

Desarrollo de un buscador en línea de unidades litoestratigráficas del Ecuador

Development of a web search tool for lithostratigraphic units in Ecuador

Andrea Verónica Albán Villacreces¹, Juan Diego Jijón Valdivieso¹,
Jessica Estefanía Constante Arguello¹

¹ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito – Ecuador.
E-mail: andrea.alban@geoenergia.gob.ec, juan.jijon@geoenergia.gob.ec,
jessica.constante@geoenergia.gob.ec

ISSN: 2661-6998



Fecha de recepción: 26-01-2024

Fecha de aceptación: 30-07-2024

Resumen

El objetivo del presente trabajo es construir el primer buscador en línea de unidades litoestratigráficas de Ecuador. La línea base de las unidades litoestratigráficas cuenta con evidencias científicas proporcionadas por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) e instituciones antecesoras. El buscador se desarrolló en el entorno de programación R, estableciéndose los parámetros para la identificación de coincidencias de cadenas de caracteres en la matriz de la línea base de las unidades litoestratigráficas. Además, se realizó una encuesta a usuarios de geología regional y cartografía geológica para medir el impacto de la aplicación en su trabajo profesional. Los resultados demuestran que la aplicación web tiene amplia aceptación en el ámbito geológico, donde el 100 % de los encuestados recomienda su utilización.

Palabras clave: Unidades Litoestratigráficas, Buscador Web, Geología Regional, Cartografía Geológica, Estratigrafía.

Abstract

The aim of the present work is to develop the first lithostratigraphic unit search tool in Ecuador. The foundational framework for lithostratigraphic units is substantiated by scientific evidence provided by the Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) and its predecessor institutions. The search tool was developed in R programming environment, establishing parameters to identify characteristic patterns within the matrix of lithostratigraphic units. Moreover, the impact of the web application was methodically gauged through a survey targeting professionals specializing in regional geology and geological cartography. The results indicate widespread acceptance of the developed web application, with 100 % of surveyed professionals recommending its use.

Keywords: Lithostratigraphic Units, Search Tool, Regional Geology, Geological Cartography and Stratigraphy.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la publicación del primer mapa geológico del Ecuador en el año de 1892, realizado por el Dr. Theodor Wolf, el conocimiento geológico del país tomó un papel importante en el desarrollo económico y en la mejora de la calidad de vida de los ecuatorianos, debido principalmente al nuevo conocimiento del territorio que permitió identificar y aprovechar los recursos naturales del país [1].

Con el creciente interés por la búsqueda y aprovechamiento de los recursos minerales durante el siglo XX, enfocado a la exploración de hidrocarburos y metales económicamente rentables, se obtuvo nueva y mejor información que incrementó el conocimiento geológico, así como, el detalle en el conocimiento estratigráfico en el Ecuador [2].

Esta información fue compilada en léxicos estratigráficos del Ecuador, tales como [2]-[4]; así también, como mapas geológicos de la República del Ecuador (Wolf, 1982; SNGM-IFP, 1969; DGGM-IGS, 1982; CODIGEM-BGS, 1993; e INIGEMM, 2017) [1], [5]-[7] y en programas cartográficos desarrollados con asistencia técnica, realizados a varias escalas.

Sin embargo, en las últimas dos décadas, proliferaron las unidades informales en la cartografía geológica oficial, al aceptar el uso y reconocer el término genérico “unidad”, lo que provocó incertidumbre en la categoría de las unidades dentro de la jerarquía estratigráfica; como se menciona en el Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador [4].

En el 2014 inició el proyecto Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano que, siguiendo el legado de las instituciones que lo precedieron, el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), continúa con la actualización de la carta geológica nacional a escala 1:100 000, acarreado la informalidad en el establecimiento de las unidades estratigráficas, la definición indiscriminada de nuevas unidades geológicas y la consiguiente incertidumbre en cuanto al modelo geológico de evolución.

Ante la problemática del uso de unidades informales en la cartografía oficial y sus inconvenientes inherentes, en el año 2016, se publica en el Registro Oficial N° 864, el documento “Estandarización de Abreviación, Simbolización y Formato de Base de Datos para Cartografiado Geológico, versión 1.2” y que posteriormente el IIGE lo actualizó con el nombre de “Estándares de Nomenclatura Estratigráfica,

Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica versión 2.0”, publicado en el Registro Oficial N° 163 en diciembre de 2019, el cual contiene los principios y fundamentos estratigráficos usadas a nivel internacional. Así también, define y explica la importancia del uso de los lineamientos para establecer, revisar, redefinir y/o abandonar unidades estratigráficas formales.

Con la normativa vigente se han discriminado nuevas unidades litoestratigráficas, definidas en las hojas geológicas recientes, considerando su importancia como base de la cartografía geológica y su definición como cuerpos rocosos, estratificados o no, que se definen y caracterizan con base en sus propiedades litológicas y a sus relaciones estratigráficas [8]. Estas nuevas unidades se han recopilado y centralizado junto a las unidades históricas formales e informales mencionadas en mapas geológicos e informes técnicos generados por el IIGE e instituciones antecesoras. Considerando que, las unidades litoestratigráficas son las unidades básicas.

El objetivo de esta aplicación es servir como fuente de consulta para estudiantes, docentes e investigadores nacionales y extranjeros, para evitar la duplicidad de nombres ya existentes o la asignación de diversos rangos dentro de la jerarquía litoestratigráfica para una unidad geológica. Así también, permite difundir su nomenclatura, incluyendo además información sobre el rango jerárquico que posee, una breve explicación geológica básica y para las unidades informales, su relación dentro de la jerarquía estratigráfica con las unidades formales, lo cual, permite una mejor comprensión del contexto geológico del Ecuador.

Entendiendo la necesidad de asegurar la estabilidad de la nomenclatura estratigráfica a nivel nacional, a través del uso de una terminología formal que promueva la definición y asignación de nombre de las unidades estratigráficas de acuerdo con normas establecidas y reconocidas internacionalmente, desde 2019 el IIGE ha coordinado un grupo de trabajo de carácter técnico-científico denominado Comisión Ecuatoriana de Estratigrafía (CEE), encargado de proponer soluciones a problemas estratigráficos a nivel nacional. La finalidad de este organismo es el de promover, fomentar y difundir el conocimiento, progreso y aplicación de la estratigrafía a nivel nacional [9].

El presente trabajo detalla el desarrollo del aplicativo del buscador en línea de Unidades Litoestratigráficas del Ecuador, el cual fue programado en software libre y cuyos insumos se basan en las unidades litoestratigráficas recopiladas de proyectos e iniciativas priorizadas por el IIGE. Además, se cuantifican los impactos de la

aplicación con encuestas a profesionales e investigadores que laboran en áreas de geología regional y cartografía geológica.

2. METODOLOGÍA

El buscador en línea de las Unidades Litoestratigráficas del Ecuador se desarrolló utilizando el ciclo de Deming con un enfoque de mejora continua. La metodología se divide en cuatro etapas: Planificar, Hacer, Validar, Actuar.

