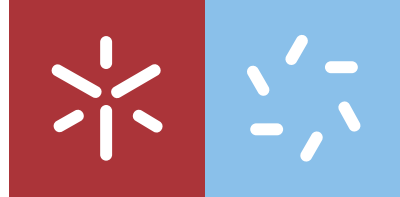




Inventario del patrimonio geológico del Uruguay a partir de categorías temáticas: definición del método y su implementación

Mauricio Faraone Pimienta

Universidade do Minho
Escola de Ciências





Universidade do Minho

Escola de Ciências

Mauricio Faraone Pimienta

**Inventario del patrimonio geológico del
Uruguay a partir de categorías temáticas:
definición del método y su implementación**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Geociências

Área de Especialização em Património Geológico e
Geoconservação

Trabalho efetuado sob a orientação dos

Professor Doutor José Bernardo Rodrigues Brilha

Professor Doutor César Alejandro Goso Aguilar

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositórioUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Agradecimientos

En primer lugar a la DINAMIGE, institución donde me desempeñé como profesional en geología, por permitirme dedicar un año a la realización de mis cursos de maestría. Y a su Director, Sr. Marcelo Pugliesi, por promover la declaración de interés ministerial a mi trabajo final de posgrado.

A los Profesores José Brilha y César Goso por ser mis orientadores en esta tarea. Por sus certeros comentarios y transmisión de conocimientos. Esperando poder seguir juntos en el camino de la geoconservación. Al Profesor Paulo Pereira por su interés en este trabajo y a la Profesora Rossana Muzio por su evaluación.

A los colegas de cursos del grupo PANGEA, en especial a los *gurises* Camilo Vergara, Tomás Martínez, Juan Esteban Quintero, y a los *fantastic* Kevin Quinzacara, Johana Barrera y Kanishka Pandey. Por las charlas y las vivencias compartidas. A Camilo y familia, por recibirme y ayudar a instalarme en Braga al inicio de los cursos.

A los colegas de DINAMIGE por su compañerismo. A Richard Arrighetti y Viviana Gianotti por las horas de trabajo de oficina y campo compartidas. A Alejandra Pascale, Anahí Curbelo y Javier Techera por su colaboración con los textos para la ASGMI. Esperando poder seguir trabajando en temas de patrimonio geológico en el Área Geología.

A los docentes e investigadores del Instituto de Ciencias Geológicas, colegas de otras instituciones y comunidad geocientífica en general, por su participación y aportes en diversas áreas de la geología de Uruguay, que enriquecieron este trabajo. Esperando poder completar el inventario nacional de patrimonio geológico.

Y, finalmente, a mi madre, Marita, mi inspiración a nivel académico, a quien dedico este trabajo.

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Statement of integrity

I hereby declare having conducted this academic work with integrity. I confirm that I have not used plagiarism or any form of undue use of information or falsification of results along the process leading to its elaboration.

I further declare that I have fully acknowledged the Code of Ethical Conduct of the University of Minho.

INVENTARIO DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL URUGUAY A PARTIR DE CATEGORÍAS TEMÁTICAS: DEFINICIÓN DEL MÉTODO Y SU IMPLEMENTACIÓN

Resumen

Los trabajos sobre el patrimonio geológico se han consolidado a nivel académico en los últimos años en Uruguay, siendo la comunidad geocientífica nacional ahora más consciente de la relevancia de estudiar este tipo de patrimonio, con foco en su valor científico. Sin embargo, todavía no existe un conocimiento sistemático del patrimonio geológico a nivel nacional. Teniendo en cuenta el desconocimiento sobre este tipo de patrimonio natural, este trabajo propone un enfoque metodológico para realizar un inventario sistemático de sitios de interés geológico en Uruguay, basado en categorías temáticas. Se trata de un método ya aplicado en países europeos y, a nivel estatal, en Brasil, habiéndose adaptado aquí a las especificidades de Uruguay, teniendo en cuenta su extensión territorial, el grado de conocimiento geológico de su territorio y los recursos disponibles para su investigación.

Se definieron nueve categorías temáticas que, en conjunto, representan la historia geológica del país, así como una lista preliminar de alrededor de cincuenta geositos potenciales que representan esas mismas categorías. Esto se logró con la colaboración de treinta expertos de diferentes áreas de la investigación geológica en Uruguay, para garantizar el necesario consenso científico que constituye, entre otros, uno de los supuestos para la validación de este método de inventario. De la lista de geositos potenciales, se seleccionaron y caracterizaron dos geositos para cada categoría temática, según criterios de valor científico, con miras a producir un modelo que sea replicable en un futuro próximo.

Se espera que los resultados de este trabajo sirvan de base para la conclusión del inventario nacional, el cual pueda ser incorporado al marco legal para la conservación de la naturaleza en Uruguay, además de servir como un aporte al desarrollo de nuevos proyectos de geoparques en el país.

Palabras clave: Uruguay, patrimonio geológico, categorías temáticas, inventario, geoconservación.

GEOLOGICAL HERITAGE INVENTORY OF URUGUAY BASED ON GEOLOGICAL FRAMEWORKS: DEFINITION OF THE METHOD AND ITS IMPLEMENTATION

Abstract

In recent years, the research on geological heritage in Uruguay has been consolidated at an academic level, and the national geoscientific community is now more aware of the importance of studying this type of heritage, with a focus on its scientific value. However, there is still no systematic knowledge of geological heritage at a national level. Given the lack of knowledge about this type of natural heritage, this master dissertation proposes a methodological approach for carrying out a systematic inventory of sites of geological interest in Uruguay, based on geological frameworks. This is a method that has already been applied in European countries and, at state level, in Brazil. It has been adapted here to the specificities of Uruguay, taking into account its territorial extension, the degree of geological knowledge of its territory and the resources available for research.

Nine geological frameworks were defined that together represent the country's geological history, as well as a preliminary list of around fifty potential geosites that represent these same frameworks. This was achieved with the collaboration of thirty specialists from different areas of geological research in Uruguay, in order to guarantee the necessary scientific consensus that is, among other things, one of the assumptions for validating this inventory method. From the list of potential geosites, two geosites were selected and characterised for each geological framework, according to criteria of scientific value, with a view to producing a model that will hopefully be replicable in the near future.

It is hoped that the results of this work will serve as a basis for finalising the national inventory, which can be incorporated into Uruguay's nature conservation legal framework, as well as contributing to the development of new geopark projects in the country.

Keywords: Uruguay, geological heritage, geological frameworks, inventory, geoconservation.

INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO DO URUGUAI COM BASE EM CATEGORIAS TEMÁTICAS: DEFINIÇÃO DO MÉTODO E SUA IMPLEMENTAÇÃO

Resumo

Os trabalhos sobre patrimônio geológico no Uruguai consolidaram-se a nível acadêmico nos últimos anos, estando agora a comunidade geocientífica nacional mais consciente da relevância do estudo deste tipo de patrimônio, com foco no seu valor científico. No entanto, não existe ainda um conhecimento sistemático do patrimônio geológico a nível nacional. Tendo em conta a ausência de conhecimento sobre este tipo de patrimônio natural, este trabalho propõe uma abordagem metodológica para a realização do inventário sistemático de sítios de interesse geológico do Uruguai, baseado em categorias temáticas. Trata-se de um método já aplicado em países europeus e, a nível estadual, no Brasil, tendo aqui sido adaptado às especificidades do Uruguai tendo em conta a sua extensão territorial, o grau de conhecimento geológico do seu território e os recursos disponíveis para a sua investigação.

Foram definidas nove categorias temáticas que, em conjunto, representam a história geológica do país, assim como uma lista preliminar de cerca de cinquenta potenciais geossítios que representam essas mesmas categorias. Isto foi conseguido com a colaboração de trinta especialistas de diferentes áreas da pesquisa geológica no Uruguai, para garantir o necessário consenso científico que constitui, entre outros, um dos pressupostos para a validação deste método de inventário. Da lista de geossítios potenciais foram selecionados e caracterizados dois geossítios por cada categoria temática, segundo critérios de valor científico, com vista a produzir um modelo que seja replicável num futuro próximo.

Espera-se que os resultados deste trabalho sirvam de base para a conclusão do inventário nacional, que se espera vir a incorporar no enquadramento jurídico de conservação da natureza no Uruguai, bem como servir de contribuição para o desenvolvimento de novos projetos de geoparques no país.

Palavras-chave: Uruguai, patrimônio geológico, categorias temáticas, inventário, geoconservação.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Justificación y motivación	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Antecedentes.....	3
2. Bases conceptuales y metodológicas	4
2.1 Conceptos	4
2.1 Metodología.....	5
3. Caracterización del territorio uruguayo	11
3.1 Geografía	11
3.2 Geología.....	13
3.3 Geomorfología	16
3.4 Geodiversidad	17
4. Resultados	21
4.1 Contextos geológicos / categorías temáticas.....	21
4.1.1 Terrenos Precámbricos.....	21
4.1.2 Orogenia Brasiliana	26
4.1.3 Magmatismo Ediacárico.....	32
4.1.4 Cuencas Gondwánicas.....	36
4.1.5 Magmatismo Mesozoico	42
4.1.6 Sedimentogénesis y pedogénesis del Cretácico post-basáltico y el Paleoceno.....	47
4.1.7 Sedimentación paleógena-neógena y fauna asociada.....	51
4.1.8 Evolución continental y costera cuaternaria	55
4.1.9 Unidades geomorfológicas y formas del relieve	60
4.2 Sitios de interés geológico: resumen	65
5. Discusión.....	68
5.1 Inventario del patrimonio geológico a través de categorías temáticas	68
5.2 Instrumentos de protección legal de los sitios de interés geológico	71
5.3 Aporte al desarrollo de iniciativas de geoparques en Uruguay	77
6. Conclusiones y perspectivas futuras	79
7. Referencias bibliográficas	81
8. Anexos	93

FIGURAS

Figura 1. Mapa político de Uruguay.....	11
Figura 2. Mapa topográfico de Uruguay.....	12
Figura 3. Mapa de unidades geotectónicas mayores de Sudamérica.....	13
Figura 4. Mapa esquemático de la geología de Uruguay	14
Figura 5. Mapa geológico de Uruguay a escala 1:500.000	15
Figura 6. Carta geomorfológica de Uruguay.....	17
Figura 7. Ejemplos de elementos geológicos que ilustran la geodiversidad de Uruguay	19
Figura 8. Mapa geocronológico de Uruguay.....	20
Figura 9. Estructura del Escudo Uruguayo.....	22
Figura 10. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Terrenos Precámbricos	23
Figura 11. Imagen satelital del sitio basamento precámbrico de la Piedra Alta	24
Figura 12. Estructuras magmáticas presentes en los afloramientos de la Piedra Alta	24
Figura 13. Esbozo geológico del afloramiento de la Piedra Alta	25
Figura 14. Imagen satelital del sitio secuencia neoproterozoica de Cuchilla Alta.....	26
Figura 15. Afloramiento costero de meta-areniscas con estratificación cruzada.....	26
Figura 16. Columna estratigráfica de la sección del Club de pesca Cuchilla Alta	26
Figura 17. Mapa de esquema tectónico del Cinturón Dom Feliciano (CDF) en la región.....	27
Figura 18. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Orogenia Brasiliana	29
Figura 19. Imagen satelital del sitio milonitas de Punta Ballena	30
Figura 20. Vista panorámica de la Punta Ballena	30
Figura 21. Detalle de afloramiento de milonitas de Punta Ballena.....	30
Figura 22. Imagen satelital de Aguas Blancas	31
Figura 23. Detalle de afloramiento de milonitas de Punta Ballena.....	31
Figura 24. Mapa de unidas geológicas del CDF donde se destacan los batolitos graníticos.....	32
Figura 25. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Magmatismo Ediacárico	34
Figura 26. Imagen satelital del sitio plutón granítico de Polanco	35
Figura 27. Vista del relieve granítico y detalle de afloramiento de granito de Polanco	35
Figura 28. Imagen satelital del sector sur del sitio Sierra de las Ánimas.....	36
Figura 29. Vista panorámica de Sierra de las Ánimas desde el oeste	36
Figura 30. Mapa de la Cuenca Paraná con la distribución de las supersecuencias sedimentarias.....	37
Figura 31. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Cuencas Gondwánicas	39
Figura 32. Imagen satelital del sitio rocas aborregadas de Cerro de las Cuentas	40
Figura 33. Vista de afloramientos de rocas aborregadas y detalle de estrías glaciares	40
Figura 34. Imagen satelital del sitio lutitas fosilíferas de Picada de Cuello	41

Figura 35. Vista de afloramiento de lutitas y detalle de <i>bone bed</i> con fósiles de mesosaurios	41
Figura 36. Ilustración de huevo y embrión de mesosaurio hallado en el sitio.....	41
Figura 37. Mapa del contexto estructural del magmatismo mesozoico en Uruguay	43
Figura 38. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Magmatismo Mesozoico	44
Figura 39. Imagen satelital de los yacimientos de amatistas del Distrito Gemológico Los Catalanes ...	45
Figura 40. Mapa geológico del Distrito Gemológico Los Catalanes	45
Figura 41. Detalle de corte de una geoda rellena de amatista contenida en basalto	46
Figura 42. Imagen satelital del sitio derrames riolíticos de Cerro Arequita	47
Figura 43. Vista del Cerro Arequita desde el norte y detalle de espejo de falla en riolita.....	47
Figura 44. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Sedimentogénesis del Cretácico	48
Figura 45. Imagen satelital del sitio areniscas ferruginosas de Grutas del Palacio	49
Figura 46. Vista frontal de las grutas y detalle del interior donde se aprecia acción hídrica	50
Figura 47. Imagen satelital del sitio sedimentitas y paleosuelos de la Meseta de Artigas	50
Figura 48. Columna estratigráfica de la sección de la Meseta de Artigas.....	51
Figura 49. Perfil de areniscas rojizas en barrancas de la meseta.	51
Figura 50. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Sedimentación terciaria	53
Figura 51. Imagen satelital del sitio areniscas fosilíferas de Punta Gorda	54
Figura 52. Placa conmemorativa del Rincón de Darwin y perfil de areniscas fosilíferas.....	54
Figura 53. Imagen satelital del sitio barrancas fosilíferas de Paso Cuello y Picada de Berget	55
Figura 54. Barrancas sobre el río Santa Lucía en la sección de Picada de Berget	55
Figura 55. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Evolución cuaternaria	57
Figura 56. Imagen satelital del sitio localidad megafaunística de Arroyo del Vizcaíno	58
Figura 57. Fragmento de coraza de gliptodonte hallado en el sitio Arroyo del Vizcaíno	58
Figura 58. Imagen satelital del sitio moluscos marinos del Pleistoceno de la Coronilla	58
Figura 59. Conjunto de moluscos marinos hallados en el sitio y plataforma de abrasión marina.....	59
Figura 60. Mapa de unidades morfoestructurales de Uruguay	62
Figura 61. Mapa geológico simplificado con los sitios de la categoría Unidades geomorfológicas.....	63
Figura 62. Imagen satelital del sitio mar de piedras de Sierra Mahoma.....	64
Figura 63. Vista panorámica del caos de bloques de granito de Sierra Mahoma.....	64
Figura 64. Imagen satelital del sitio escarpa de la cuesta basáltica en la subida de Pena	65
Figura 65. Vista panorámica de la escarpa atravesada por la Ruta 30	65
Figura 66. Imagen satelital con la localización de los sitios de interés geológico seleccionados	66
Figura 67. Gráfico de los sitios de interés geológico seleccionados según rasgo geológico principal....	66
Figura 68. Mapa geológico simplificado con todos los sitios de interés geológico seleccionados	67
Figura 69. Panel informativo al ingreso al predio del Área Protegida Grutas del Palacio.....	74

TABLAS

Tabla 1. Interés geológico principal del sitio según la disciplina de la geología.	8
Tabla 2. Categorías temáticas definidas para el inventario de sitios de interés geológico	69

1. Introducción

El origen de la idea de un inventario nacional del patrimonio geológico para Uruguay, surge con la creación del Comité Nacional de Geoparques en el año 2016. Este se constituyó como el primero de su tipo en la región de Latinoamérica y del Caribe. Fue concebido como un grupo asesor del Geoparque Grutas del Palacio, primer Geoparque Mundial UNESCO en Uruguay y segundo de América Latina, designado en 2013. Entre los cometidos establecidos en su creación, se encuentran: “determinar el patrimonio geológico y concientizar sobre su importancia”.¹

La propuesta del desarrollo de un inventario nacional comienza, sin embargo, recién en 2020 con la participación activa de la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE, Servicio Geológico de Uruguay) en el Grupo de Expertos en Patrimonio Geológico (GEPG) de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). A ese momento, el GEPG se encontraba trabajando en una publicación especial sobre sitios de interés geológico de Iberoamérica.

