / Banco Mundial.
- MAG/BGR. (2009). *Proyecto Sistema Ambiental de la Región Occidental (SARO)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería / Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Dirección del Servicio Geográfico Militar. (s.f.). *Mapa de la Dirección del Servicio Geográfico Militar*.
- Fariña, S., Cáceres, M., & Bordón, A. (2018). *Mapa hidrogeológico del Sistema Acuífero Yrenda en Paraguay*. Servicio Geológico del Paraguay.
- Velázquez, V., Gomes, C., Orue, D., Comin-Chiaramonti, P. (1996). *Magmatismo Alcalino do Paraguai: Uma revisao e atualizacao das provincias*. Bol.IG-USP, Ser. Cient., 27:61-79.

- Ministerio de Defensa Nacional, Comisión Nacional de Desarrollo Integrado del Chaco y NNUU/DTCD. (1986). *Mapa metalogénico del Paraguay, Escala 1:2000.000.*
- González, M. (1998). *Mapa geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000. Hoja San José 5569, texto explicativo.* Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).
- González, M., Cubas, N. (2001). *Mapa geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000. Hoja Villarrica 5669, texto explicativo.* Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Sistema ambiental de la Región Oriental (MAG), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).
- Cubas, N., Garcete, A., Meinhold, K. (1998). *Mapa geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000. Hoja Villa Florida 5468, texto explicativo.* Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).
- González, M., Bartel, W. (1998). *Mapa geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000. Hoja Paraguari 5469, texto explicativo.* Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Instituto Federal de Geociencias y Recursos naturales (BGR).
- González, M. (1999). *Mapa geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000. Hoja Coronel Oviedo 5670, texto explicativo.* Dirección de Recursos Minerales (MOPC), Instituto Federal de Geociencias y Recursos naturales (BGR).