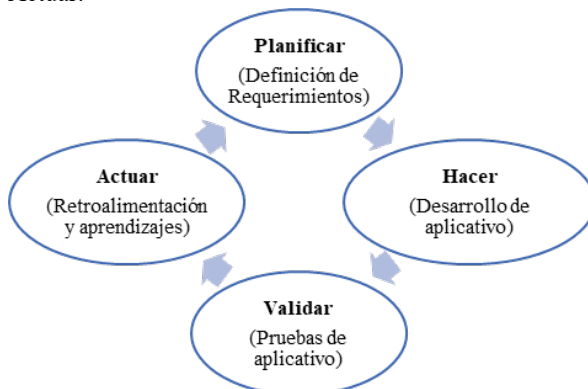


Figura 1. Diagrama de los componentes del buscador de unidades litoestratigráficas.

2.1. Definición de requerimientos del buscador en línea de unidades litoestratigráficas del Ecuador

El objetivo del buscador de unidades litoestratigráficas es ser una fuente de consulta digital, de fácil actualización, dinámico, de fácil manejo, que permita la adición de información complementaria como imágenes o fotografías y que permita uniformidad en cuanto a la nomenclatura de cada una de las unidades geológicas.

En este sentido, para el desarrollo del buscador se establecieron cuatro requerimientos:

- Estructurar una tabla de datos con información oficial de las unidades litoestratigráficas resultantes del procesamiento de información cartográfica e informes técnicos elaborados por el IIGE y entidades antecesoras.
- Diseñar una interfaz en software libre que sea amigable e intuitiva para los usuarios, que se conecte con la tabla de datos estructurada.
- Permitir el acceso a la interfaz del buscador de Unidades Litoestratigráficas en línea, en modo lectura, sin requerir de la instalación del buscador en un dispositivo.
- Permitir la actualización de la base de datos cuando se requiera, en modo edición.

2.2. Desarrollo del buscador en línea de unidades litoestratigráficas del Ecuador

2.2.1. Línea Base y estructuración de tabla de datos

La línea base se refiere a toda la información que alimenta al buscador en línea, compuesta por las unidades litoestratigráficas formales e informales del Ecuador.

En el IIGE, el equipo técnico levantó una línea base de unidades litoestratigráficas del Ecuador, las cuales consideran una gran cantidad de bibliografía que identifica 369 Unidades [10]-[66], distribuidas en rangos, como es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 1. Rangos establecidos en las unidades litoestratigráficas formales e informales del Ecuador

Rango de unidad litoestratigráfica	Número de Unidades
Grupo	9
Formación	125
Miembro	10
Unidad	174
Volcánicos	38
Complejo	5
División	1
Otros	7
Total	369

Las unidades contienen información sobre su nombre, las abreviaturas de la edad geológica y la relación jerárquica entre unidades, si existiese. Toda esta información se encuentra acompañada de una breve reseña geológica, la cual incluye, los autores que definieron y discriminaron la unidad litoestratigráfica, estratotipo o afloramiento tipo, litología, relación estratigráfica con las unidades adyacentes, edad geológica y el ambiente de formación.

Los nombres de las unidades estratigráficas se encuentran definidos según los “Estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para la cartografía geológica, versión 2.0”. En el documento se señala que “los nombres de la mayoría de las unidades estratigráficas formales deben formarse de un vocablo apropiado que indique el tipo y rango de la unidad estratigráfica combinado con un término geográfico” [67], [68]. Además, las unidades litoestratigráficas informales no siguen normas para su definición y establecimiento, donde la nomenclatura aplicada es arbitraria [69].

La tabla de datos que sube al repositorio se estructuró con cinco campos que se obtienen de la línea base levantada en el IIGE. Los campos y la información que se presenta en el buscador se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Campos de la tabla estructurada para el buscador en línea de Unidades Litoestratigráficas del Ecuador

Campo	Descripción
Rango	Nombre del rango de la unidad
Unidad Litoestratigráfica	Detalla el nombre de la unidad
Abreviatura de Edad	Simbología de la edad de la unidad
Abreviatura de nombre	Simbología del nombre de la unidad
Descripción	Reseña geológica de la unidad

La tabla estructurada fue guardada en un archivo con extensión .csv y fue cargado en el Repositorio GitHub [70], con la finalidad de que se pueda hacer las consultas en línea desde la interfaz, en modo lectura. Para las actualizaciones de la base de datos, se realizan las modificaciones en el archivo tabla de datos y se carga nuevamente al repositorio, en modo edición. La información geológica reciente es incluida en los mapas geológicos y memorias técnicas; a la par, los responsables de la generación de los mapas geológicos en el IIGE solicitan por correo electrónico la actualización de la información con los debidos respaldos científicos y técnicos, para ser incluidos en el buscador en línea de Unidades Litoestratigráficas.

2.2.2. Diseño de la Interfaz del buscador de unidades litoestratigráficas

El buscador se diseñó y compiló sobre software libre y código abierto, los cuales son listados a continuación.

- “R Project for Statistical Computing”, versión 4.2.0 del año 2022 [71].
- RStudio versión 2022.02.3+492 "Prairie Trillium" para sistemas Windows 64 bits [72].
- Librería de R Shiny, versión 1.7.2 [73].
- Servidor de nube operado por RStudio, shinyapps.io versión gratuita [74].

La Figura 2 muestra los componentes del buscador de Unidades Litoestratigráficas.

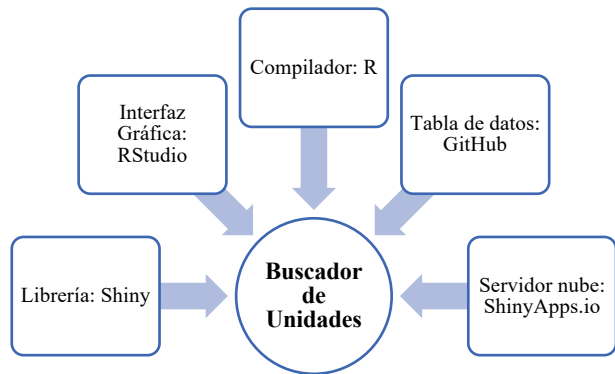


Figura 2. Diagrama de los componentes del buscador de Unidades Litoestratigráficas.

La aplicación web programada en R es cargada sobre la versión libre del repositorio de shinyapps.io [74]. La opción libre de shinyapps, permite cargar cinco aplicaciones y un uso de 25 horas por cada mes. En esta versión se configuró un tiempo de un minuto previo al apagado de la aplicación. Esto permite que la aplicación web no esté activa en momentos que los usuarios no se encuentren utilizándola.

El proceso que cumple el buscador de Unidades Litoestratigráficas se lo puede observar en la Figura 3.