De acuerdo a lo definido por la coordinación del GEPG, cada país miembro debía seleccionar 5 geositos, los cuales debían poseer distinto interés, según la disciplina geológica, además de ser bien conocidos en la literatura o trabajos propios del Servicio Geológico. Particularmente, para Uruguay, se definió también que los sitios sean representativos de las grandes estructuras o contextos geológicos del país.

Del trabajo en conjunto entre colegas del Área Geología de la DINAMIGE y del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias (Universidad de la República-UdelaR), fueron definidos 5 sitios de interés geológico de relevancia internacional o nacional. Estos fueron posteriormente caracterizados y evaluados cuantitativamente por el autor, como parte de los trabajos realizados en los cursos de la Maestría en Geociencias, en el ramo de Patrimonio Geológico y Geoconservación de la Universidade do Minho (Portugal). Para su evaluación fue utilizada la propuesta elaborada por la ASGMI (2018), en base a la metodología española (Inventario Español de Lugares de Interés Geológico-IELIG, 2014) y conceptual de Brilha (2016).

¹ Decreto N° 333/016: creación del Comité Nacional de Geoparques de la Unesco
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/333-2016>.

1.1 Justificación y motivación

El desarrollo de un inventario de sitios de interés geológico es fundamental como herramienta para la conservación del patrimonio geológico.

Existen casos exitosos de desarrollo de inventarios a nivel nacional en varios países. Reino Unido fue el pionero al iniciar un programa sistemático de inventario de sitios de interés geológico, con miras a su conservación (Wimbledon et al., 1995). Los casos de los inventarios nacionales de España (García-Cortés et al., 2001) y Portugal (Brilha et al., 2010), son una referencia a nivel latinoamericano.

En la región, si bien no se han desarrollado inventarios sistemáticos a nivel nacional, existen experiencias de inventarios a nivel local en Chile (Benado, 2013) o estadual en Brasil (García et al., 2018) que demuestran ser un buen punto de partida para este desarrollo.

Uruguay no cuenta con un inventario sistemático de geositos, excepto para territorios de geoparque, siendo entonces este trabajo el primer ensayo de un inventario a nivel país, el que podría ser el primero desarrollado con esta metodología en todo el continente americano.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la identificación, caracterización y evaluación de sitios de interés geológico en Uruguay, basado en un método sistemático y por consenso de la comunidad geocientífica nacional.

Los objetivos específicos definidos son:

1. Iniciar un inventario sistemático de sitios de interés geológico para Uruguay, basado en categorías temáticas.
2. Contribuir para la integración de los sitios de interés geológico en los instrumentos de conservación de la naturaleza en Uruguay.
3. Aportar al desarrollo de iniciativas de geoparques en Uruguay.

El propósito de este trabajo es sentar las bases para el desarrollo sistemático de un inventario de sitios de interés geológico para el país. Con tal motivo, es que se busca la participación de la comunidad geocientífica uruguaya, en el entendido que su experiencia, en distintos campos de la geología y áreas de investigación, es fundamental para el establecimiento de categorías temáticas e

identificación de potenciales geositos. Se espera así, que los resultados de este trabajo sean el inicio del inventario nacional, el cual se pretende incorporar a las herramientas de conservación de la naturaleza en Uruguay, como también puedan aportar al desarrollo de proyectos de geoparques.

1.3 Antecedentes

El reconocimiento y valoración del patrimonio geológico en Uruguay es un proceso incipiente y se encuentra en desarrollo (Goso et al., 2016). Los primeros pasos se dieron con el desarrollo del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio, aunque antes de su ingreso a la Red Mundial de Geoparques en 2013, en mayor medida desde su primera revalidación en 2017. Actualmente, el Geoparque cuenta con 15 geositos inventariados, los cuales han sido caracterizados y evaluados cuantitativamente en sucesivos trabajos (Picchi, 2018; Picchi et al, 2018; Caballero, 2020; Martínez Sanguinetti, 2021; Ramos García, 2023).

Otros inventarios se encuentran en desarrollo en territorios de proyectos de Geoparques, tal es el caso del proyecto de Geoparque Minero Botucatú (Salles Viana, 2023). Sin embargo, no existen iniciativas sistemáticas y objetivas en materia de patrimonio geológico y geoconservación a escala nacional en Uruguay.

Goso et al. (2016) destacan la necesidad de llevar a cabo un inventario nacional de geositos, como también el desarrollo de trabajos de divulgación sobre conceptos relacionados con la geoconservación y la valorización y protección del patrimonio geológico, basado en criterios científicos.

2. Bases conceptuales y metodológicas

2.1 Conceptos

La geoconservación, como nueva rama de las Geociencias, ha tenido un amplio desarrollo en las últimas décadas. Diferentes autores han propuesto varias definiciones a conceptos relacionados a geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación (*i.e.*, Gray 2004; Wimbledon 2011; Brilha 2016). En el presente trabajo no se profundizará en la discusión respecto a cuestiones teóricas, sino que, a efectos prácticos, se adoptarán las definiciones aplicadas en publicaciones de referencia internacional.

Se ha decidido utilizar, así, como marco teórico para este trabajo, las definiciones de conceptos establecidas en las bases metodológicas elaboradas por el GEPG y aprobadas en la XXIV Asamblea General de ASGMI (2018). Esta decisión se apoya en el origen de la propuesta desarrollo de un inventario nacional del patrimonio geológico para Uruguay, que surge de la participación de la DINAMIGE dentro del respectivo grupo de trabajo de la ASGMI; como también, del primer objetivo específico de esta tesis.

A continuación se presentan las diferentes definiciones y conceptos utilizados en el documento titulado “*Bases para el desarrollo común del Patrimonio Geológico en los Servicios Geológicos de Iberoamérica*” (ASGMI, 2018), adoptadas y utilizadas en este trabajo.

- *Geodiversidad*: Variedad de todos los elementos geológicos que –independiente de su valor patrimonial– se hallan presentes en un territorio y son el producto y registro de la historia de la Tierra. La geodiversidad abarca elementos abióticos naturales tales como rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones, unidades y estructuras geológicas, ambientes, paisajes y procesos activos generadores de estos, entre otros.
- *Patrimonio Geológico*: Es el conjunto de lugares y/o elementos geológicos, de un área, región, país o países, que presenta valor científico, educativo y/o turístico y que es necesario preservar y transmitir a las futuras generaciones.
- *Sitio de Interés Geológico*: Lugar y/o elemento geológico que por sus características singulares o de representatividad en relación a una o varias disciplinas de la geología, posee un interés que le otorga un valor científico, educativo y/o turístico, que permite emplearlo para

conocer, estudiar y divulgar/comunicar cuestiones vinculadas al origen, evolución y composición de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y el presente, así como el origen y evolución de la vida.

- *Inventario de Patrimonio Geológico*: Listado abierto y dinámico de Sitios de Interés Geológico, con información sobre sus características, valor y ubicación.
- *Geoconservación*: El conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación) y gestión sostenible del Patrimonio Geológico, basado en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y el riesgo de degradación.

2.1 Metodología

Como se mencionó, el presente trabajo tiene un enfoque esencialmente práctico. Con el fin de alcanzar el objetivo general de esta tesis, considerando a Uruguay como un territorio extenso se adopta lo sugerido por Brilha (2016), en cuanto a las tareas secuenciales a realizar para inventario de patrimonio geológico en áreas grandes.

La investigación se desarrolló siguiendo los pasos y diferentes técnicas, de acuerdo a las distintas etapas del trabajo, que se enumeran a continuación.

1. Revisión bibliográfica.

La revisión bibliográfica se desarrolló conforme a dos temas principales: la literatura geológica sobre Uruguay y los modelos de inventario basados en la metodología de ProGEO (*International Association for the Conservation of Geological Heritage*).

Para estudiar el contexto geológico de Uruguay, se analizaron publicaciones, revisiones y cartas geológicas, bien conocidos en la literatura geológica o en trabajos realizados por la propia DINAMIGE. Las informaciones consultadas fueron obtenidas del repositorio institucional de la Udelar²

² Portal Udelar: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/>

o del acervo bibliográfico de la DINAMIGE, la Facultad de Ciencias y de investigadores del Instituto de Ciencias Geológicas (ICG).

Como soporte de la investigación, se consultaron las metodologías de inventario de patrimonio geológico desarrolladas en base al modelo propuesto por la ProGEO. Este modelo de inventario, basado en contextos geológicos, fue desarrollado por la ProGEO a nivel europeo en la década de 1990 (Wimbledon, 1996; Wimbledon, 2011; Wimbledon & Smith-Meyer, 2012 y referencias).

Esta metodología surge de la iniciativa implementada por la IUGS (Unión Internacional de Ciencias Geológicas, por sus siglas en inglés), con apoyo de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, por sus siglas en inglés), a través del Proyecto *Global Geosites*. El objetivo de este proyecto fue realizar un listado de sitios de interés geológico de relevancia mundial (Wimbledon, 1996). De esta iniciativa, se desarrollaron inventarios a nivel nacional y regional que fueron tomados como referencia en el presente trabajo. Entre ellos, podemos destacar los casos de inventarios a nivel nacional en España (*e.g.* García-Cortés et al., 2001; Carcavilla et al., 2009; García-Cortés & Carcavilla, 2009, García-Cortés et al., 2019) y Portugal (*e.g.* Brilha et al., 2005; Brilha & Pereira, 2011; Brilha et al., 2013), como de inventarios regionales en de los Estados de San Pablo (García et al., 2018), Río Grande del Norte (Dias et al., 2023) y Paraná (Xavier et al., 2023), en Brasil.

2. Consultas a especialistas en el área.

En base a la metodología planteada para el inventario, enfocada en el valor científico de los sitios de interés geológico (*sensu* Brilha, 2016), la participación y el consenso de la comunidad geocientífica es fundamental. Para el desarrollo de un inventario de patrimonio geológico nacional es necesaria la consulta a especialistas, con un conocimiento muy sólido en áreas específicas de la geología de Uruguay.

Para tal fin, fueron llevadas a cabo dos instancias participativas con la comunidad geocientífica, conformada por investigadores de diferentes instituciones. La primera, un encuentro con docentes e investigadores del ICG, realizado en Facultad de Ciencias el día 21 de setiembre de 2022; en donde se expuso sobre la importancia de realizar un inventario de patrimonio geológico para Uruguay. En dicha oportunidad, se comenzó la discusión para delinear los contextos geológicos o categorías temáticas para el inventario. En segunda instancia se realizó un *workshop* abierto sobre el inventario, desarrollado en el ámbito del X Congreso Uruguayo de Geología, el 7 de noviembre de 2022 en las salas del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Del *workshop* surgieron 15 categorías temáticas y fueron propuestos una serie de potenciales sitios de interés geológico.

Con posterioridad, se elaboró una encuesta a través de la plataforma de formularios de Google (ver Anexo). Dicha encuesta contenía los datos mínimos necesarios para elevar propuestas de potenciales sitios de interés geológico, a incluir en una o más de una categoría temática, como también proponer nuevas categorías. De igual forma, se realizaron decenas consultas de manera presencial a distintos especialistas interesados en participar del inventario. Este proceso de consulta comunitaria debe continuar con el fin de completar el inventario y mantenerlo actualizado.

3. Definición de contextos geológicos o categorías temáticas.

De acuerdo a la metodología adoptada, una tarea fundamental para la elaboración de un inventario del patrimonio geológico que sea representativo para un territorio extenso, es la definición de contextos geológicos (*geological frameworks*) o categorías temáticas. Los contextos geológicos se pueden definir como los temas principales que, en conjunto, representan la historia geológica de un territorio específico, es decir, los registros de los principales eventos geológicos/geomorfológicos que tuvieron lugar en el área de estudio (Brilha, 2010; Wimbledon, 2011 y referencias). Estos deben representar los principales capítulos de la historia de la Tierra que dejaron evidencias geológicas en el territorio estudiado (Brilha, 2016).

La definición de estas categorías temáticas se realiza por consenso de la comunidad geocientífica nacional. Esta metodología es una manera de ordenar de forma compartimentada el área de estudio a ser inventariada, en este caso el territorio uruguayo. Para cada categoría es seleccionado un coordinador científico -puede ser más de uno-, por ser investigador de una área específica de la geología de Uruguay, encargado de evaluar las propuestas de potenciales sitios de interés geológico asociados a su categoría temática.

Para la caracterización científica de los contextos geológicos de Uruguay se utilizaron criterios crono-estratigráficos y tectono-estructurales. Para tal motivo se utilizó la carta geológica de Uruguay elaborada por la DINAMIGE (actualizada a 2017), en conjunto con la literatura geológica local.

4. Identificación y caracterización de potenciales sitios de interés geológico.

Luego de la definición de las categorías temáticas, se procedió a la identificación de potenciales sitios de interés geológico, mediante la elaboración de una base de datos.

La información fue obtenida mediante una encuesta (punto 2; ver Anexo), enviada a más de una treintena de docentes, investigadores y colegas, como también mediante entrevistas presenciales o consultas vía correo electrónico. Además de, revisión de publicaciones, documentos de salidas de

campo y trabajos realizados por la DINAMIGE y/o colegas del ICG de la Facultad de Ciencias (UdelaR).

La base de datos consiste en una planilla elaborada con el software Excel, a partir del formulario Google de la encuesta, conteniendo la siguiente información:

- Nombre del sitio de interés geológico;
- Localización geográfica, identificando el departamento y coordenadas en sistema UTM;
- Interés geológico del sitio, con una breve descripción y características principales, incluyendo descripción geológica (unidad geológica), características geológicas más destacadas que justifican la designación del sitio, y listado de las referencias bibliográficas principales;
- Contexto geológico (categoría temática) que representa (puede ser más de una);
- Limitaciones de uso, referidas a necesidad de permisos o problemas de acceso al sitio;
- Datos de contacto del proponente del sitio, incluyendo nombre, área de trabajo o investigación, y correo electrónico.

Los datos a ser incluidos en la base de datos se guiaron, en parte, por las recomendaciones formuladas en la propuesta metodología de ASGMI (2018). En relación al nombre de los sitios su denominación es representativa de su contenido, siendo indicada la naturaleza del rasgo geológico principal y una referencia geográfica.

El interés principal del sitio se define según la disciplina geológica (Tabla 1). En relación a sus designaciones en función de sus rasgos geológicos, las mismas podrán cambiar en el inventario nacional del patrimonio geológico según corresponda. En caso que la denominación no resulte muy extensa, se indica su edad geológica.

Para las referencias geográficas fue utilizada la nomenclatura oficial, obtenida de las cartas topográficas del plan cartográfico nacional a escala 1:50.000, del Instituto Geográfico Militar (IGM)².

Tabla 1. Interés geológico principal del sitio, según la disciplina de la geología (tomado de ASGMI, 2018).

Interés geológico principal	Contempla
Estratigráfico	Localidad tipo de una formación, columna o sección estratigráfica. Unidades cronoestratigráficas y litoestratigráficas. Registros de facies. Sitios de referencia a eventos específicos.
Sedimentológico	Secciones con estructuras sedimentarias.
Petrológico	Afloramientos de carácter ígneo-metamórfico (se incluye el vulcanismo). Litologías, composiciones y texturas.

² IGM - Planes Cartográficos Nacionales: <https://igm.gub.uy/2012/03/17/planes-cartograficos/>

Geomorfológico	Geoformas expresión de procesos de erosión o acumulación de diferente origen (glaciar, periglaciar, desértico, kárstico, fluvial, costero, volcanismo, astroblema, eólicas, entre otras). Morfologías inusuales, paisajes geológicos icónicos.
Mineralógico	Minerales, paragénesis, cristalizaciones, estructuras o texturas, localidades tipo y yacimientos.
Estructural / Tectónico	Estructuras tectónicas (falla, pliegue, estructuras de deformación, entre otras) de escala diversa.
Paleontológico	Fósiles (restos directos/indirectos), yacimientos paleontológicos, localidades tipo.
Hidrogeológico	Fuentes, manantiales, surgencias, aguas termales, geysers, sumideros. Manantiales de hidroquímica singular.

Por otro lado, se elaboró un archivo .kmz de Google Earth con la ubicación de los sitios de interés geológico. En conjunto con la tabla de datos, se transfirió a una geodatabase mediante el software ArcGIS, versión 10.5, para la elaboración de mapas.

Además, se recibieron registros fotográficos de algunos de los potenciales sitios de interés geológico por parte de los especialistas consultados. Esta información sirvió de apoyo para el trabajo de campo.

5. Selección de los sitios de interés geológico.

La selección de sitios de interés geológico de Uruguay fue realizada en base a las encuestas y consultas a especialistas de cada categoría temática (contexto geológico), siguiendo los criterios de valor científico propuestos por Brilha (2016), a saber:

- *Representatividad*: capacidad del sitio para ilustrar un proceso o característica geológica que aporta una contribución significativa a la comprensión de la categoría temática o contexto geológico.
- *Rareza*: refiere al número de sitios en Uruguay que presentan características geológicas similares.
- *Integridad*: refiere al estado actual de conservación del sitio, teniendo en cuenta tanto los procesos naturales como los antrópicos.
- *Conocimiento científico*: se basa en la existencia de datos científicos ya publicados sobre el sitio.

De las consultas a especialistas se recibieron cerca de medio centenar de sitios potenciales, agrupados en un máximo de 19 categorías temáticas (algunos sitios forman parte de más de una

categoría). A efectos prácticos de este trabajo, se seleccionaron dos sitios para cada una de las categorías, siendo estos algunos de los más representativos y de los que se posee -al momento- mayor conocimiento científico. Dado que, en esta etapa de desarrollo del inventario, no se cuenta con un número considerable de sitios de interés geológico por categoría no fue necesaria su evaluación cuantitativa.

6. Trabajo de campo y evaluación de los sitios de interés geológico.

Para la evaluación de campo, de los sitios de interés geológico propuestos por los especialistas, fue elaborada una ficha de caracterización conteniendo todos los datos recabados (ver Anexo).

En esta etapa se corrigieron los datos de ubicación y se complementaron las informaciones de los sitios, con croquis geológicos y registro fotográfico, en conjunto con levantamiento de datos geológicos para adicionar a la caracterización de los sitios.

Las salidas de campo se realizaron en varias etapas. La inicial, con un itinerario de una semana por el Este, Centro y Norte del país. Las salidas posteriores se realizaron en conjunto con trabajos de cartografía geológica llevados a cabo en el Área Geología de la DINAMIGE.

Para aquellos sitios que no pudieron ser relevados, fue utilizada la información brindada por los especialistas.

7. Trabajo de gabinete.

Posterior al trabajo de campo y evaluación *in situ* de los sitios, se realizaron una serie de tareas en gabinete:

- Integración de los datos de campo y de las encuestas la planilla de caracterización de los sitios;
- Selección de fotografías representativas de los sitios;
- Elaboración de una lista de sitios por contexto geológico/categoría temática.

Se pretende que la base de datos generada para el presente trabajo, sea utilizada como base para el inventario nacional de sitios de interés geológico.

Por último, se exploraron herramientas de protección legal para los sitios de interés geológico seleccionados en este trabajo y los posibles aportes del inventario a los proyectos de geoparque en Uruguay.

3. Caracterización del territorio uruguayo

3.1 Geografía

Uruguay es un país de América del Sur, situado en la parte oriental del Cono Sur, entre los paralelos 30° y 35° de latitud Sur y los meridianos 53° y 58° de longitud Oeste. Limita al norte y noreste con Brasil al oeste y suroeste con Argentina y tiene costas en el Río de la Plata por el sur y el océano Atlántico por el este. Su territorio terrestre posee una superficie³ de 176.215 km² y se subdivide en 19 departamentos (Fig. 1).



Figura 1. Mapa político de Uruguay.⁴

Por su localización geográfica y características fisiográficas, el clima en su totalidad es situado en la zona templada y pertenece a la ecorregión terrestre denominada sabana uruguaya (pastizales subtropicales). Posee un clima templado con una precipitación anual de 1.200 mm/año y una temperatura media de 18 °C. Es de tipo subtropical húmedo (*Cfa*, según la clasificación climática clásica de Köppen). Las estaciones están bien separadas: la primavera suele ser húmeda, fresca y

³ Como referencia, la superficie del territorio terrestre de Uruguay equivale casi al doble que la de Portugal continental. (*N. del A.*)

⁴ Fuente Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=64103119>

ventosa; los veranos son cálidos; los otoños son templados; y los inviernos son fríos y húmedos (Bidegain & Caffera, 1997).

La mayor parte de su territorio es suavemente ondulado y se desarrolla mayoritariamente en un rango de 0 a 200 msnm. El relieve uruguayo está caracterizado por su escasa altitud, con un promedio de 116 msnm y una cota máxima de 514 msnm (Fig. 2). Este puede dividirse en dos grandes áreas estructurales: las penillanuras y las llanuras; representando una zona de transición entre la llanura pampeana y el Escudo Brasileiro (Panario et al., 2014).

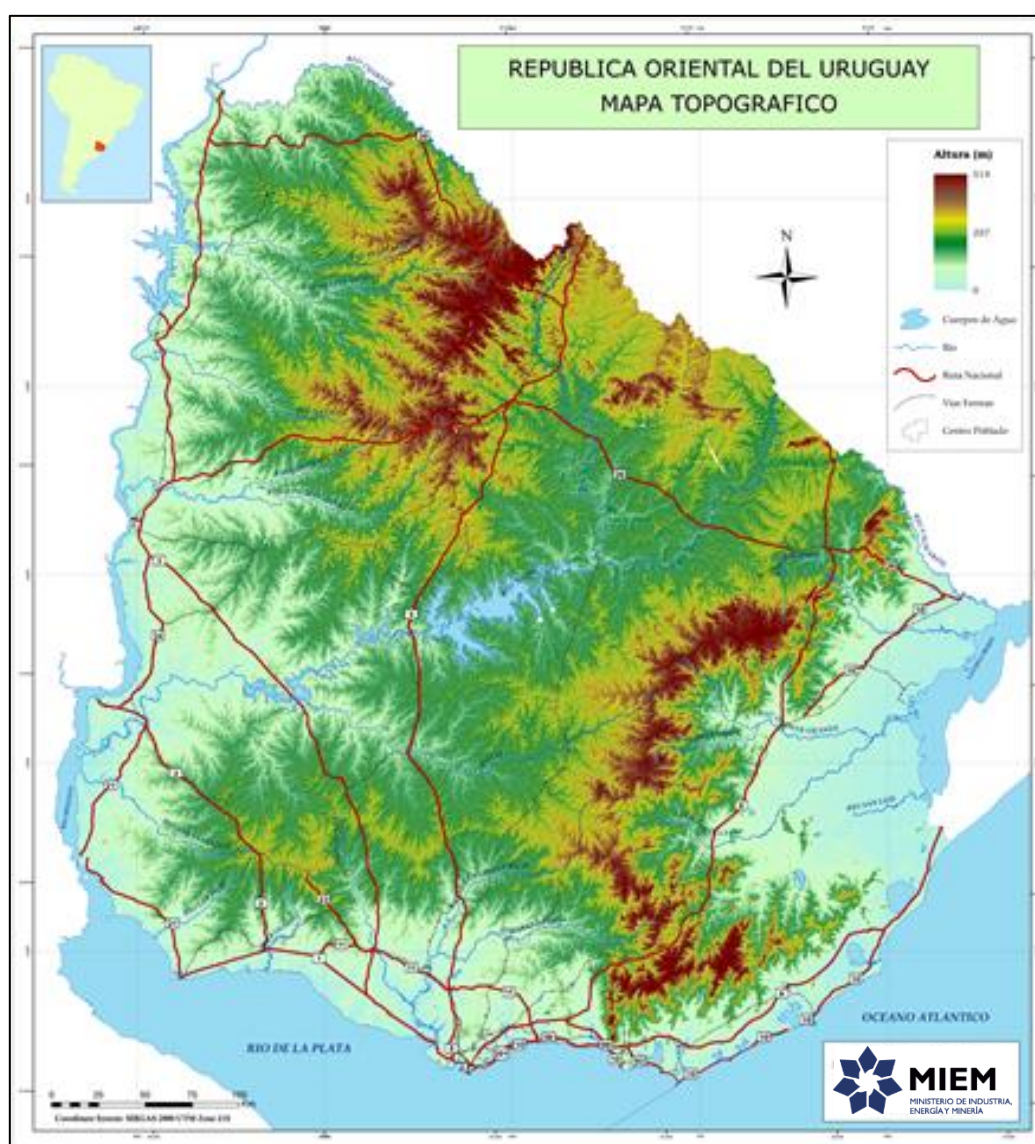


Figura 2. Mapa topográfico de Uruguay (tomado de DINAMIGE, 2017):

° Geoportal de DINAMIGE: <https://geoportal.miem.gub.uy/portal1091/home/>

3.2 Geología

Situado en el contexto geológico de la Plataforma Sudamericana (Fig. 3), la geología del territorio uruguayo está conformada por áreas de basamento cristalino precámbrico, cubierto en parte por una serie de cuencas sedimentarias fanerozoicas (Fig. 4; Fig. 5).

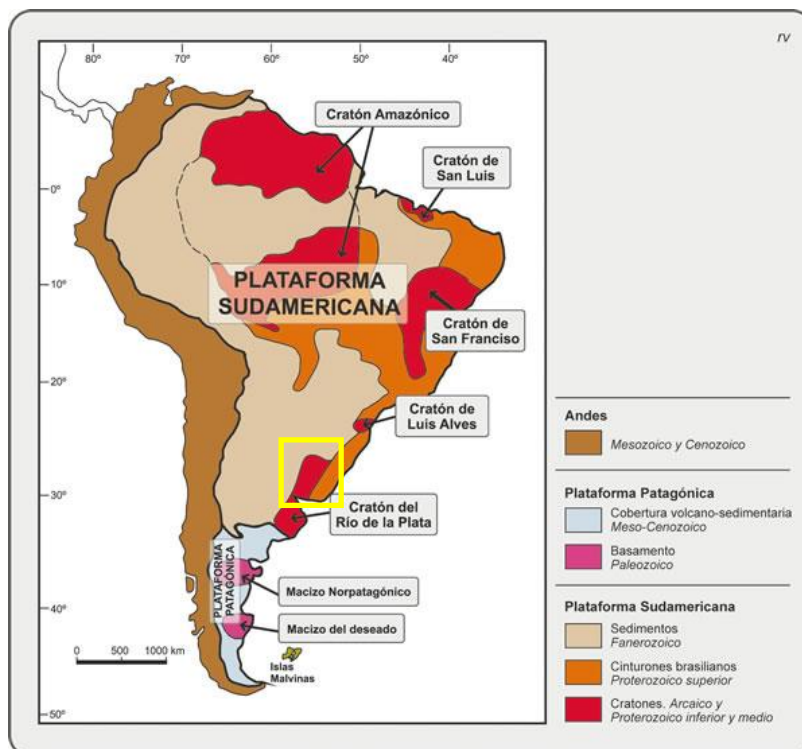


Figura 3. Mapa de unidades geotectónicas mayores de Sudamérica (tomado de INSUGEO⁶). El territorio uruguayo se destaca en el recuadro amarillo. Nótese: en color rojo, el Cratón del Río de la Plata; en color naranja, el cinturón brasiliano (Dom Feliciano); y, en color beige la cobertura sedimentaria fanerozoica (cuenca Chaco-Paranaense).

⁶ INSUGEO - Instituto Superior de Correlación Geológica: https://www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/09.htm

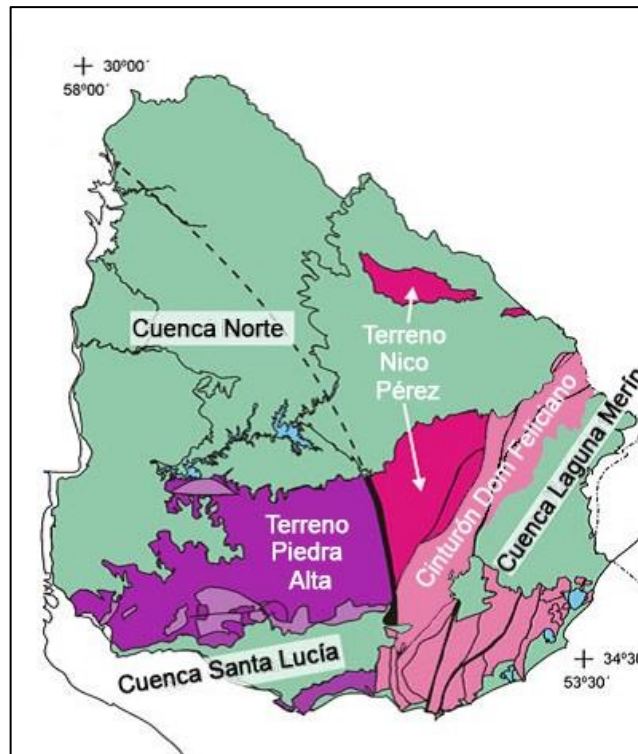


Figura 4. Mapa esquemático de la geología de Uruguay. En colores violetas, el basamento cristalino precámbrico; en verde, las cuencas sedimentarias (modificado de Oyhançabal et al., 2011).

El basamento cristalino precámbrico, denominado Escudo Uruguayo, abarca un área aproximada al 44% del territorio nacional (Masquelin, 2006). Este es una combinación de bloques corticales de diferente naturaleza e historia geológica, separados por discontinuidades, con áreas cratónicas y cinturones que representan varios ciclos orogénicos. Estos diferentes bloques o terrenos tectonoestratigráficos, confluyeron en su amalgama definitiva dentro del Supercontinente Gondwana (Bossi & Gaucher, 2014).

Este puede dividirse en tres principales unidades geotectónicas definidas de oeste a este como: Terreno Piedra Alta (TPA), Terreno Nico Pérez (TNP) y el Cinturón Dom Feliciano (CDF). Las dos primeras fueron tradicionalmente consideradas parte del Cratón del Río de la Plata (CRP) definido por Almeida et al. (1973), siendo este el más meridional de los cinco cratones de Sudamérica. En cuanto al CDF, el mismo fue definido por Fragozo César (1980) y se considera que corresponde a un cinturón orogénico de escala continental originado a partir de la orogenia Brasiliano/Panafricana.

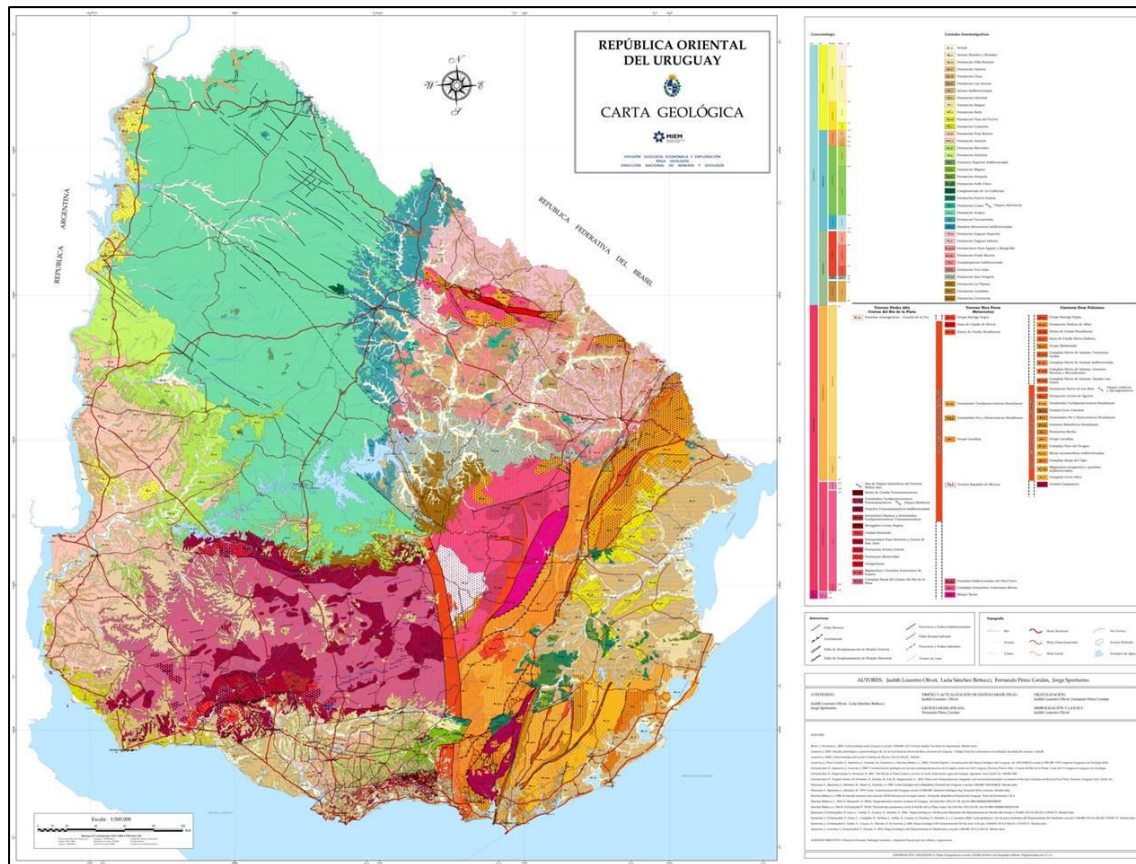


Figura 5. Mapa geológico de Uruguay a escala 1:500.000 (tomado de DINAMIGE, 2017).