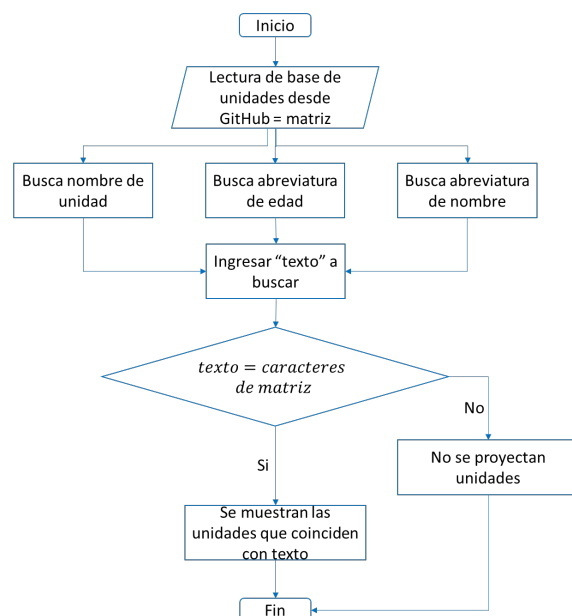


Figura 3. Diagrama de flujo de la funcionalidad de la aplicación.

El código en R se ha estructurado en tres funciones:

Función importar: Importa la tabla del repositorio GitHub a la interfaz del buscador.

Función buscador: Realiza la búsqueda en la tabla de datos de unidades litoestratigráficas, según el “*texto*” y la opción de búsqueda seleccionada, las cuales son: nombre de unidad litoestratigráfica, abreviatura de edad y abreviatura de nombre.

En la Figura 3, si el “*texto*” es vacío, el resultado de la búsqueda será toda la base de unidades litoestratigráficas.

La comparación entre el texto y los caracteres de la matriz de unidades se lo realiza con la función “*grepl*” [75]. Los textos que son buscados en la base de unidades, siguen el procesamiento indicado en (1).

$$\begin{aligned} \acute{a}e\acute{i}o\acute{u} &= aeiou \\ ABC \dots XYZ &= abc \dots xyz \end{aligned} \quad (1)$$

La conversión de caracteres con tilde se lo realiza con la función “*chartr*” [76], lo cual permite identificar a vocales con tilde o sin tilde por igual. No se consideran otros caracteres especiales en el campo “*texto*”, sin embargo, la tabla de unidades litoestratigráficas incluye caracteres especiales en nombre de la unidad o abreviatura de edad.

Función Principal: Se encarga de proyectar la interfaz gráfica del buscador. El diseño propuesto incluye dos secciones como se observa en la Figura 4, donde la sección uno incluye:

- Un botón radial para que el usuario seleccione las opciones de búsqueda en la matriz de unidades litoestratigráficas del Ecuador.
- Un campo del texto donde el usuario ingresa la información a buscar en la tabla de datos.
- Una nota informativa para guiar al usuario si desea acceder a todos los datos de las unidades
- Un enlace para acceder a la bibliografía.

La sección dos de la interfaz muestra la tabla de datos con los resultados de la búsqueda.

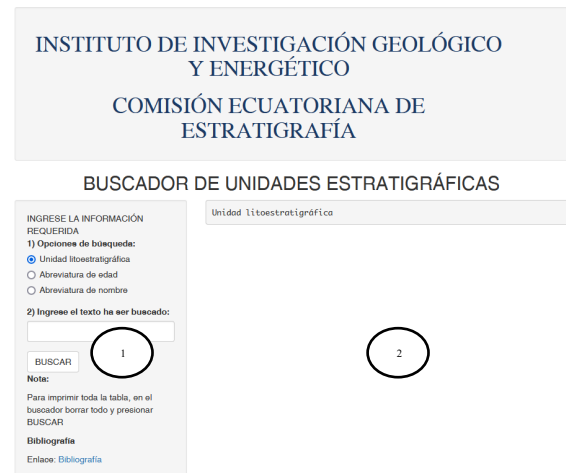


Figura 4. Interfaz gráfica del aplicativo web buscador de Unidades Estratigráficas.

2.3. Pruebas del buscador de unidades litoestratigráficas del Ecuador

Las pruebas del diseño de la interfaz se realizaron con la versión compilada en R y subida al repositorio de shinyapp.io.

El buscador se evaluó para cada una de las opciones de búsqueda que tiene disponible el usuario, de tal forma que se verifique que la base datos coincida con lo solicitado en el campo “*texto*”.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento de la aplicación en diferentes navegadores web, como Mozilla, Google Chrome y Microsoft Edge. Además, la aplicación se corrió en celulares con sistemas operativos Android y iOS, con el fin de verificar la funcionalidad del aplicativo y su operatividad en diferentes dispositivos.

2.4. Retroalimentación y aprendizajes

Para evaluar el uso y utilidad del buscador, se midieron los impactos en el sector geológico mediante encuestas, donde la muestra se realizó con profesionales e investigadores del Instituto de Investigación Geológica y Energética. Las encuestas se formularon en línea, en Google Forms y la invitación se envió mediante correo electrónico [77].

La muestra consistió en consultar a 30 profesionales e investigadores en ámbitos geológicos sobre la utilización y aplicabilidad de la herramienta desarrollada, de los cuales respondieron 21. Las preguntas formuladas en la encuesta se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Preguntas de la encuesta para retroalimentación del buscador

Preguntas
1. ¿Con qué frecuencia usa la aplicación web Buscador de Unidades Estratigráficas? a) Semanal b) Mensual c) Trimestral d) Semestral e) No la he usado
2. ¿Es la interfaz del Buscador de Unidades Estratigráficas fácil de usar?
3. La información que contiene el Buscador de Unidades Estratigráficas es: a) Útil b) Medianamente útil c) Inútil
4. ¿Usted está satisfecho con la información que proporciona Buscador de Unidades Estratigráficas?
En caso que su respuesta sea negativa en la pregunta anterior indicar el por qué
5. Cuando usted ha realizado un aporte a la información que contiene el Buscador de Unidades Estratigráficas, la actualización de este ha sido: a) Rápida b) Normal c) Lenta
6. Teniendo en cuenta su experiencia con la aplicación web Buscador de Unidades Estratigráficas, ¿Recomendaría su uso a algún colega?
En caso que su respuesta sea negativa en la pregunta anterior indicar el por qué
7. ¿Qué recomendación daría para mejorar la aplicación web Buscador de Unidades Estratigráficas?

Cada una de las preguntas entrega información sobre la utilidad de la herramienta para visualizar la línea base de las unidades litoestratigráficas y el manejo del buscador desarrollado. El tratamiento de la información obtenida mediante la encuesta en línea consistió en gráficas estadísticas y cuadros procesados con los datos que deberán ser mejoradas en la actualización a una nueva versión.

3. RESULTADOS

3.1. Pruebas del buscador de Unidades Litoestratigráficas.

Se comprobó el funcionamiento del buscador de Unidades Litoestratigráficas para la opción de búsqueda “Unidad litoestratigráfica”. Se tomó como ejemplo el texto “yung”, el cual se aprecia en la Figura 5.