El Terreno Piedra Alta ha sido correlacionado con el basamento de Tandilia, en la provincia de Buenos Aires, Argentina (Ferrando, 1996). Por otro lado, el bloque más antiguo del basamento cristalino, representado por el Terreno Nico Pérez, se correlaciona a nivel regional con el Bloque Taquarembó en Río Grande del Sur, Brasil (Oyhantçabal et al., 2011); mientras que el CDF, presente en el sector más oriental de Uruguay, se continúa en el sureste de Brasil, más concretamente por la costa atlántica, hasta Santa Catarina. A su vez, este cinturón orogénico se correlaciona, más al norte, con el cinturón Ribeira en la costa atlántica brasilera (Fragoso Cesar et al., 1991 *apud* Sánchez Bettucci et al., 2010b) y con otros de la costa suroeste africana, cinturones Damara, Gariep y Kaoko (Trompette 1997; Pedrosa Soares et al. 2001; Cawood 2005, *apud* Sánchez Bettucci et al. 2010b).

El basamento cristalino se encuentra mayormente cubierto por cuencas sedimentarias fanerozoicas. Entre estas se destacan la denominada cuenca Norte, que posee depósitos sedimentarios Devónicos y Permo-Carboníferos, depósitos volcano-sedimentarios Juro-Cretácicos, en conjunto con un importante magmatismo mesozoico asociado a la ruptura del supercontinente Gondwana Occidental (Veroslavsky et al., 2004; Veroslavsky et al., 2006). Además, en la región meridional están presentes

² Visualizador Geológico Minero de DINAMIGE: https://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/Dinamige_MVC2/

las cuencas extensionales de Santa Lucía y Laguna Merín, controladas por el lineamiento denominado SaLAM (Santa Lucía-Aiguá-Merín), asociadas a la apertura del océano Atlántico Sur (Rossello et. al., 2000). Finalmente, en la región oeste se encuentra la cuenca intracratónica denominada Litoral del Río Uruguay con rellenos sedimentarios del Cretácico-Cenozoico, que posee una historia deposicional particular al resto de las cuencas del país (Goso & Perea, 2004).

Los sedimentos fanerozoicos, al igual que el basamento, tienen su correlación a nivel regional; siendo la cuenca Norte, que abarca unos 90.000 kilómetros cuadrados del centro-norte del país, una pequeña porción de la Cuenca del Paraná (de Santa Ana et al., 2006). A su vez, el magmatismo mesozoico en Uruguay constituye parte de la gran provincia ígnea de Paraná-Etendeka, que aflora en el sureste sudamericano y suroeste africano, abarcando una superficie aproximada de 1,5 millones de kilómetros cuadrados (Courtillot & Renne, 2003). Por otro lado, la sedimentación post-basáltica se continúa geográficamente en la Mesopotamia argentina (Goso & Perea, 2004).

3.3 Geomorfología

La geomorfología del territorio uruguayo está modelada, en el sur, en el área cratónica denominada “Escudo Brasileiro”, y, en el norte, sobre los bloques de la Isla Cristalina (Rivera y Aceguá) o “Escudo Uruguayo-Riograndense”. Al igual que el Escudo principal, el Escudo Uruguayo-Riograndense está hundido en forma escalonada en dirección noroeste y oeste, hacia la Cuenca del Paraná, y elevado en su extremo sureste. A partir de allí, en la zona de contacto con las fosas tectónicas de la Plataforma Sudamericana, se hunde abruptamente generando una escarpa cercana y paralela a la línea costera (Antón, 2008; Fig. 6).

La evolución del paisaje uruguayo es resultado de una variedad de climas regionales a lo largo de su historia geológica. Su paisaje presenta características diferentes debido básicamente al marco estructural, dado que el tamaño de su territorio sugiere que las condiciones climáticas fueron relativamente uniformes para toda la superficie del país para cada período geológico estudiado (Panario et al., 2014).

Las principales regiones morfoestructurales se caracterizan por eventos tectónicos y, dentro de cada región, por la variedad de tipos de rocas involucradas, que confieren al paisaje sus características peculiares (Panario, 1988).

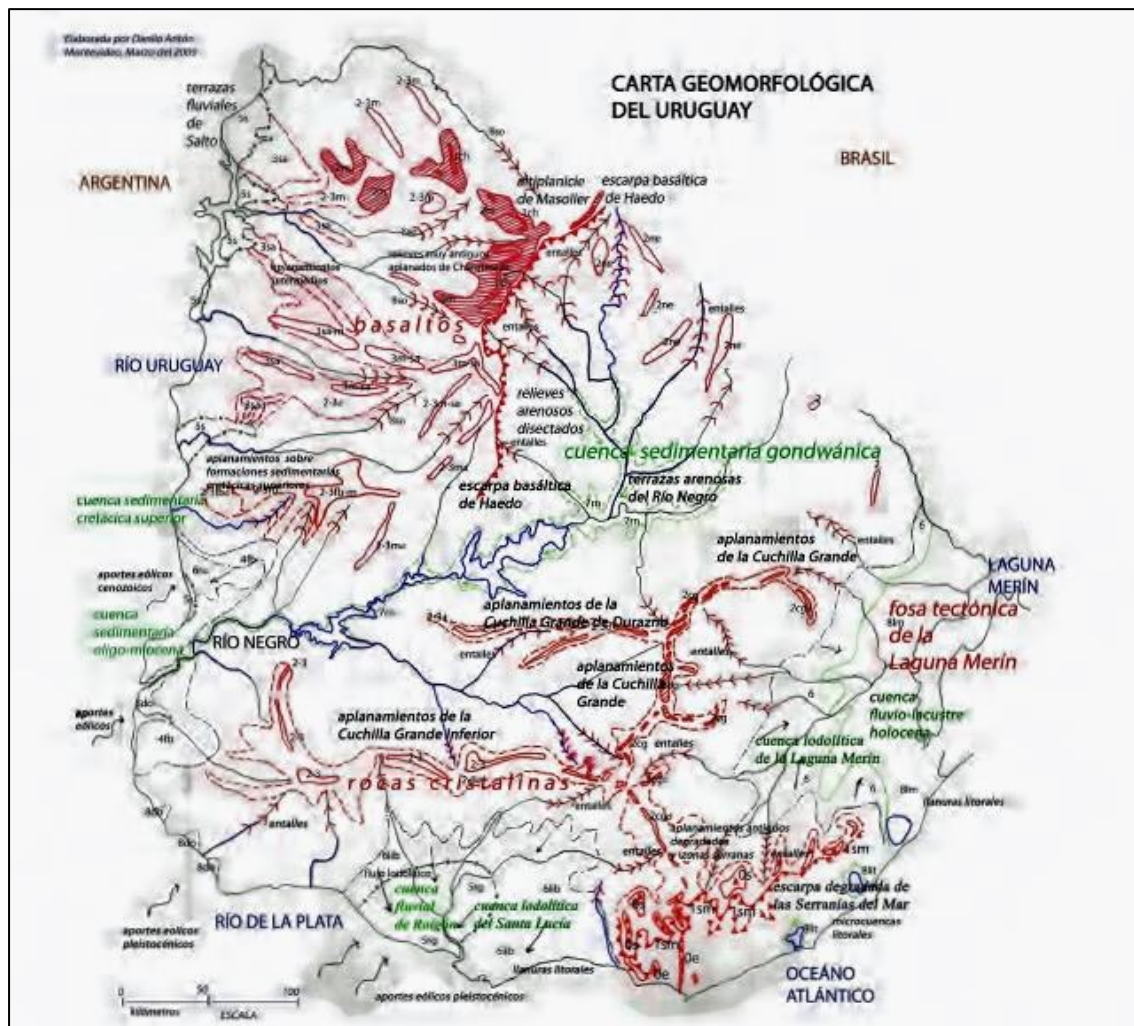


Figura 6. Carta geomorfológica de Uruguay (tomado de Antón, 2008).

3.4 Geodiversidad

Si bien Uruguay es un país pequeño en el contexto sudamericano posee una geología compleja y variada, desde el punto de vista cronológico y litológico, que le confiere una interesante geodiversidad. Cuenta con registros geológicos desde el Arqueano hasta el Fanerozoico, por lo que su territorio comprende dominios geológicos que representan la historia de la Tierra desde épocas remotas hasta fechas más recientes en la tabla cronoestratigráfica (ver Fig. 7).

A efectos de una caracterización cualitativa de la geodiversidad uruguaya (Fig. 8), podemos enumerar:

1. Variedad de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y sedimentos, que registran buena

parte de la evolución tectono-estratigráfica desde el Arqueño (Masquelin, 2006), con algunos de los remanentes más antiguos en América del Sur (Hartmann et al., 2001), hasta el Holoceno, con depósitos recientes y actuales (García Rodríguez, 2011).

2. Unidades geológicas que conforman una columna estratigráfica muy completa, con casi todos los periodos de la historia de la Tierra representados (Goso, et al., 2016).
3. Variedad de antiguos ambientes, tanto marinos, transicionales y continentales (Veroslavsky et al., 2006); eventos tectónicos, compresivos y extensivos (Masquelin, 2006); y evolución de paisajes (Panario et al., 2014). Con procesos erosivos y deposicionales continentales y marinos actuales (Goso & Goso, 2004; García Rodríguez, 2011).
4. Variedad de formas de relieve antiguas y estructuras que representan distintos eventos geológicos (Panario et al., 2014).
5. Importante registro paleontológico, tanto fósiles –macro y micro- como icnofósiles (Perea, 2011); con algunos de los registros más antiguos de América del Sur (Pecoits et al., 2012).
6. Variedad de recursos minerales no metálicos, entre ellos áridos, calizas, rocas ornamentales, ágatas y amatistas (Coronel et al., 1987); y ciertos yacimientos de minerales metálicos, principalmente oro y hierro (Bossi, 1978).
7. Ampla diversidad de tipos de suelos como patrimonio natural destacado (RENARE, 2016).
8. Diversidad de provincias hidrogeológicas, dada la conformación geológica del subsuelo (Heinzen et al., 1986; Montaña Xavier et al., 2006).

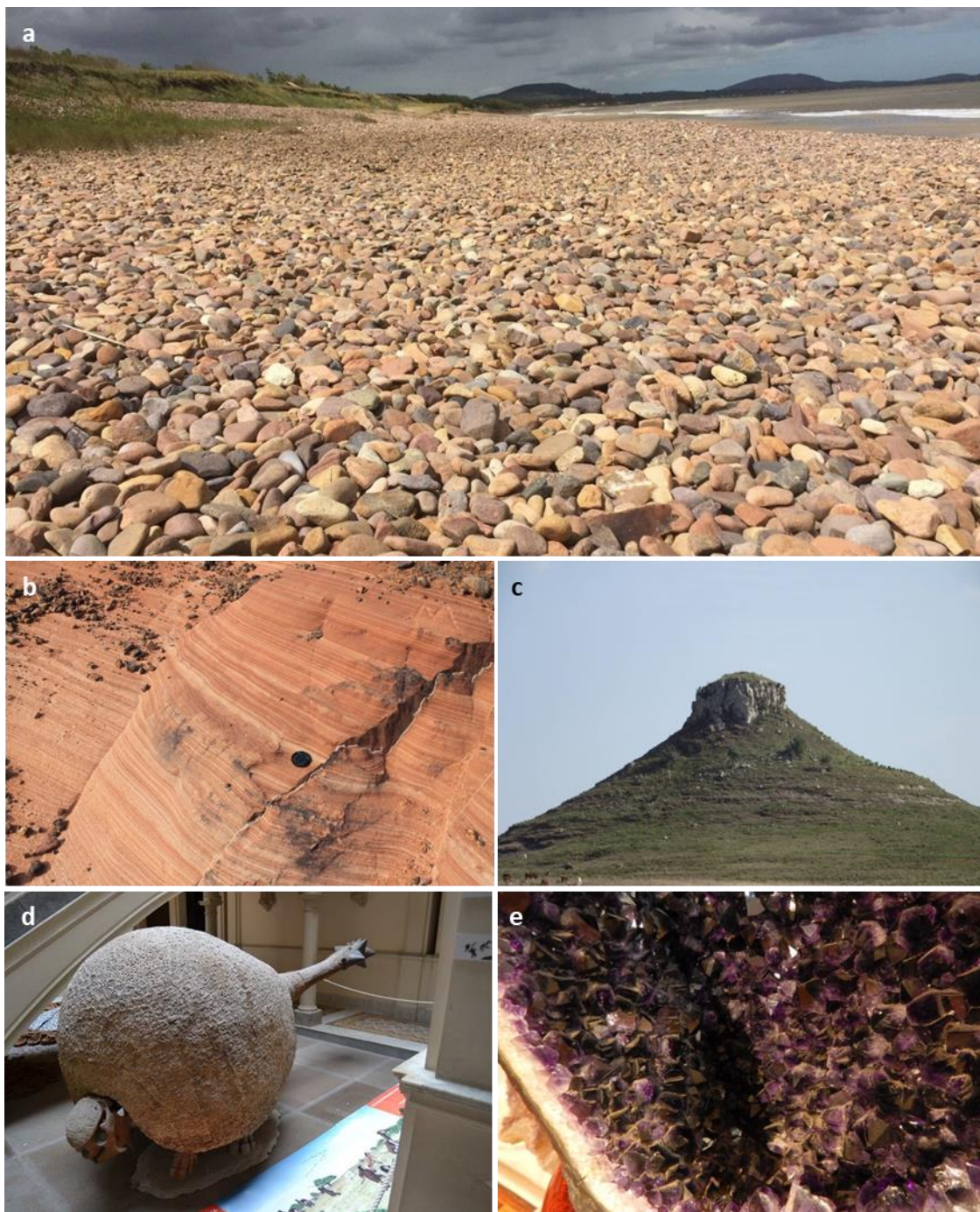


Figura 7. Ejemplos de elementos geológicos que ilustran la geodiversidad de Uruguay. a-Variedad de rocas en cantos rodados de depósito de playa Bella Vista (departamento de Maldonado). b-Areniscas estratificadas, registro del paleodesierto de Botucatú (departamento de Rivera). c-Cerro Batovi, ejemplo de los cerros mesetiforme del norte del país (departamento de Tacuarembó). d-Fósil de gliptodonte, ejemplar de la megafauna pleistocena de Sudamérica en Uruguay (exhibido en el Museo de Arte Precolombino e Indígena, Montevideo). e-Geoda de amatista, piedra semipreciosa destacada por su calidad a nivel mundial (pieza exhibida en el Museo Geominero de DINAMIGE, Montevideo).

4. Resultados

4.1 Contextos geológicos / categorías temáticas

Del presente trabajo se definieron 9 contextos geológicos o categorías temáticas para el inventario. El conjunto de estas categorías ilustran los principales eventos/procesos geológicos, que permiten describir la historia geológica y las principales etapas de su evolución, en el territorio que es hoy Uruguay. Para cada una de estas fueron seleccionados dos sitios de interés geológico, siendo estos algunos de los más representativos para cada una de las categorías respectivas. La consolidación del inventario del patrimonio geológico de Uruguay debe incluir un número más significativo de sitios de interés geológico por categoría, tarea que excede los alcances de este trabajo. En relación a la cantidad de categorías definidas, esto se discute en el siguiente capítulo. En este capítulo se describen las categorías en conjunto con la caracterización de los sitios seleccionados.

4.1.1 Terrenos Precámbricos

Las rocas del basamento cristalino de Uruguay se agrupan en lo que ha sido denominado por varios autores como “Escudo Uruguayo” (Masquelin, 2006), “Zócalo Cristalino” (Preciozzi et al., 1979), “Escudo Precámbrico”, “Predevónico” o “Predevoniano” (Bossi et al., 1965). El basamento cristalino es una combinación de bloques corticales de diferente naturaleza e historia geológica, separados por discontinuidades, que abarcan un área aproximada a 44% del territorio continental (Masquelin, 2006; Fig. 9). Este aflora principalmente en el sur y este del país, además de las islas cristalinas de Rivera y Aceguá en el norte. Está constituido por rocas precámbricas, parcialmente recubiertas por grandes áreas de depósitos sedimentarios fanerozoicos (Núñez Demarco et al., 2018).

Este basamento está conformado por rocas metamórficas e intrusivas plutónicas, además de hipoabisales. Entre las rocas metamórficas se encuentran gneises, migmatitas, granulitas, esquistos, anfibolitas, además de rocas metamórficas de bajo grado. Presenta transiciones graduales entre gneises, migmatitas y rocas graníticas, con intercalación de cinturones de rocas metamórficas supracorticales en toda su extensión. Estos cinturones están compuestos por rocas de protolitos volcánicos y sedimentarios, con metamorfismo muy bajo a medio. Dichos cinturones metamórficos, al igual que su basamento granito-gnéissico, fueron afectados por deformación y recortados por

intrusiones de rocas plutónicas e hipoabisales. Debido a la dificultad para separar y establecer una estratigrafía coherente, estas rocas son comúnmente agrupadas dentro del Basamento Cristalino (Núñez Demarco et al., 2018).

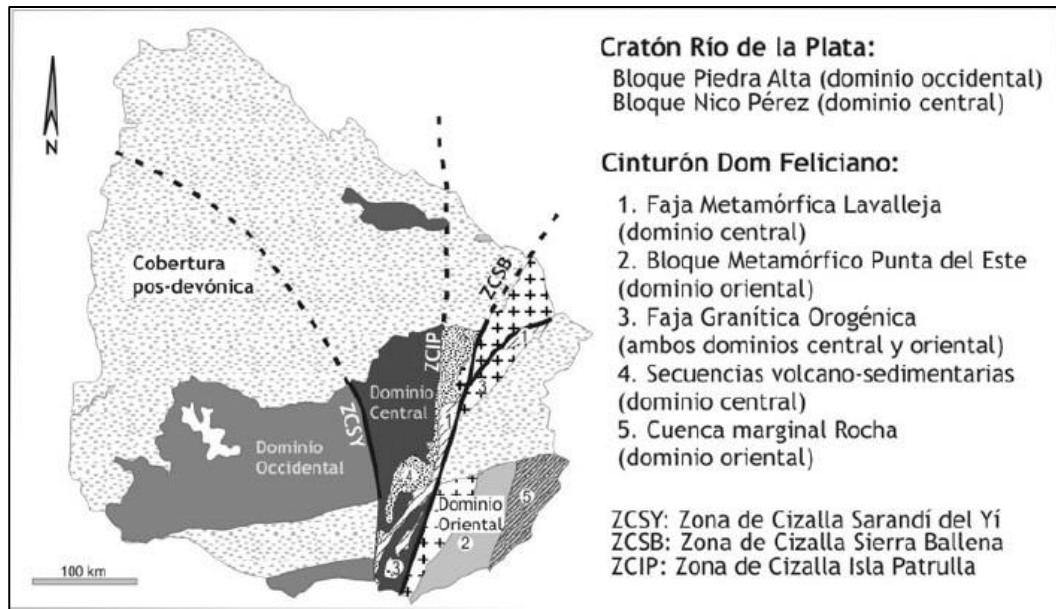


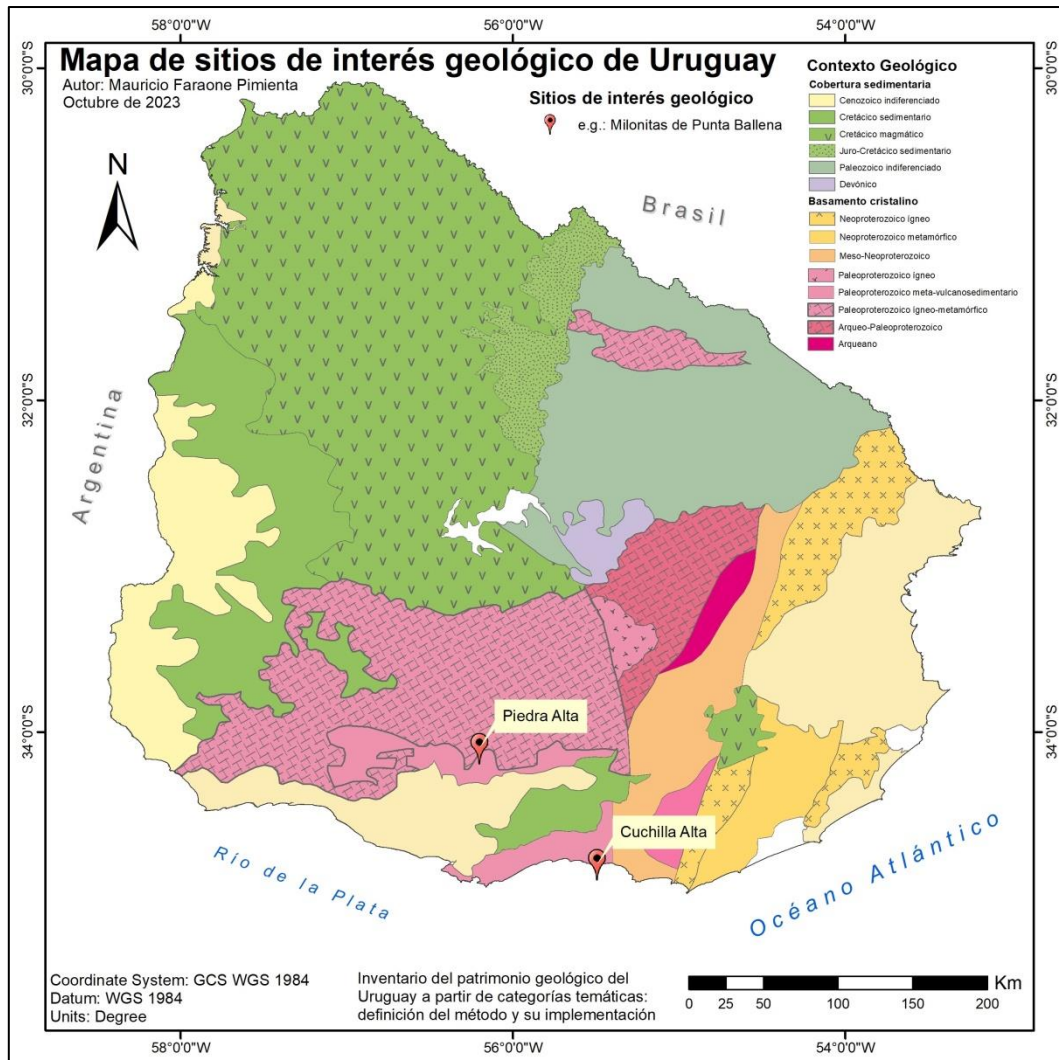
Figura 9. Estructura del Escudo Uruguayo, dividido en tres dominios separados por zonas de cizalla (tomado de Masquelin, 2006).

El basamento cristalino uruguayo suele dividirse, por criterios tectono-estratigráficos, de oeste a este, en tres dominios: el occidental, denominado Terreno Piedra Alta (Bossi et al. 1993), que constituye un área con estabilidad tectónica desde el Paleoproterozoico (Sánchez Bettucci et al., 2010a; Oyhançabal et al., 2011), con una geología relacionada al ciclo orogénico Transamazónico (2200 a 1800 Ma); el central, conocido como Terreno Nico Pérez (Bossi & Campal, 1992), constituido por rocas de edades arqueanas, paleo-, meso- y neoproterozoicas y con una historia tectono-metamórfica poli-orogénica; y el oriental, conocido como Cinturón Dom Feliciano (Fragoso César, 1980), que constituye un cinturón orogénico de edad neoproterozoica relacionado al ciclo orogénico Brasiliano-Panafricano (750 a 550 Ma), producto de la convergencia entre los cratones Río de La Plata, Kalahari y Congo y la consecuente formación del supercontinente Gondwana Occidental (Sánchez Bettucci et al., 2010b).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 10), dos de los que representan este contexto geológico son: *basamento paleoproterozoico de la Piedra Alta*, de interés geológico en el campo de la petrología; y *secuencia neoproterozoica de Cuchilla Alta*, en estratigrafía.

Ambos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geológicas, son ejemplos raros por sus características, con afloramientos bien conservados y donde se realizaron estudios con la edición de publicaciones científicas.



El *basamento paleoproterozoico de la Piedra Alta*, ubicada en la ciudad de Florida (Fig. 11), constituye un afloramiento de interés petrológico para entender la evolución del Cratón del Río de la Plata, pieza del ensamblaje del Gondwana suroccidental (Rapela et al. 2011). Este sitio constituye la localidad tipo del terreno tectono-estratigráfico Piedra Alta (Bossi et al., 1993), representante del Cratón del Río de la Plata en Uruguay (Oyhantçabal et al., 2011). La importancia geológica de este afloramiento (Fig. 12), de rocas de composición granítica, radica en que en una pequeña superficie es posible observar evidencias del evento magmático que tuvo lugar en las últimas etapas del ciclo

orogénico Transamazónico durante el Paleoproterozoico (Fig. 13). Este evento está registrado en la granodiorita Piedra Alta, datada en 2110 ± 4 Ma (Basei et al., 2016).



Figura 11. Imagen satelital del afloramiento de la Piedra Alta, ubicado en un parque urbano de la ciudad de Florida (centro-sur).



Figura 12: Estructuras magmáticas presentes en los afloramientos de la Piedra Alta.

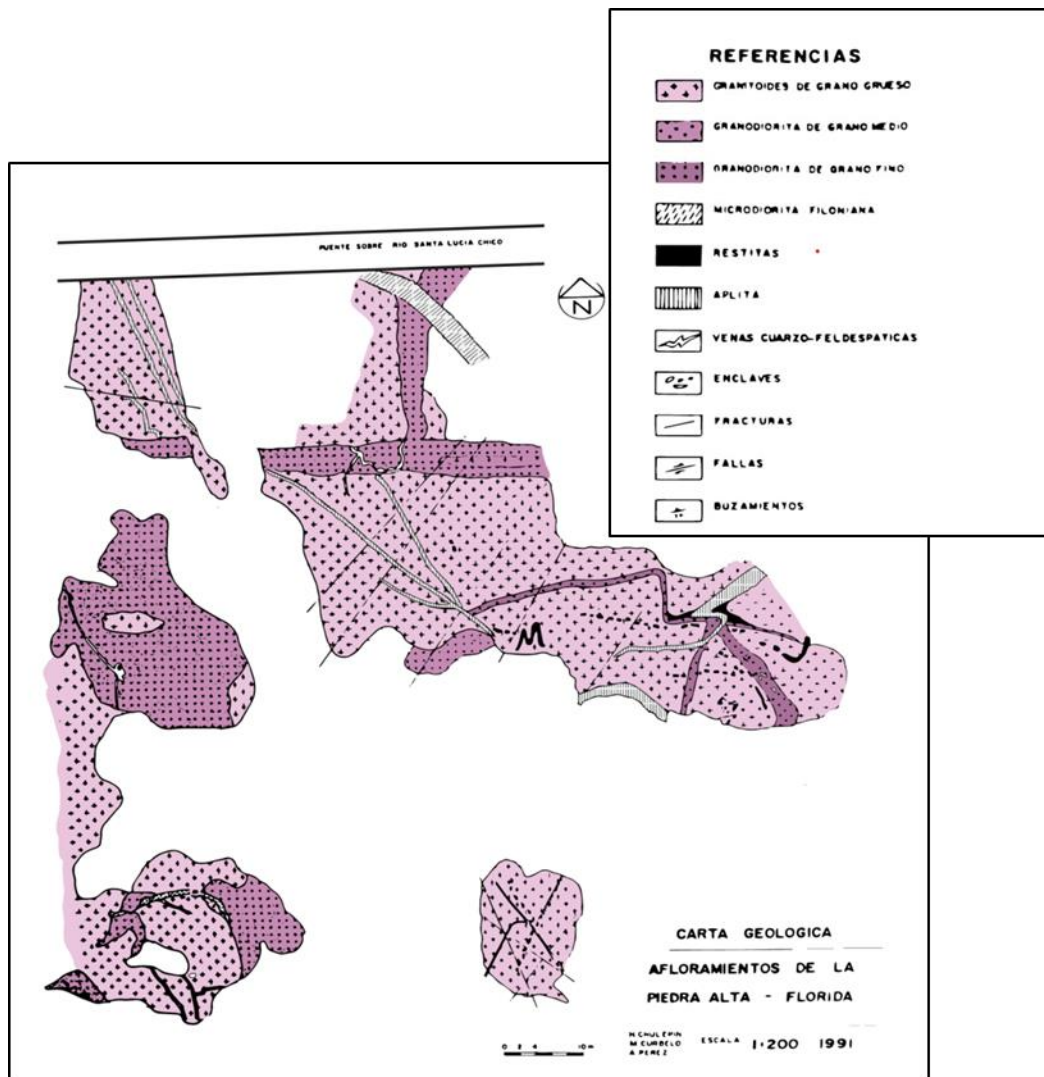
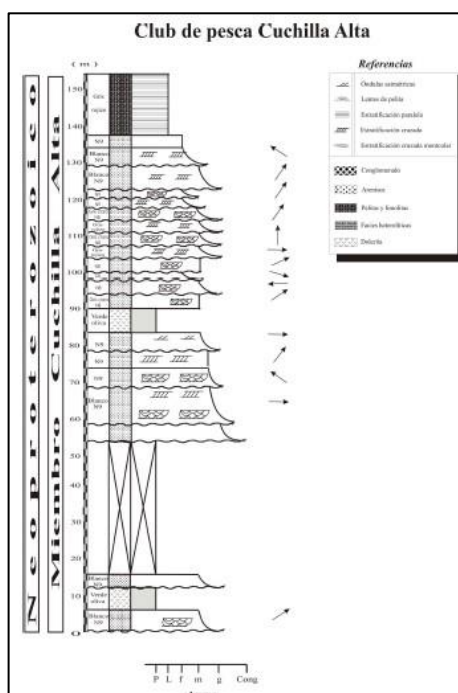
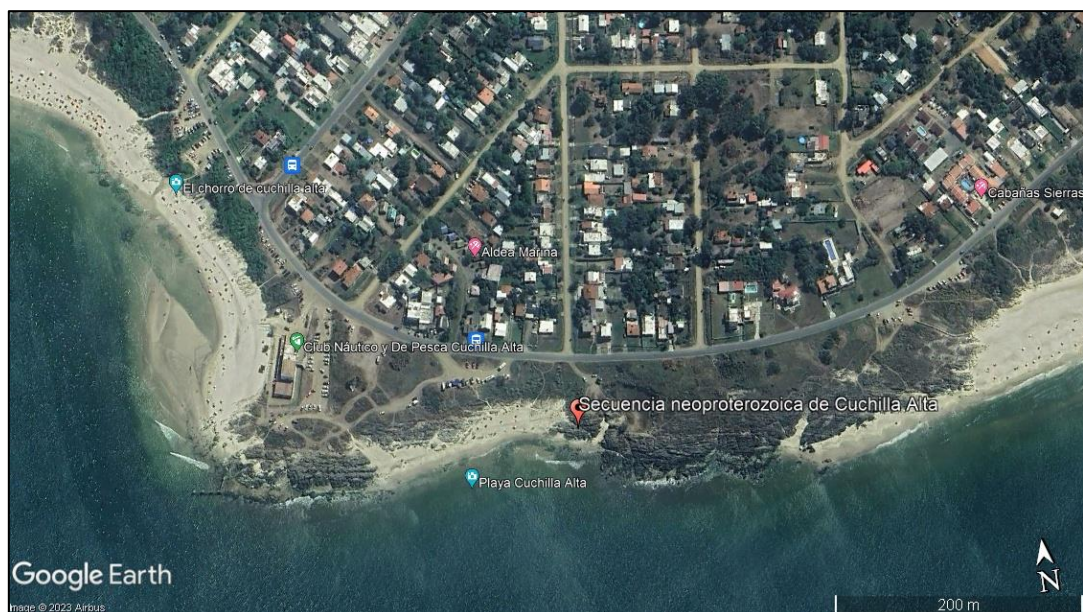


Figura 13: Esbozo geológico del afloramiento de la Piedra Alta (en blanco, zonas sin rocas aflorantes), modificado de Chulepin et al. (1991).

La *secuencia neoproterozoica de Cuchilla Alta* es el único relictos erosivo de una secuencia de cobertura siliciclástica y carbonática neoproterozoica sobre el basamento del Terreno Piedra Alta (Cratón del Río de la Plata en Uruguay), de gran interés para la correlación entre las unidades de origen sedimentario neoproterozoicas (Ediacárico superior) del Gondwana Occidental, miembro de la Formación Piedras de Afilar (Pamoukaghlián et al., 2021). Este afloramiento, ubicado en el balneario homónimo de la costa rioplatense del departamento de Canelones (Fig. 14), está constituido por meta-areniscas con estratificación cruzada tipo hummocky y en artesa (Fig. 15), indicando direcciones de paleocorrientes, recortadas por diques de dolerita (Fig. 16).



4.1.2 Orogenia Brasileira

Los eventos tectónicos que afectaron el borde oriental del cratón del Río de la Plata y los bloques adyacentes, reflejan etapas sucesivas del ciclo orogénico Brasileño (entre 750 y 550 Ma). Estos tuvieron lugar en cinturones móviles que formaban parte del supercontinente Gondwana Occidental. En Uruguay se encuentran representados por el Cinturón Dom Feliciano (CDF), definido por Fraga Cesar (1980), el cual se extiende, de forma paralela a la costa atlántica, por más de mil kilómetros desde la

costa uruguaya continuando en el sur del Brasil (Fig. 17). Este se conecta con otros cinturones móviles, como el de Ribeira, en Brasil, y los de Kaoko, Damara y Gariep, en el suroeste de África (ver Sánchez Bettucci et al. 2010b y referencias). Estos cinturones resultan del ensamblaje del Gondwana Occidental, producto de la convergencia de los cratones Río de la Plata, Congo y Kalahari durante el Neoproterozoico (Basei et al., 2000).