INGRESE LA INFORMACIÓN REQUERIDA

1) Opciones de búsqueda:

- Unidad litoestratigráfica
- Abreviatura de edad
- Abreviatura de nombre

2) Ingrese el texto a ser buscado:

yung

BUSCAR

Nota:

Para imprimir toda la tabla, en el buscador borrar todo y presionar BUSCAR

Bibliografía

Enlace: [Bibliografía](#)

Figura 5. Criterio de búsqueda en el buscador de Unidades Litoestratigráficas.

Al presionar el botón “BUSCAR”, se imprime la lista de unidades que coinciden con el conjunto de caracteres ingresados en el criterio de la Figura 5. Los nombres de las unidades que cumplen el diagrama de flujo de la Figura 3 son: “Yunguilla”, “Tununyunga” y “Yunga (Saraguro)”. Como se observa en las unidades seleccionadas de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 6, el buscador sigue la ecuación (1), aunque la forma de escritura del texto como “yung” o “YUNG”, la tabla imprimirá el mismo resultado. El resultado incluye la palabra “Tununyunga”, la cual contiene el texto buscado desde el sexto carácter, por lo que la aplicación realiza la búsqueda del texto bajo el nombre de toda la unidad.

Rango	Unidad litoestratigráfica	Abreviatura de edad	Abreviatura de nombre	Descripción
Formación	Yunguilla	K	Y	(Thalmann, 1946). El afloramiento tipo se localiza a 3 km al oeste de Nono, en la carretera Nono – Nanegal, en el sector de Yunguillas (Bristow y Hofstetter, 1977). Consiste en limolitas masivas gris oscuras, cherts pelágicos y areniscas cuarzo feldespáticas de grano fino de grano fino, bien sorteadas con limolitas y lutitas finas; restringidas al borde oriental de la cordillera Occidental (Vallejo, 2007; Vallejo, y otros, 2019). Su espesor es desconocido, pero se estima entre 1200 y 1500 m (Steinmann, 1997). Está en contacto fallado con la Unidad Pallatanga y con la Formación Cizarán (Vallejo, 2007). Interpretada como una secuencia de abanico turbidítico marino distal con presencia de fauna foraminífera del Maestrichtiano (Wilkinson 1996; Vallejo, 2007).
Unidad	Tununyunga	MPL	Ty	(INGEMM r, 2017) Unidad litoestratigráfica antes cartografiada como parte de la Formación Santa Isabel. Se encuentra mejor expuesta en Tununyunga (UTM WGS-84: 660 000 E; 9 629 326 N). Está constituida principalmente por tobos polifásicos y tobos de cristales de composición dacítica. Estratigráficamente esta unidad cubre discordantemente a las rocas metamórficas de la División Melange Palenque, unidad Taqui y unidad Quera Chico, y hacia el noreste subyace en discordancia a la unidad Ligcho, mientras que, al noroccidente subyace en discordancia a la unidad Ligcho. Su espesor alcanza los 200 m. De acuerdo con sus relaciones estratigráficas a esta unidad se le asigna una edad Mioceno-Plioceno (INGEMM r, 2017; HGE d, 2019).
Unidad	Yunga (Saraguro)	O	Y	(INGEMM p, 2017) El afloramiento tipo se localiza en las cercanías del poblado San Pedro de Yunga (UTM WGS-84: 724 116 E; 9 668 325 N). Esta unidad corresponde a depósitos volcánicos cartografiados anteriormente por Pratt y otros (1997) como Grupo Saraguro indiferenciado. Se trata de una secuencia volcánica/volcanoclástica, ácida, formada por flujos andestíticos a dacíticos, ignimbritas vítreas y tobos andestíticos a dacíticos. Se infiere un contacto tectónico con la Formación Yunguilla, a través de la falla El Laurel y yace en discordancia bajo los miembros Virgen de la Nube, El Carmen y Chaparro. La unidad Yunga estaría asociada a fases explosivas y proximales del arco volcánico Saraguro. Se le atribuye una edad Oligoceno (INGEMM p, 2017).

Figura 6. Resultado al buscar el nombre de la unidad “yung” en el buscador de Unidades Litoestratigráficas.

Como se observa en la Figura 6, el buscador imprime el rango y nombre la unidad, la abreviatura de edad y nombre, seguido con la descripción de la unidad litoestratigráfica y las referencias utilizadas para determinarla y está de acuerdo con lo revisado en la base de datos.

Al igual que en el anterior caso, se realizó la búsqueda con la opción “Abreviatura de edad” con el texto “kp”, lo cual arroja el siguiente resultado.

Rango	Unidad litoestratigráfica	Abreviatura de edad	Abreviatura de nombre	Descripción
Formación	Guayaquil	KPC	Gy	(Thalmann, 1946). La localidad tipo está en la cantera (UTM PSAD-56: 622 397 E; 9 758 800 N) frente al puente sobre el estero Salado. Está conformada por calizas silíceas intercaladas con cherts, tobas silíceas oscuras y en menor cantidad delgadas capas de arena turbidítica. Localmente la roca puede ser reemplazada completamente por sílice. La sedimentación de las turbiditas debió ser costánea con la fuente distal de la actividad volcánica. El contacto con la Formación Cayo es gradacional y el contacto superior con la Formación San Eduardo es discordante con hato erosional. Se estima una potencia de 400 m (Bristow y Hoffstetter, 1977; Jaillard, y otros, 1995). Estudios paleontológicos de radiolarios indican que la base de la Formación Guayaquil son de edad Maestrichtiano y el tope corresponde al Paleoceno temprano (Ordoñez, 2007). La Formación Guayaquil puede contener los sedimentos más antiguos de composición silícea en todo el antearco ecuatoriano (Witt, y otros, 2018).
Formación	San Lorenzo	KPC	Sl	(Jaillard, y otros, 1995) La localidad tipo se ubica en los acantilados de Puerto Cayo. Estudios anteriores la inculca dentro de la Formación Cayo. Está conformada por flujos basálticos, basaltos columnares, hialoclastitas y lavas almohadilladas asociados con conglomerados volcánoclasticos. Esta formación se encuentra interdigitada con las rocas de la Formación Cayo y en contacto tectónico con la Formación Pallatanga. Datos geológicos y geoquímicos indican que la Formación San Lorenzo indican una asociación con un arco de un arco de islas erosionado. Dataciones radiométricas K/Ar dan edades entre 87 – 54 Ma correspondiente al Cretácico superior al Paleoceno, además, estudios paleontológicos indican microfósiles del Maestrichtiano (Jaillard, y otros, 1995; Luzueu, Heller, Spikings, Vallejo, y Winkler, 2006).
Formación	Tena	KPC	T	(Ribadeneira, 1942) La localidad tipo se localiza alrededor de la ciudad de Tena (Bristow y Hoffstetter, 1977). Está conformada por una serie de lutitas y limolitas algo calcáreas, abigarrada, mayormente rojas a Marrone, con horizontes verdes en la parte inferior. Areniscas cuarzosas oclaras se encuentran en la base y el tope. Se notan bancos de calizas o margas arenosas y pseudo oolíticas. Los contactos inferior y superior de la Formación Tena son discordancias no angulares con las unidades litoestratigráficas adyacentes. El espesor de la formación es variable y se reduce de sur (800m) a norte (400 m), y en la zona subandina, de oeste (1000 m) a este (272 m). El estudio del contenido fósil indica una edad del Maestrichtiano al Paleoceno, además señalan una alternancia de medio marino, salobre y de aguas dulces (Jaillard, 1997).