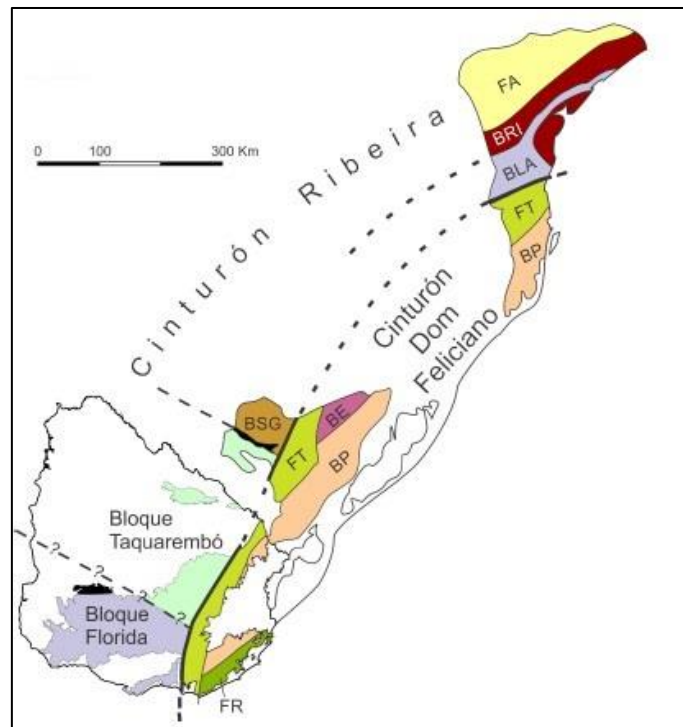


Figura 17. Esquema tectónico del CDF, según Fragozo Cesar (1990), para Uruguay y sur de Brasil (tomado de Núñez Demarco et al., 2019).

El CDF en Uruguay se extiende por más de 300 kilómetros del centro-sur y este del país (Fig. 17). Es el dominio estructural de mayor complejidad estratigráfica, debido a su geología y a las múltiples propuestas estratigráficas de las unidades que lo integran (Núñez Demarco et al., 2019). Estas unidades geológicas están formadas por porciones del basamento cristalino retrabajado, rocas supracorticales y rocas ortoderivadas que se presentan como franjas alargadas, delimitadas por zonas de cizalla de carácter regional (Fragoso Cesar, 1980; Basei et al., 2000; Sánchez Bettucci et al. 2010b; Hueck et al., 2018; Philipp et al., 2016).

Este dominio está limitado al Noroeste con el Terreno Nico Pérez a través de la Zona de Cizalla Fraile Muerto – María Albina (Sánchez Bettucci et al. 2010b), al Oeste con el Terreno Piedra Alta mediante la zona de cizalla Sarandí del Yí (Oyhantçabal et al., 1993) y al Este con el Terreno Punta del Este mediante la zonas de cizalla Alférez-Cordillera (Masquelin, 1990). Otros autores dividen en dos la

región del CDF, siendo su límite oriental la Zona de Cizalla Sierra Ballena (ver Núñez Demarco et al., 2018 y referencias). De esta forma, consideran las unidades al Oeste de este límite como parte del Terreno Nico Pérez (Bossi & Campal 1992), mientras que las del Este como parte del Terreno Cuchilla de Dionisio (Bossi et al., 2001). Los estudios radiométricos publicados se ubican en el intervalo 630-550 Ma (Ediacárico), tanto para las cizallas menores como para Sarandí del Yí y Sierra Ballena, indicando que la deformación transcurrente fue activa durante al menos 80 millones de años (Oyhantçabal et al., 2022).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 18), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: *Milonitas de Punta Ballena* y *Milonitas de Aguas Blancas*, ambos de interés geológico principal tectónico/estructural. Estos sitios son los mejores representantes de dos zonas de cizalla de mayor orden dentro de este dominio geológico, poseen un buen estado de conservación y grado de conocimiento científico.

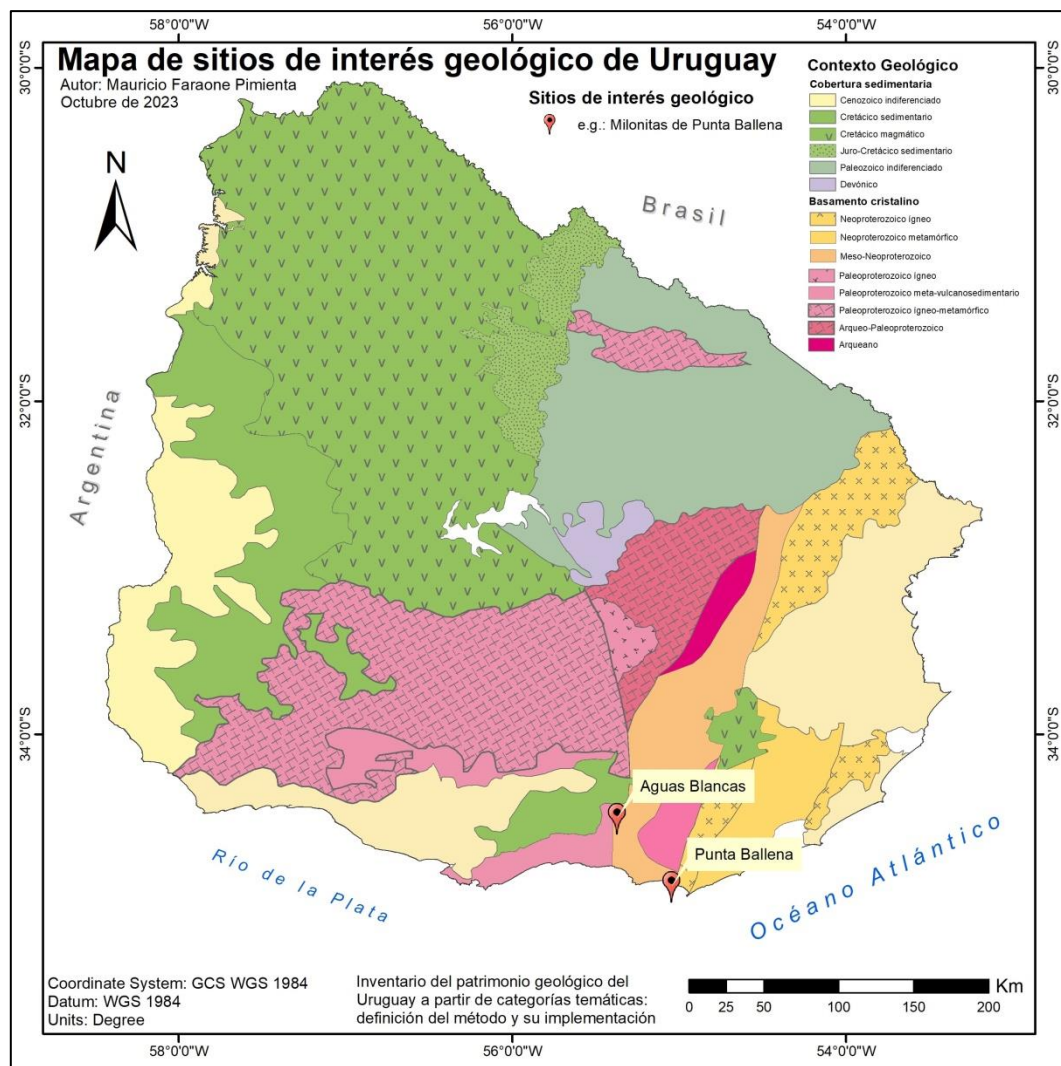


Figura 18. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (2).

Las *Milonitas de Punta Ballena* se localizan en una punta rocosa que constituye el punto más meridional de la denominada Sierra Ballena (Gómez Rifas, 1995; Fig. 19, Fig. 20). Este sistema serrano da el nombre a la Zona de Cizalla Sierra Ballena (ZCSB). Esta zona tiene una extensión lateral de tan solo cientos de metros, pero se extiende por más de 250 kilómetros en rumbo noreste hasta el Cerro Largo (en el departamento homónimo). Esta representa el principal exponente de las zonas de cizalla nucleadas a finales de la orogenia Brasiliana, siendo la de mayor destaque en el relieve uruguayo (Oyhantçabal, 2005). En ella se encuentran afloramientos donde se pueden observar rocas miloníticas de diferentes protolitos y diversas estructuras tectónicas de interés (Fig. 21), para interpretar la evolución del ciclo orogénico Brasiliano durante el Neoproterozoico (Oyhantçabal et al., 2009). De la ZCSB se reconocen dos principales eventos transpresivos, uno a los 658-600 Ma y otro entre los 580 y 560 Ma (Oyhantçabal et al., 2010).

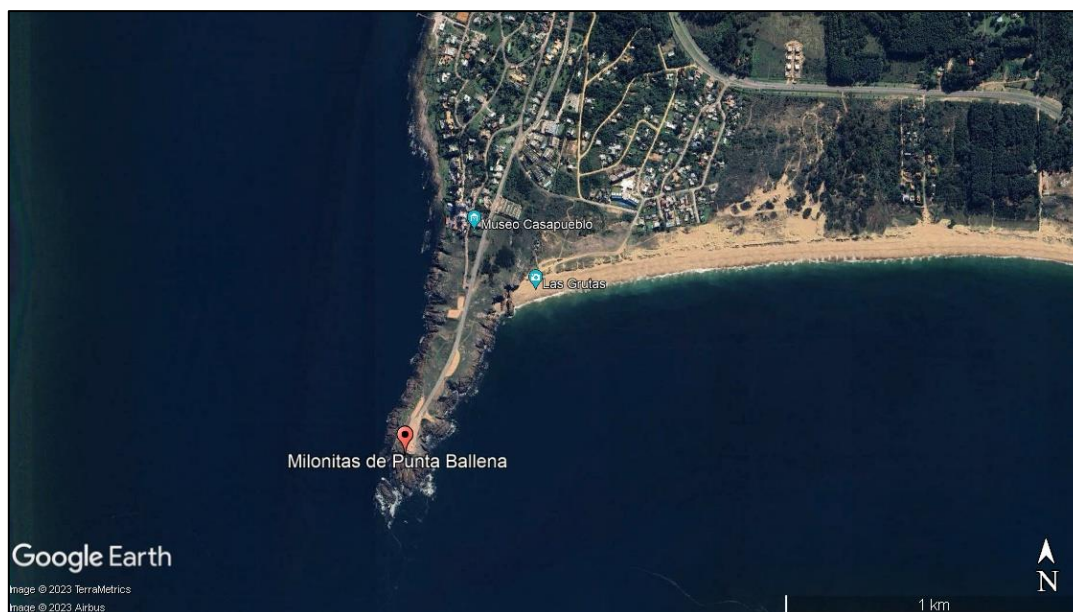


Figura 19. Imagen satelital de Punta Ballena, ubicada en la costa de Maldonado (sureste).

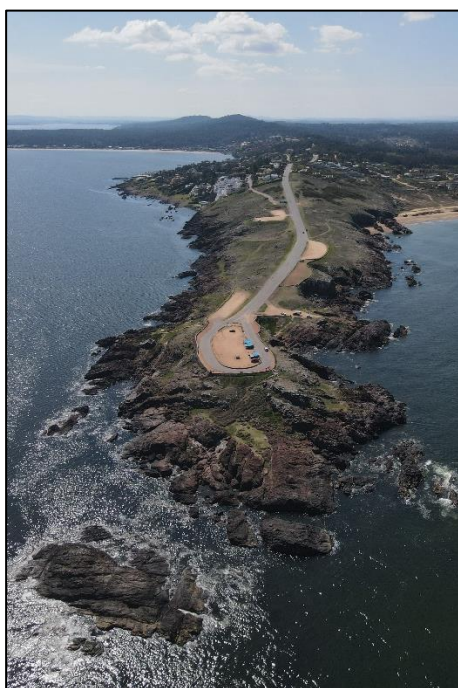


Figura 20. Vista panorámica (aérea) de la Punta Ballena, con su característica forma que da su nombre y se adentra en el mar

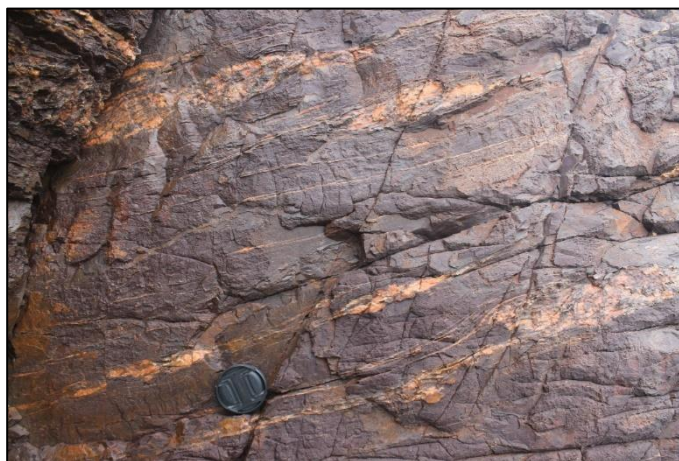


Figura 21. Detalle de afloramiento vertical de milonitas con marcada foliación, con desarrollo de cuarzo en *ribbons* plegados.

Las *Milonitas de Aguas Blancas*, ubicadas en un parque municipal en el departamento de Lavalleya (Fig. 22), constituyen un afloramiento de interés para entender la evolución de la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (ZCSY). Esta es una zona de cizalla de carácter regional, que se extiende entre la localidad de Sarandí del Yí (departamento de Durazno), al norte, y la Sierra de Ánimas (departamentos de Lavalleya y Maldonado), al sur (Preciozzi et al., 1979; Bossi & Campal, 1992; Oyhançabal et al., 1993). Estas milonitas conforman una faja con dirección N-S al N30°, que presentan una intensidad de deformación variable entre milonitas, ultramilonitas, y filonitas. Constituyen una de las fajas en las

que se divide la ZCSY en su extremo sur. En esta faja se identificó que, la ZCSY tuvo un primer evento de carácter cinemático dextral con sucesivos eventos de reactivación sinistral (Fig. 23), durante la orogenia Brasiliana (Oyhantçabal et al., 1993; 2011; Oriolo et al, 2015). Estos eventos se inician con una deformación dúctil a los 630-625 Ma, culminando con una etapa de deformación frágil a los 570 Ma (Oriolo et al, 2016). Además, la ZCSY se destaca por ser considerada como el borde oriental del Cratón del Río de la Plata (Oyhantçabal et al., 2011).



Figura 22. Imagen satelital de Aguas Blancas, parque municipal en el departamento de Lavalleja (este).



Figura 23. Detalle de milonitas con desarrollo de porfiroclastos de feldspatos asimétricos, útiles como indicadores cinemáticos.

4.1.3 Magmatismo Ediacárico

El magmatismo ediacárico del Uruguay, y sur del Brasil, es producto de la evolución del Cinturón Dom Feliciano (CDF) durante el ciclo orogénico Brasileiro (Almeida, 1973). El CDF en conjunto con otros cinturones de Sudamérica integra lo que se denomina la Provincia Mantiqueira, la cual resulta de la amalgama del Gondwana Occidental durante el Neoproterozoico (Heilbron et al., 2004). Este cinturón está constituido por secuencias volcano-sedimentarias metamorfizadas, intenso magmatismo granítico y depósitos de cuencas post-colisionales (Sánchez Bettucci et al. 2010b).

El magmatismo granítico es un rasgo sobresaliente a lo largo del CDF (Fig. 24). La actividad ígnea, que caracterizó al ciclo orogénico Brasileiro, involucró magmatismo de arco y post-orogénico. El magmatismo de arco está representado por el Complejo Carapé (Sánchez Bettucci, 1998). El magmatismo post-orogénico está indicado por la ocurrencia de rocas graníticas de diferente composición, agrupadas en los batolitos Aiguá y Dionisio (continuación de los batolitos Pelotas y Florianópolis, en Brasil). Las edades de este magmatismo varían entre los 630 a los 570 Ma (Oyhantçabal et al., 2007). Este se divide en dos dominios principales, separados en Este y Oeste por la Zona de Cizalla Sierra Ballena, según las diferencias isotópicas (Lara et al., 2020).

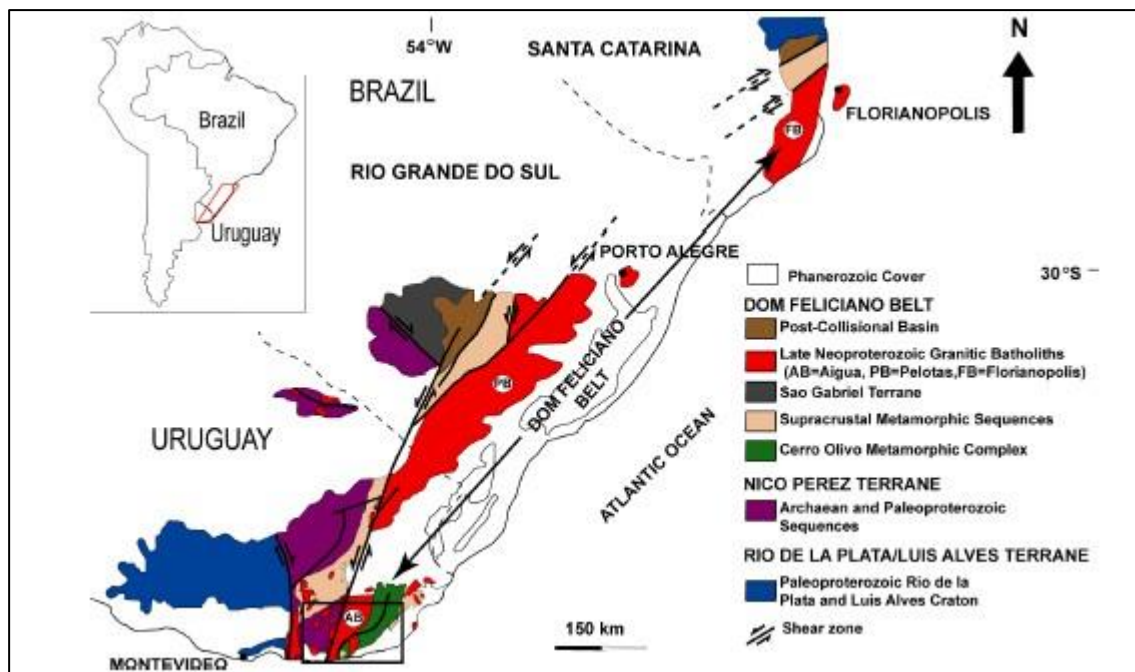


Figura 24. Unidades geológicas y características tectónicas del CDF del sureste de Uruguay y Brasil. En color rojo, se destacan los batolitos graníticos ediacáricos (tomado de Lara et al., 2020).

En el sector sur del CDF, se reconoce un conjunto de rocas volcánicas a plutónicas, emplazadas en

unidades del Arqueano, Paleo-, Meso- y Neoproterozoico, interrumpidas por las fosas tectónicas Mesozoicas y la cobertura Cenozoica. La distribución regional de este magmatismo se relaciona a las zonas de cizalla mayores. Se distinguen diferentes dominios, con plutones elongados y generalmente deformados, emplazados en, o adyacentes a las zonas de cizalla; de plutones emplazados en el dominio central, sin deformación, que conforman el Batolito de Polanco (Spoturno et al., 2022). Por otro lado, los términos volcánicos e hipabisales ocurren en todos los dominios, asociados al Complejo Sierra de Ánimas, a las formaciones Barriga Negra, las Ventanas y San Carlos, y a las porfiritas del Cerro Catedral (Spoturno et al., 2012).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 25), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: *plutón granítico de Polanco* y *rocas volcánicas y plutónicas de Sierra de las Ánimas*, de interés geológico en petrología y geomorfología, respectivamente. Estos sitios son los mejores representantes de los términos plutónicos y volcánicos de este dominio geológico, se encuentran íntegros y poseen un alto grado de conocimiento científico.

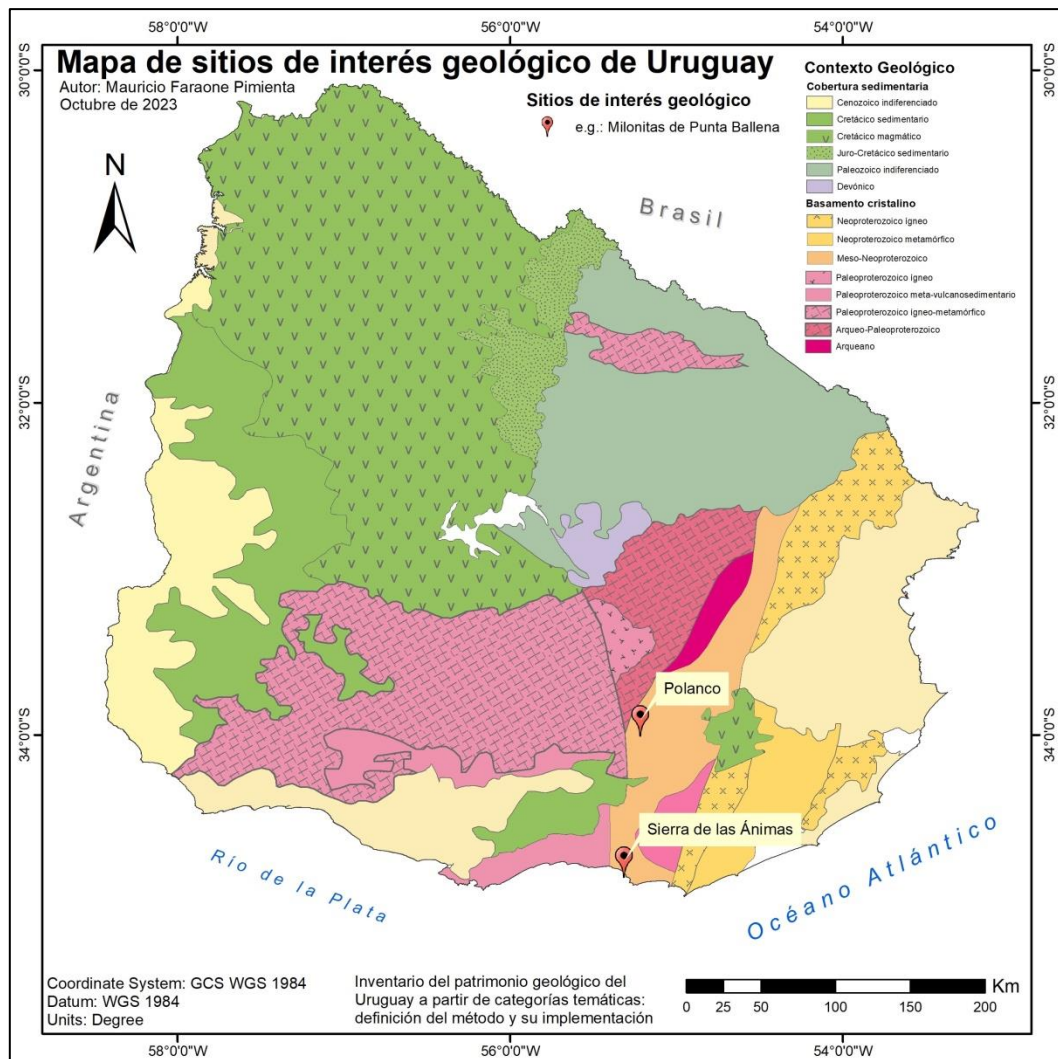


Figura 25. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (3).

El *plutón granítico de Polanco* se encuentra al norte de la ciudad de Minas, departamento de Lavalleja. Constituye un cuerpo de granito subcircular que forma parte del Complejo de Polanco (Preciozzi et al., 1981). El complejo comprende a varios plutones en un área mayor a los mil kilómetros cuadrados (Spoturno et al, 2022). Está constituido por diversas facies graníticas que consisten en granitos hornblendo-biotíticos, granitos biotíticos de grano grueso, leucogranitos de grano medio y diques de grano fino (Gallardo, 2015). El sitio seleccionado, ubicado próximo a la Ruta N°40 (Fig. 26), presenta un facies biotítico de grano grueso (Fig. 27b). Este desarrolla varios cuerpos con pedregosidad considerable, conformando un paisaje de sierras (Fig. 27a), desarrollando las geoformas características de *tors* y se encuentran recortados por diques de leucogranitos. Su análisis geoquímico permite caracterizar a estos cuerpos graníticos como de afinidad calco-alcalina de alto K a shoshonítica, con facies que poseen carácter químico peraluminoso y metaluminoso (Fort et al., 2020).

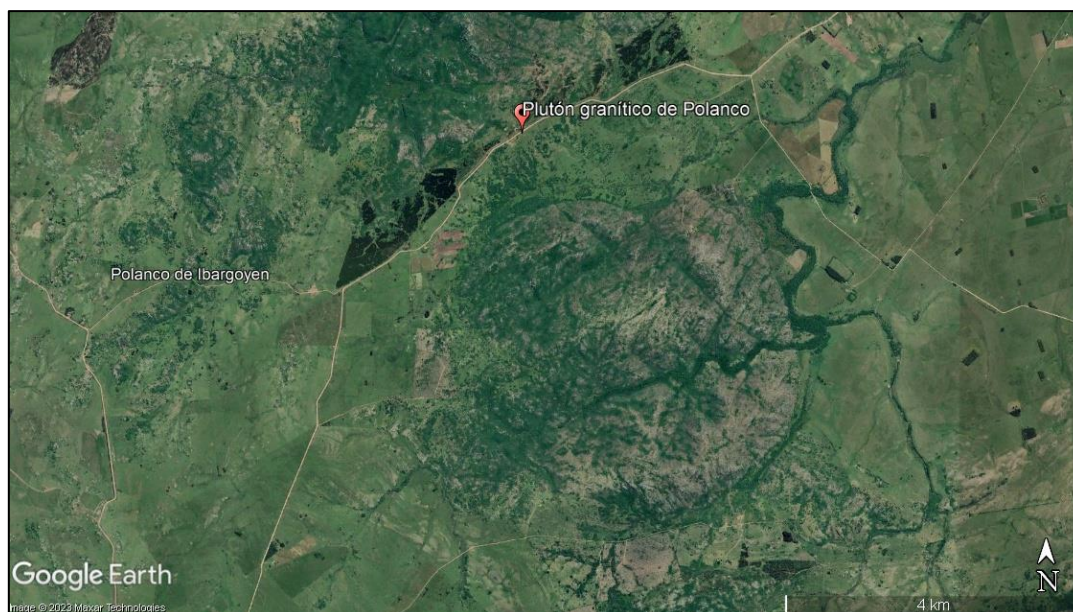


Figura 26. Imagen satelital del plutón granítico de Polanco, nótese la forma subcircular del mismo.



Figura 27. a-Relieve granítico en los alrededores de Ruta 40. b- Granito de facies biotítico de grano grueso, con textura porfírica (Fotos: Patricia Gallardo).

Las *rocas volcánicas y plutónicas de Sierra de las Ánimas* conforman un sistema serrano, el de mayor destaque geomorfológico del país (Fig. 28), con unos 501 msnm (Cerro de las Ánimas, el segundo más alto), de unos 4-5 km de ancho y 18 km de longitud, de dirección norte sur (Fig. 29), entre los departamentos de Lavalleja y Maldonado (Spoturno et al., 2012). Este sistema conforma el Complejo Sierra de Ánimas, compuesto por una asociación de rocas plutónicas, volcánicas y subvolcánicas generadas durante la evolución del ciclo orogénico Brasileño, producto de un proceso de relajamiento cortical (Sánchez Bettucci, 1997). Este complejo presenta una asociación mayoritaria de traquitas, con microsienita y pórfidos microsienítico formando parte del sustrato rocoso de la Sierra de las Ánimas (Spoturno et al, 2012). Las sienitas del Cerro Pan de Azúcar, incluidas en este complejo, están datadas en $579,5 \pm 1,5$ Ma (Oyhantçabal et al., 2007) y 563 ± 7 Ma (Gaucher et al., 2014).

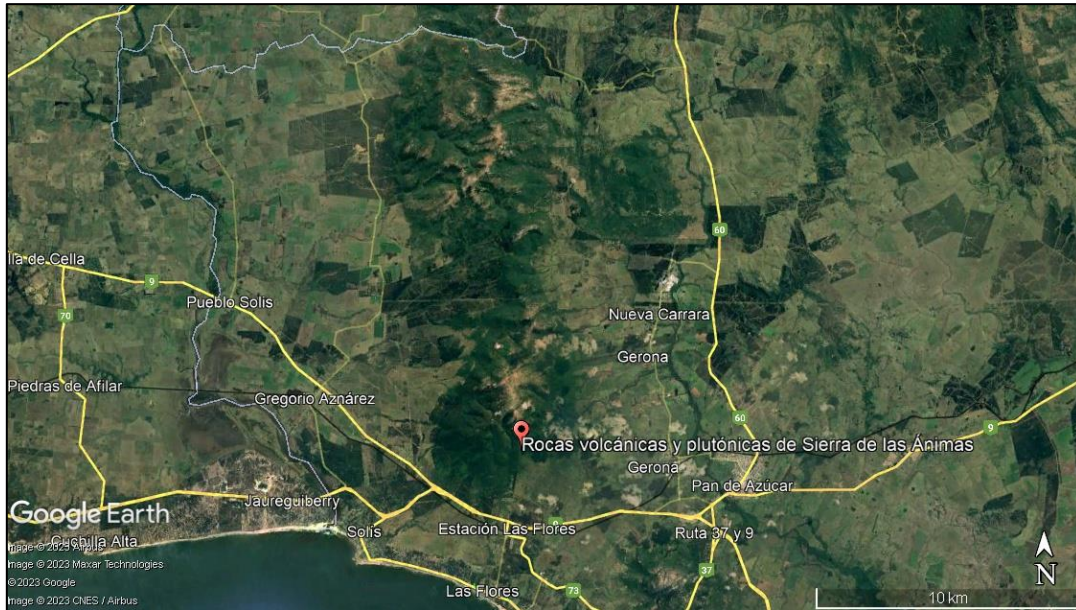


Figura 28. Imagen satelital del sector sur de la Sierra de las Ánimas, próximo a Pan de Azúcar (departamento de Maldonado).



Figura 29. Vista panorámica de Sierra de las Ánimas desde el oeste, en su sector meridional (departamento de Maldonado).

4.1.4 Cuencas Gondwánicas

La Cuenca Paraná constituye una inmensa región sedimentaria en la actual América del Sur. Abarca parte de los territorios del sur de Brasil, oeste de Paraguay, nordeste de Argentina y norte de Uruguay, ocupando un área total aproximada de 1.500.000 km². Es una cuenca intracratónica polifásica desarrollada en el Gondwana Occidental, donde se superpusieron a lo largo de su evolución meso-cenozoica varias cuencas sedimentarias (Milani, 1997; de Santa Ana & Veroslavsky, 2004; Milani, 2004; de Santa Ana et al., 2006; Milani et al., 2007). Estas cuencas poseen un relleno sedimentario y volcano-sedimentario que abarcan distintos ciclos del Ordovícico al Cretácico. El registro estratigráfico de la Cuenca Paraná contiene seis supersecuencias sedimentarias (Milani, 1997; Fig. 30), denominadas Río Ivaí (Ordovícico Medio-Silúrico Inferior), Paraná (Devónico Inferior-Devónico Superior), Gondwana I (Carbonífero Superior-Triásico Inferior), Gondwana II (Triásico Medio-Triásico

Superior), Gondwana III (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) y Baurú (Cretácico Superior). Las primeras tres secuencias corresponden a ciclos transgresivos - regresivos Paleozoicos, mientras que las otras tres representan secuencias sedimentarias continentales con rocas ígneas asociadas (Milani & Thomaz Filho, 2000; Milani, 2004).