Figura 7. Resultado al buscar la abreviatura de edad con el texto “kp” en el buscador de Unidades Litoestratigráficas.

El buscador en línea de unidades litoestratigráficas muestra tres resultados que coinciden con el conjunto de caracteres ingresados. La edad que cumple el criterio de búsqueda es “KPC” que coincide para tres unidades litoestratigráficas. Este resultado está de acuerdo a lo revisado en la base de datos.

Además, se realizó la búsqueda con la opción “Abreviatura de nombre” con el texto “An”. El resultado se muestra en la Figura 8.

Rango	Unidad litoestratigráfica	Abreviatura de edad	Abreviatura de nombre	Descripción
Grupo	Ancón	E	An	(Williams, 1947) Tena el nombre de la playa Ancón, en Santa Elena (Bristow y Hoffstetter, 1977). Corresponde a una secuencia monótona clásica de origen continental, localmente deformada. Se estima un espesor de 1000 a 1500 m (Jaillard, y otros, 1995). El Grupo Ancón se subdivide en 3 formaciones: Saca, Socorro y Clay Pablos Bed. En varios trabajos también se incluye a la Formación Punta Ancón. Se estima que su edad es del Eoceno medio con base en estudios paleontológicos (Bristow y Hoffstetter, 1977).

Figura 8. Resultado al buscar la abreviatura de nombre con el texto “An” en el buscador de Unidades Litoestratigráficas.

En este caso, el buscador en línea de unidades litoestratigráficas muestra un resultado que coincide con el conjunto de caracteres ingresados. La abreviatura de nombre que cumple el criterio de búsqueda coincide con la unidad litoestratigráfica Ancón. Este resultado está de acuerdo a lo revisado en la base de datos.

Las pruebas para los navegadores web: Mozilla, Google Chrome y Microsoft Edge se muestran en la Figura 9, donde se puede apreciar que no existe variación en la presentación y funcionamiento de la interfaz del buscador en línea de unidades litoestratigráficas.

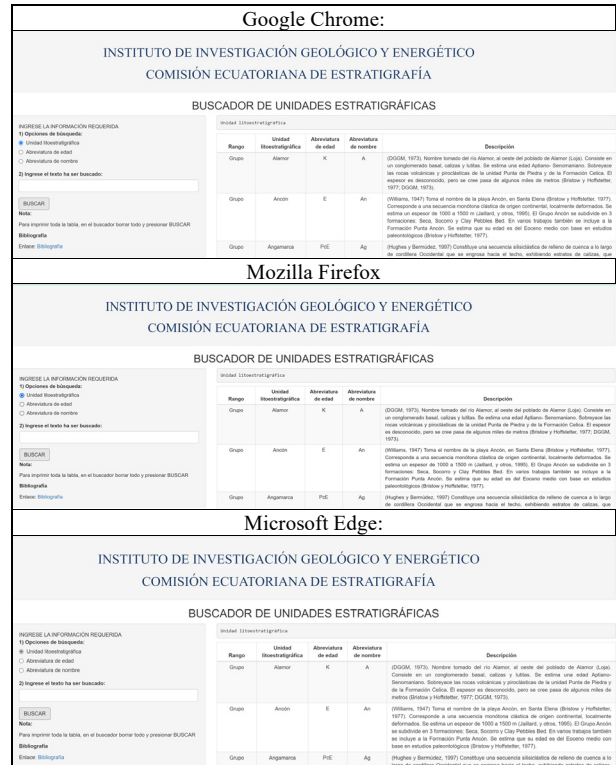


Figura 9. Resultados de las pruebas del buscador de unidades litoestratigráficas para diferentes navegadores web.

Por otro lado, se realizó pruebas del funcionamiento de la interfaz del buscador en teléfonos Android y iOS. Los resultados se presentan a continuación.

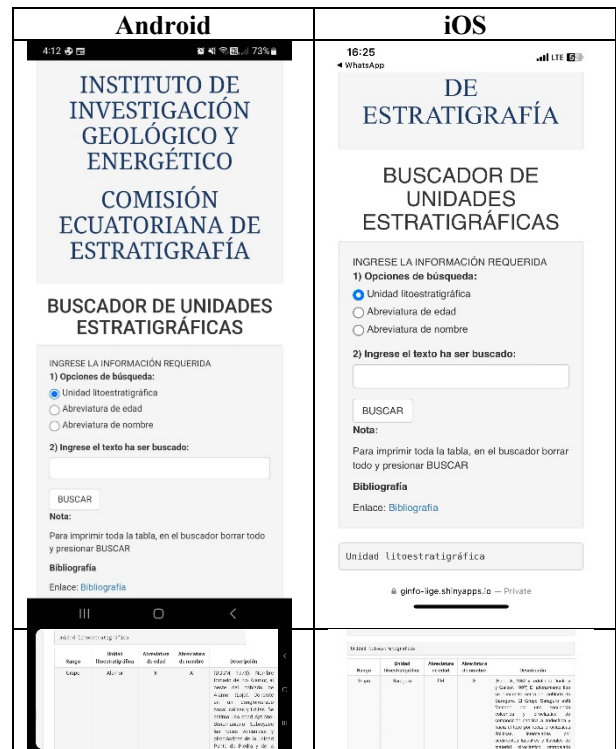


Figura 10. Resultados de las pruebas del buscador de unidades litoestratigráficas para celulares Android y iOS.

El uso de la aplicación entre el 1 de enero al 24 de febrero de 2024 fue de 14.8 horas, como se puede observar en la Figura 10. A medida que el tiempo aumente y supere las 25 horas al mes, se deberá implementar una solución para el cambio de repositorio de Shiny. Una solución es utilizar un servidor propio para ofrecer el servicio de forma masiva y continua.

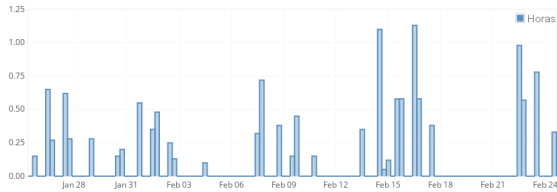


Figura 11. Horas de utilización mensual del buscador de unidades litoestratigráficas en el mes de febrero de 2024.

El código del aplicativo no se encuentra disponible en línea para su descarga o modificación. El buscador en línea de unidades litoestratigráficas está disponible en el siguiente enlace:

Enlace: https://ginfo-iige.shinyapps.io/Buscador_Geologia/

2.5. Evaluación del funcionamiento de la aplicación web

El procesamiento de las encuestas, con las preguntas establecidas en la Tabla 3, se realizó pregunta a pregunta, con el objetivo de obtener la retroalimentación del funcionamiento y utilización del buscador en línea de unidades litoestratigráficas.

En relación a la pregunta 1, sobre la frecuencia de uso de la aplicación, el resultado es presentado en la Figura 12.

Pregunta 1

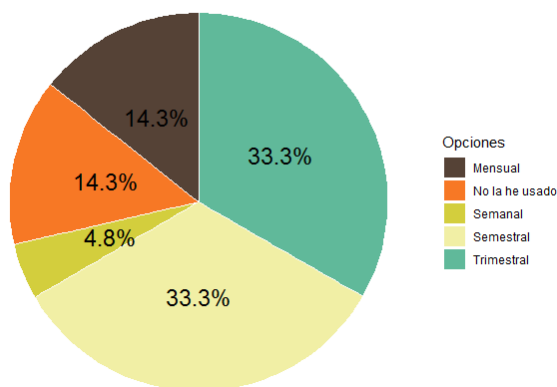


Figura 12. Frecuencia de uso de la aplicación buscador de unidades litoestratigráficas.

La frecuencia con la que es utilizada la aplicación, en su mayoría es de carácter trimestral y semestral.

En la pregunta 2, sobre la facilidad al usar la aplicación, el 90.5 % de los encuestados respondió de forma afirmativa.

En la pregunta 3, sobre la utilidad de la información del buscador, el 66.7 % mencionó que es útil y el porcentaje restante afirma que es medianamente útil. En la pregunta 4, el 81 % de los usuarios se encuentra satisfecho con la información del buscador en línea de unidades litoestratigráficas, en tanto que, un 19 % manifiesta lo contrario. El 19 % manifestó la razón por la que no se encuentra satisfecho, donde las principales ideas se mencionan a continuación:

- Se desea que el aplicativo incluya simbología, colores y tramas.
- Detallar información sobre litología y edades.

En la pregunta 5, se consulta a los usuarios su percepción sobre la rapidez con la que se actualiza la información geológica reciente, aportada por profesionales/investigadores, al buscador en línea de unidades litoestratigráficas, obteniéndose los siguientes resultados: el 81 % de los usuarios considera que el tiempo de actualización es normal, el 9,5 % lo considera rápido, en tanto que, el 9,5 % lo percibe como lenta.

En relación a la utilidad de la herramienta de búsqueda en la estratigrafía nacional y el apoyo que ha brindado a los usuarios en geología regional, los resultados de la pregunta 6, muestran una percepción positiva de los usuarios, donde el 100 % de los consultados recomendaría el uso del buscador en línea de unidades litoestratigráficas.

La última pregunta de la encuesta permitió recolectar las diferentes recomendaciones o mejoras para su utilización, con lo cual se identificó los aspectos a considerar en la actualización de versión del buscador en línea de unidades litoestratigráficas en el código fuente. Las recomendaciones se listan a continuación.

Tabla 4. Recomendaciones para el buscador en línea de unidades litoestratigráficas

No.	Recomendación
R1	Socializar el buscador. Usar espacios de difusión para compartir el estándar, mapas y otros documentos geológicos.
R2	Ampliar y actualizar la información sobre afloramiento tipo, ubicación, dataciones, litologías, geoquímica, ambiente. La información actualizada o ampliada que sea notificada de forma pública a todos los usuarios.
R3	Eliminar la restricción de tiempo de la aplicación, la cual se cierra después de un minuto sin uso.
R4	Descarga o impresión de la información de la unidad estratigráfica.
R5	Incorporar un buzón de sugerencias para retroalimentar la aplicación.

Los porcentajes de cada una de las recomendaciones se encuentran expresados en el gráfico de barras de la Figura 13.

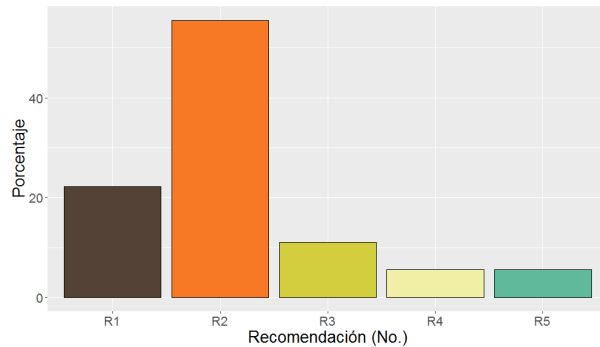


Figura 13. Distribución de recomendaciones realizadas al buscador de unidades litoestratigráficas.

2.6. Discusión

De acuerdo con los resultados de la encuesta realizada, se ha demostrado que esta aplicación web es útil y práctica para profesionales interesados en consultar información estratigráfica del Ecuador. Esta base de datos es centralizada y sencilla de actualizar, por lo que, constituye una fuente de consulta de las unidades litoestratigráficas definidas y descritas en las últimas dos décadas en los mapas geológicos y memorias técnicas realizados por el IIGE (2018-actualidad), Instituto Nacional de Investigación Geológico, Minero, Metalúrgico (2009-2018), Servicio Geológico Nacional (2008-2009), Dirección Nacional de Geología (1999-2008); y de trabajos anteriores, recabando información de las unidades litoestratigráficas históricas reconocidas y descritas en mapas geológicos oficiales.

Tomando en cuenta que el último documento que compilaba la información estratigráfica a nivel nacional se publicó en el año 2000 con el nombre de Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador, el cual, se enfocó en divulgar los nombres y definiciones de las unidades litoestratigráficas descritas en el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), el Buscador de unidades litoestratigráficas se convierte en el único medio que divulga información oficial sobre la estratigrafía nacional.

El buscador de unidades litoestratigráficas constituye una herramienta de gran utilidad para la consulta de las unidades estratigráficas y su información inherente, la cual, en su segunda fase, será actualizada por las subcomisiones temáticas ad hoc de la CEE, cuando estas se encuentren operativas, permitiendo difundir la información estratigráfica oficial de manera fácil, inmediata y confiable tanto para alumnos, académicos, profesionales geólogos y de Ciencias de la Tierra, así como también, a personas interesadas en el ámbito estratigráfico del país.

Con ello, también se garantiza que la información geológica, al ser analizada por un grupo de expertos que conforman las Subcomisiones temáticas ad hoc de la CEE, tenga un alto grado de aceptabilidad entre la academia, profesionales e investigadores del país, así también, se evita que la información geológica se encuentre sesgada a favor de una opinión de un investigador en particular.

4. CONCLUSIONES

El 100 % de los usuarios encuestados recomendarían el uso del aplicativo web, lo cual permite encontrar caminos para que la iniciativa pueda ir creciendo en el futuro, incluyendo apps para teléfonos inteligentes y que no requiera de una conexión a internet para el despliegue de los datos.

La aplicación web del buscador de unidades litográficas del Ecuador realizó una fase de prueba con funcionarios del IIGE, mostrando que el interés por responder la encuesta de la población referencial fue el 70 %. Además, permitió recopilar los requerimientos por parte de los especialistas del IIGE, los que se encuentran especificados en la sección 2.1. Como parte de la evaluación continua del software, se considerarán los requerimientos consolidados en la Tabla 4.

El número de consultas simultáneas que se realiza en la aplicación web no afectan su rendimiento. Las limitaciones del aplicativo están vinculadas al número de horas asignadas en el repositorio libre de Shiny, como fue demostrado en el uso del buscador.

El uso de la herramienta web permitirá que se divulgue toda la información litoestratigráfica nacional que es validada por el Instituto de Investigación Geológico y Energético.

La matriz con la base de datos se encuentra cargada en el repositorio de GitHub, la que permite cambios de texto o añadir tablas en formato de texto sobre el aplicativo. Los cambios que se realizan en la matriz de datos de GitHub se reflejan en el aplicativo de forma instantánea.

La cantidad de usuarios en la fase de pruebas registró un tiempo de uso entre el mes de enero y febrero de 2023 de 14.08 horas, por lo que, si el tiempo empieza a subir en una fase de socialización, la aplicación deberá cargarse en el servidor del IIGE.

No hay restricciones de uso vinculadas a cargar el buscador en línea de unidades litoestratigráficas en los diferentes navegadores web disponibles a los usuarios.

5. RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones de los encuestados, se pudo observar que la socialización de la aplicación es uno de los temas más importantes, la cual tuvo un porcentaje del 22 % y la recomendación con mayor porcentaje fue de actualizar y ampliar la base de unidades, incluyendo nuevos campos. Esto permite identificar la siguiente actualización de la aplicación, incluyendo todas las sugerencias resumidas en la Tabla 4.

Actualizar la versión del código del buscador en línea una vez por año, con el fin de incluir información a mayor detalle de las unidades como: mapas, reportes e información que pueda ser relevante para la Comisión Ecuatoriana de Estratigrafía (CEE).

Desarrollar la vinculación del buscador en línea con un servidor, con el fin de que la aplicación pueda soportar un mayor número de consultas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente artículo agradecen el apoyo al Dr. Arturo Egúez Delgado por sus aportes científicos al iniciar con la compilación de las unidades litoestratigráficas del Ecuador, la cual es la base de datos referencial del buscador de unidades litoestratigráficas.

Los autores del presente artículo agradecen al Instituto de Investigación Geológico y Energético, por el soporte técnico y acceso a bases de datos que fueron fundamentales para la elaboración del presente trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] T. Wolf, *Geografía y geología del Ecuador*, 1st ed., vol. 1. Leipzig: F. A. Brockhaus, 1892.

[2] R. Hoffstetter and T. Feininger, “Lexique stratigraphique international: Amérique Latine. Ecuador,” 1977.

[3] R. Hoffstetter, “Lexique stratigraphique international, Amérique Latine - Équateur,” *Congrés géologique international-Commission de stratigraphie*, vol. V, no. fascicule 5a, pp. 1–210, 1956.

[4] P. Duque, *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador*, 1st ed. Quito, Ecuador: CODIGEM-BGS, 2000.

[5] IIGE, “Mapa Geológico de la República del Ecuador escala 1:1 000 000.” Accessed: Apr. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>

[6] SNGM and Institut Français du Petrole, “Mapa geológico de la República del Ecuador escala 1 1’000.000.” Accessed: Apr. 26, 2024. [Online]. Available: <https://acortar.link/i2J1qo>

[7] DGGM and Institut o Geological Science, “Mapa geológico Nacional de la República del Ecuador escala 1 1’000.000.” Accessed: Apr. 26, 2024. [Online]. Available: <https://acortar.link/DJOLLB>

[8] S. R. Serra and R. Ortiz, “Guía estratigráfica internacional: Versión abreviada,” *Revista de la Sociedad Geológica de España*, ISSN 0214-2708, Vol. 14, N° 3-4, 2001, pág. 269, vol. 14, no. 3, p. 269, 2001.

[9] “Primera reunión de la Comisión Estratigráfica Ecuatoriana – Instituto de Investigación Geológico y Energético.” Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/primera-reunion-de-la-comision-estratigrafica-ecuatoriana/>

[10] Y. Deniaud, “Evolucion tectono-sedimentaria de las cuencas costeras neogenas del Ecuador,” 1998.

[11] D. Hungerbühler, “Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications,” 1997. doi: 10.3929/ethz-a-001880021.

[12] D. Hungerbühler *et al.*, “An integrated study of fill and deformation in the Andean intermontane basin of Nabón (Late Miocene), southern Ecuador,” *Sedimentary Geology*, vol. 96, no. 3–4, pp. 257–279, 1995, doi: 10.1016/0037-0738(94)00137-J.

[13] D. Hungerbühler *et al.*, “Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador,” *Earth-Science Reviews*, vol. 57, no. 1–2, pp. 75–124, 2002, doi: 10.1016/S0012-8252(01)00071-X.

[14] E. Jaillard, G. Laubacher, P. Bengtson, A. V Dhondt, and L. G. Bulot, “Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador,” *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 51–68, 1999, doi: 10.1016/S0895-9811(99)00006-1.

[15] E. Jaillard *et al.*, “Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times,” *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 9, no. 1-2 SPEC. ISS., pp. 131–140, 1996, doi: 10.1016/0895-9811(96)00033-8.

[16] E. Jaillard *et al.*, “Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during Late

- Cretaceous-Late Eocene time,” *Petroleum Basins of South America*, pp. 615–631, 1995, doi: <https://doi.org/10.1306/M62593>.
- [17] J. B. Kennerly, “Geology of Loja Province Southern Ecuador,” 1973.
- [18] R. A. Hughes and L. F. Pilatasig, “Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador,” *Tectonophysics*, vol. 345, no. 1–4, pp. 29–48, 2002, doi: [10.1016/S0040-1951\(01\)00205-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00205-0).
- [19] I. E. de Minería (INEMIN), “Mapa geológico Sucúa escala 1:100 000,” 1989.
- [20] E. Jaillard, “Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretácico y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Ecuador,” *Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCION*, vol. 1, 1997.
- [21] N. Jiménez, M. Ordóñez, and G. Montenegro, “Bioestratigrafía de las Formaciones Viche y Angostura del Neógeno de la cuenca Esmeraldas, Ecuador: Sitios fosilíferos y edades obtenidas,” 2007.
- [22] L. Luzieux, F. Heller, R. Spikings, C. Vallejo, and W. Winkler, “Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence,” *Earth and Planetary Science Letters - EARTH PLANET SCIENCE LETTERS*, vol. 249, pp. 400–414, 2006, doi: [10.1016/j.epsl.2006.07.008](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008).
- [23] W. McCourt, P. Duque, and L. Pilatasig, “Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1°00’ and 2°00’S,” 1997.
- [24] M. Ordóñez, “Asociaciones de radiolarios de la Cordillera Chongón Colonche, Ecuador (Coniaciano-Eoceno),” 2007.
- [25] A. Lavenu, C. Noblet, M. G. Bonhomme, A. Egüez, F. Dugas, and G. Vivier, “New K–Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics,” *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 5, no. 3–4, pp. 309–320, 1992, doi: [10.1016/0895-9811\(92\)90028-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90028-W).
- [26] D. Ortiz, “Caracterización petrográfica y geoquímica de la unidad Quebrada El Volcán,” *GeoLatitud*, p. 3238, 2017.
- [27] W. Pratt, J. Figueroa, and B. Flores, “Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3° - 4° escala 1:200 000 S,” 2000, *CODIGEM-BGS*.
- [28] R. A. Spikings *et al.*, “Latest Triassic to Early Cretaceous tectonics of the Northern Andes: Geochronology, geochemistry, isotopic tracing, and thermochronology,” *Andean Tectonics*, pp. 173–208, 2019, doi: [10.1016/B978-0-12-816009-1.00009-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00009-5).
- [29] R. Spikings *et al.*, “The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma),” *Gondwana Research*, vol. 27, no. 1, pp. 95–139, 2015, doi: [10.1016/J.GR.2014.06.004](https://doi.org/10.1016/J.GR.2014.06.004).
- [30] C. Vallejo, “Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene),” 2007. doi: [10.3929/ethz-a-005416411](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005416411).
- [31] M. Steinmann, “The Cuenca basin of southern Ecuador,” 1997, doi: [10.3929/ETHZ-A-001843356](https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-001843356).
- [32] C. Vallejo, R. A. Spikings, B. K. Horton, L. Luzieux, T. B. Thomsen, and W. Winkler, “Late cretaceous to miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment,” *Andean Tectonics*, pp. 209–236, 2019, doi: [10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1).
- [33] R. Hoffstetter and T. Feininger, “Lexique statistique internationale: Amérique Latine. Ecuador,” 1977.
- [34] DGGM, “Mapa geológico Cariamanga escala 1:100 000,” 1973, *Dirección General de Geología y Minas*.
- [35] DGGM, “Mapa Geológico Machachi escala 1:100 000,” 1978, *Dirección General de Geología y Minas*.
- [36] DGGM, “Mapa Geológico Las Delicias escala 1:100 000,” 1979, *Dirección General de Geología y Minas*.
- [37] DGGM, “Mapa Geológico Latacunga escala 1:100 000,” *Dirección General de Geología y Minas*, 1980.
- [38] DGGM, “Mapa Geológico El Quinche escala 1:50 000,” 1980, *Dirección General de Geología y Minas*.
- [39] DGGM, “Mapa Geológico Riobamba escala 1:100 000,” *Dirección General de Geología y Minas*, 1978.
- [40] DGGM, “Mapa geológico Nono escala 1:50 000,” 1975, *Dirección General de Geología y Minas*. [Online]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-50-000/>
- [41] INIGEMM, “Hoja geológica Centro Shaime escala 1:50 000,” 2013, *Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico*.
- [42] INIGEMM, “Hoja geológica Zumba escala 1:100 000 (No publicada),” 2017, *Instituto*

- Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [43] INIGEMM, “Hoja geológica La Merced de Buenos Aires escala 1:50 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [44] INIGEMM, “Hoja geológica Nabón escala 1:50 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [45] INIGEMM, “Hoja geológica Gualaquiza escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [46] INIGEMM, “Hoja geológica Saraguro escala 1:50 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [47] INIGEMM, “Hoja geológica Santa Rosa de El Oro escala 1:100 000 (No publicada),” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [48] INIGEMM, “Hoja geológica Guayzimi escala 1:50 000,” 2013, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [49] INIGEMM, “Hoja geológica Puyango escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [50] INIGEMM, “Hoja geológica Gonzanamá escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [51] INIGEMM, “Hoja geológica Naranjal escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [52] INIGEMM, “Hoja geológica Loja escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [53] INIGEMM, “Hoja geológica Paquisha escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [54] INIGEMM, “Hoja geológica Huaquillas escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [55] INIGEMM, “Hoja geológica Carolina escala 1:50 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [56] INIGEMM, “Hoja geológica Cariamanga escala 1:100 000,” 2013, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [57] INIGEMM, “Hoja geológica Zaruma escala 1:100 000,” 2013, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [58] INIGEMM, “Hoja geológica Las Aradas escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [59] INIGEMM, “Hoja geológica Zamora escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [60] INIGEMM, “Hoja geológica Sigsig escala 1:100 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [61] INIGEMM, “Hoja geológica Otavalo escala 1:50 000,” 2017, *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico.*
- [62] IIGE, “Hoja geológica Zapotillo escala 1:100 000,” 2019, *Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito.*
- [63] IIGE, “Hoja geológica Alamor escala 1:100 000,” 2019, *Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito.*
- [64] IIGE, “Hoja geológico Machala escala 1:100 000. Edición 2,” 2019, *Instituto de Investigación Geológico y Energético, Quito.*
- [65] IIGE, “Hoja geológica Macará escala 1:100 000. Edición 2,” 2019, *Instituto de Investigación Geológico y Energético.*
- [66] IIGE, “Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica.” Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/15_resoluci_on_no_2019_082_de_abril_2020.pdf
- [67] IIGE, “Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica.” Accessed: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/15_resoluci_on_no_2019_082_de_abril_2020.pdf
- [68] M. A. Murphy and A. Salvador, “International Stratigraphic Guide — An abridged version,” *Episodes Journal of International Geoscience*, vol. 22, no. 4, pp. 255–271, Dec. 1999, doi: 10.18814/EPIIUGS/1999/V22I4/002.
- [69] IIGE, “Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica.” Accessed: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/15_resoluci_on_no_2019_082_de_abril_2020.pdf
- [70] “GitHub.” Accessed: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/>
- [71] R Core Team, “R: A Language and Environment for Statistical Computing,” 2022, *Vienna, Austria*.
- [72] “RStudio | Open source & professional software for data science teams - RStudio.” Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: <https://support--rstudio-com.netlify.app/>

- [73] W. Chang *et al.*, “shiny: Web Application Framework for R.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/shiny/index.html>
- [74] Posit, “shinyapps.io.” Accessed: Jan. 31, 2023. [Online]. Available: www.shinyapps.io
- [75] “grep function - RDocumentation.” Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/base/versions/3.6.2/topics/grep>
- [76] “chartr function - RDocumentation.” Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.rdocumentation.org/packages/base/versions/3.6.2/topics/chartr>
- [77] A. Albán, D. Jijón, and J. Constante, “Percepción del buscador de unidades.” Accessed: Apr. 25, 2024. [Online]. Available: <https://forms.gle/TtzN6n8UKxKPFvkk9>