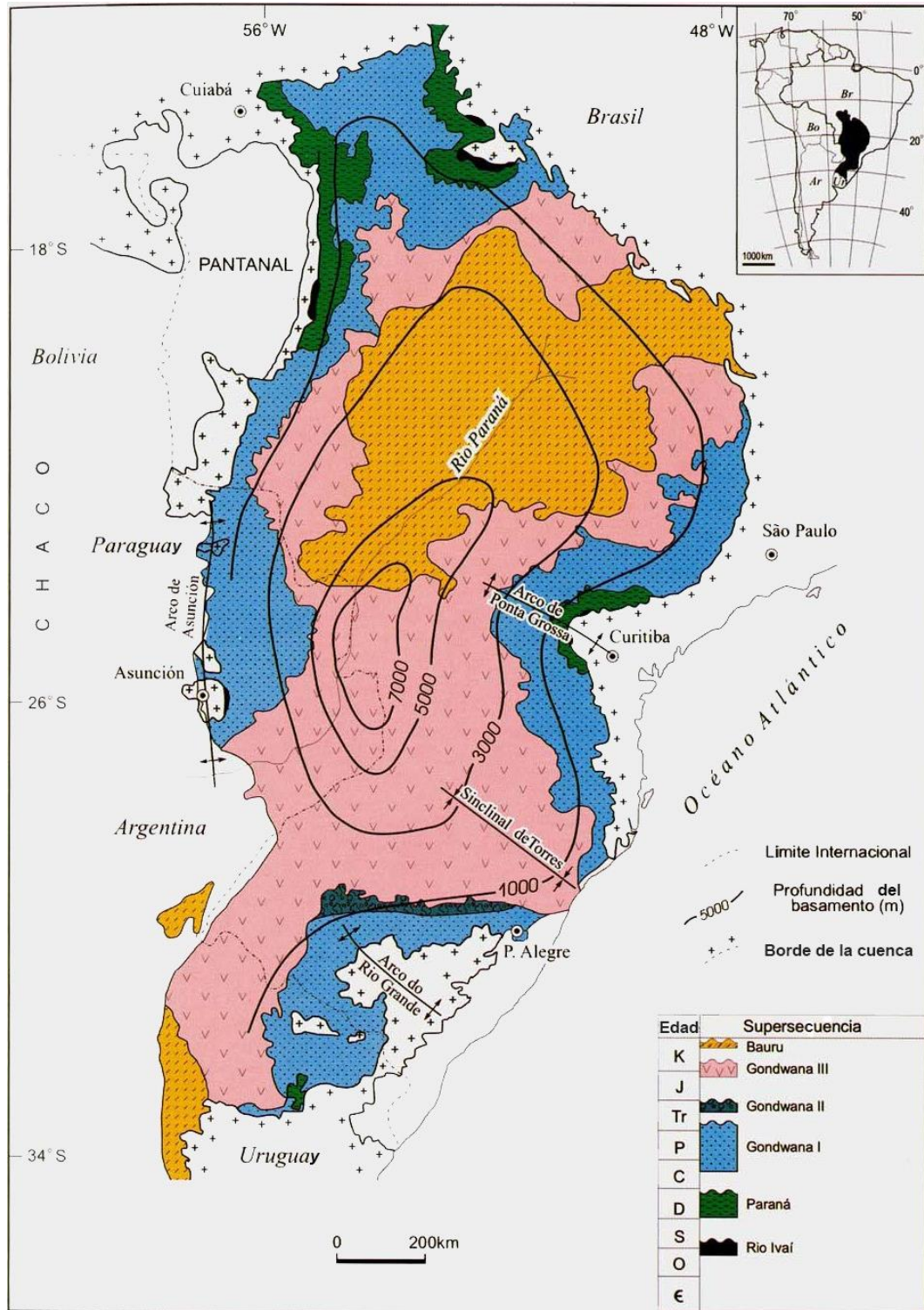


Figura 30. Mapa geológico simplificado de la Cuenca Paraná con la distribución de las supersecuencias sedimentarias (modificado de Milani, 2004).

La porción en territorio uruguayo de la Cuenca Paraná se denomina Cuenca Norte (Goso & de Santa Ana, 1986; de Santa Ana, 1989). Esta cubre una superficie de unos 100.000 km², en su mayoría al norte del río Negro. Presenta rellenos volcano-sedimentarios del Devónico Temprano al Cretácico Tardío, con una potencia mayor a los 2500 metros en algunas zonas (de Santa Ana & Veroslavsky, 2004). Las supersecuencias de la Cuenca Paraná, a excepción de las Rio Ivaí y Gondwana II, presentan su correlación en Uruguay. Se reconocen las tectosecuencias Eodevónica, integrada por las formaciones Cerrezuelo, Cordobés y La Paloma, reunidas en el Grupo Durazno (Bossi, 1966; Veroslavsky, 1994; Veroslavsky et al., 2006); Permocarbonífera, con las formaciones San Gregorio, Cerro Pelado, Tres Islas, Fraile Muerto, Mangrullo, Paso Aguiar, Yaguarí y Buena Vista, reunidas en el Grupo Cerro Largo (Bossi, 1966; Goso, 1995; Goso et al., 1996; de Santa Ana et al., 2006); Jurásico-Eocretácica, integrada por las formaciones Gaspar, Itacumbú, Tacuarembó, Arapey y Cuaró (Bossi, 1966; Preciozzi et al., 1985; de Santa Ana & Veroslavsky, 2004); y la tectosecuencia Neocretácica, que incluye las formaciones Guichón, Mercedes y Asencio, reunidas en el Grupo Paysandú (Bossi, 1966; Goso, 1999; Goso & Perea, 2004).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 31), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: las *rocas aborregadas de Cerro de las Cuentas* y las *lutitas fosilíferas de Picada de Cuello*; de interés geológico en el campo de la sedimentología y paleontología, respectivamente. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades lito-estratigráficas, son ejemplos raros por sus características, con afloramientos bien conservados y que poseen publicaciones científicas.

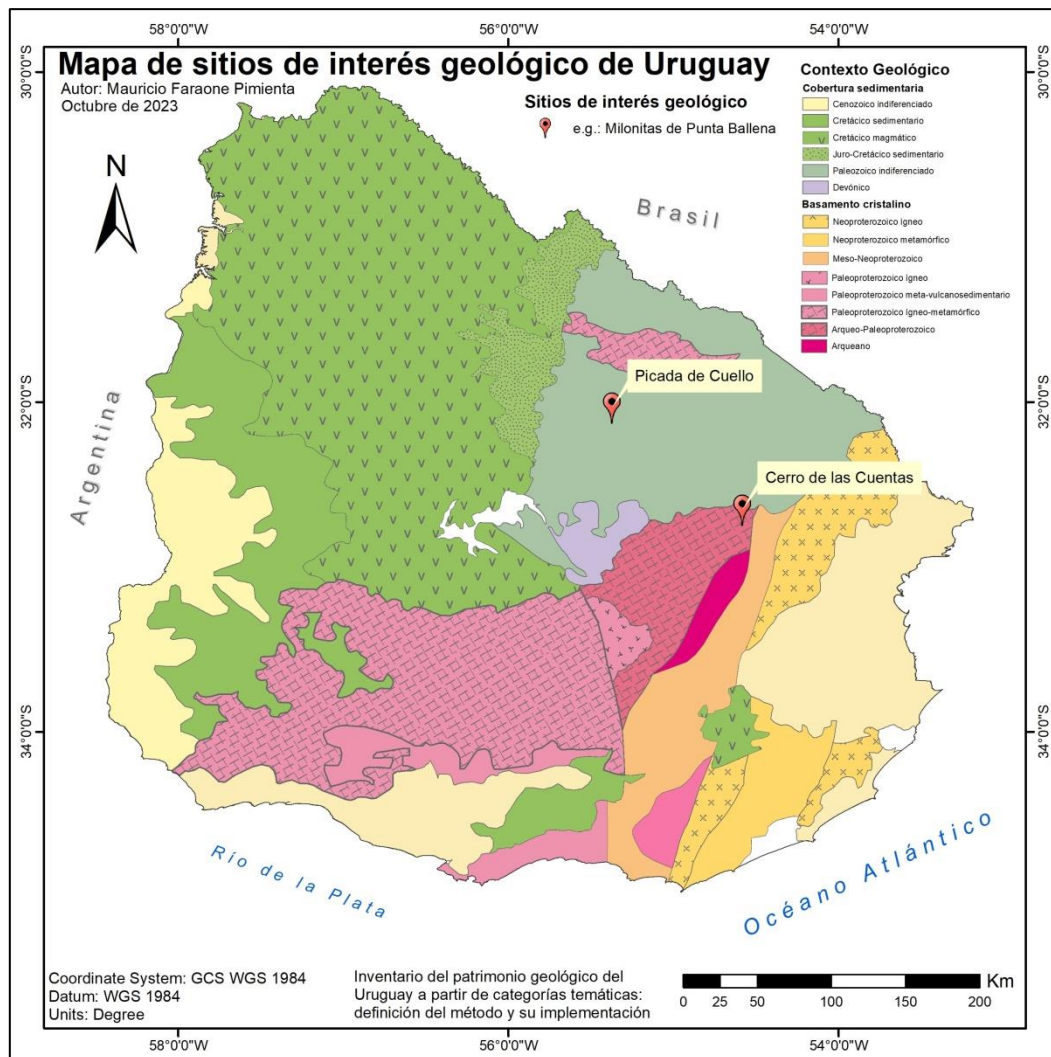


Figura 31. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (4).

Las *rocas aborregadas de Cerro de las Cuentas* se encuentran al suroeste de la ciudad de Melo, departamento de Cerro Largo (Fig. 32). En este sitio se observa la exhumación de geoformas glaciares carboníferas notablemente preservadas junto a variados depósitos glaciares (Assine et al., 2018). Este paisaje producto de la erosión glacial se encuentra expuesto en rocas precámbricas, por debajo de la sucesión glacial de la Formación San Gregorio (Bossi, 1966). Las geoformas glaciares fueron observadas por primera vez por Assine et al. (2010), quienes las interpretaron como “lomos de ballenas” (*whalebacks*) asimétricos; también conocidas como rocas aborregadas (Fig. 33). Mientras que los depósitos glaciares tienen su relevancia para la historia de la geología, siendo referidos en los trabajos de Du Toit (1927) como “estratos glaciares de Uruguay”. Dicho trabajo es citado por Wegener (1915), como parte de sus evidencias geológicas y paleoclimáticas de la deriva continental (Veroslavsky et al., 2006). Estos registros sedimentarios son fundamentales para reconstruir los centros glaciares del Paleozoico tardío en el Gondwana central (Fedorchuk et al., 2021).

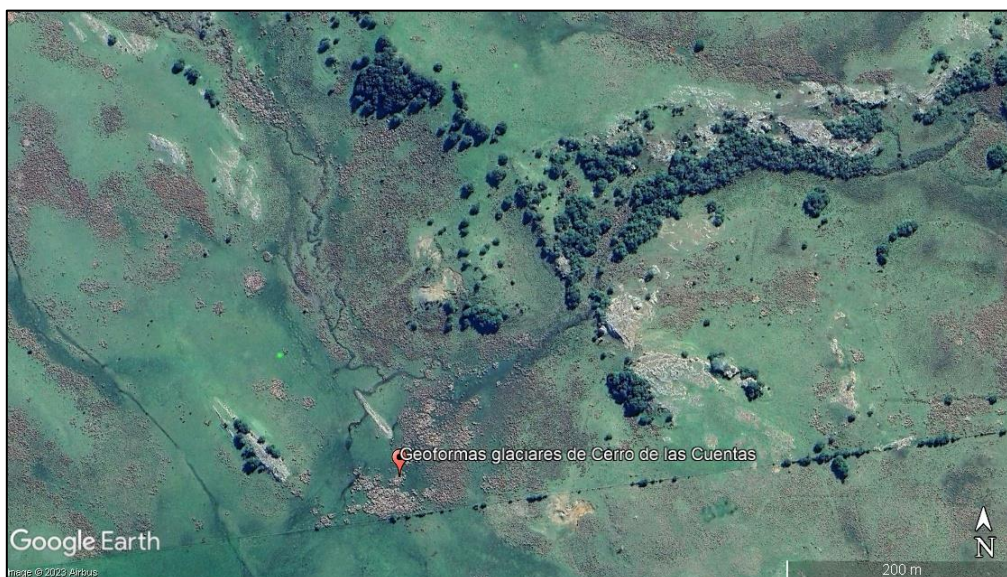


Figura 32. Imagen satelital de campos de Estancia Las Moras, nótese los “lomos de ballena” alargados.

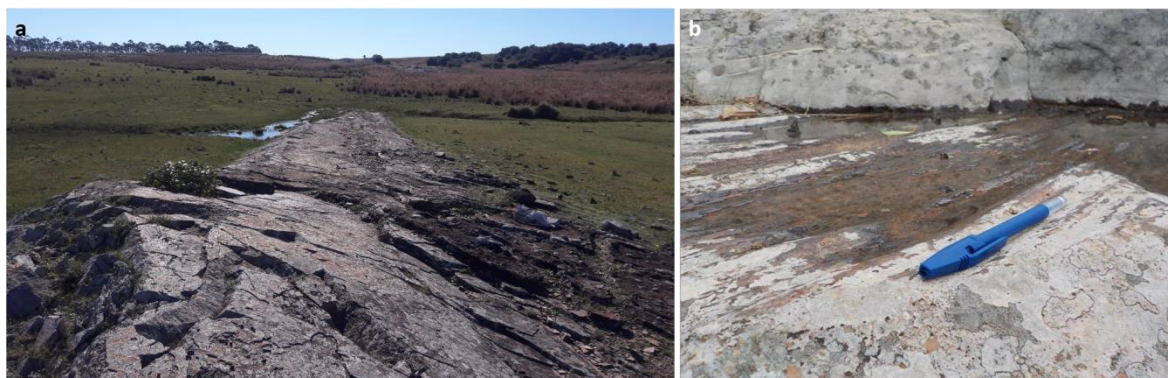


Figura 33. a-Afloramiento de basamento precámbrico con geoforma de erosión glaciár, denominada “lomo de ballena” (Foto: César Goso). b-Superficies estriadas intraformacionales, en paquete de arenisca de la Formación San Gregorio (Foto: Matías Soto).

Las *lutitas fosilíferas de Picada de Cuello*, se encuentran en una cantera próxima al cruce de la Ruta 26 en el arroyo Yaguarí, en el departamento de Tacuarembó, al norte del país (Fig. 34). Este constituye un sitio clave para entender la evolución de las especies en el mar epicontinental Pérmico. En este sitio paleontológico, contenidos en las lutitas laminadas grises de la Formación Mangrullo (Fig. 35), se encuentran fósiles de mesosaurios excelentemente preservados (Piñeiro, 2008). Entre los registros fósiles se encuentra un huevo que contiene un embrión de *Mesosaurus tenuidens* (Fig. 36), que constituye la evidencia más antigua de reproducción en amniotas. Otros componentes de la comunidad que integraban los mesosaurios están bien representados en la Formación Mangrullo (*e.g.* crustáceos pygocephalomorphos, insectos y plantas), permitiendo la denominación a esta unidad como un *Konservat-Lagerstätte* (yacimiento de conservación), siendo este el más antiguo conocido para América del Sur (Piñeiro et al., 2012).

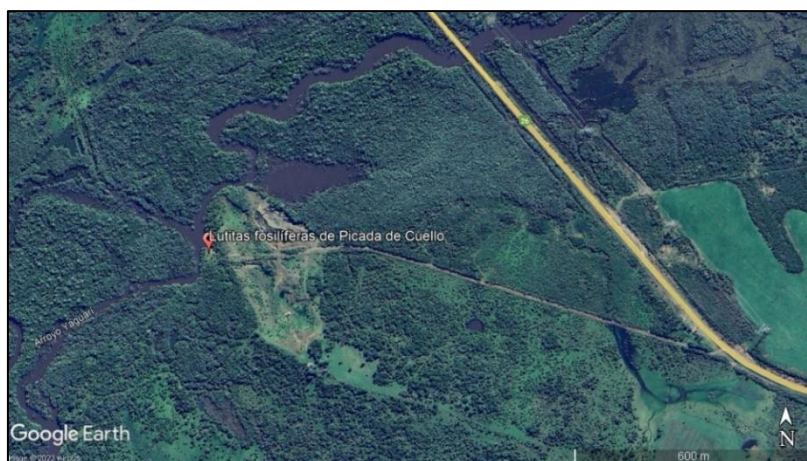


Figura 34. Imagen satelital de la cantera próxima al arroyo Yaguari, departamento de Tacuarembó (norte).

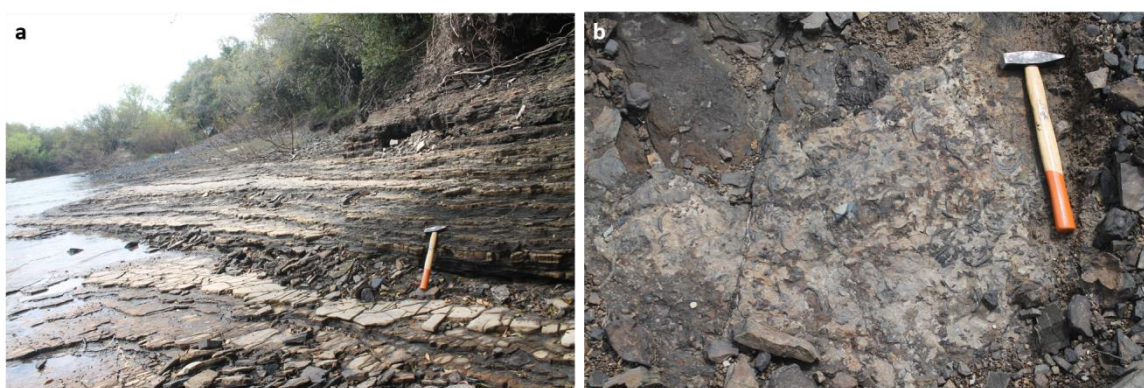


Figura 35. a-Vista en perfil de afloramiento de lutitas laminadas de la Formación Mangrullo, en la ribera del arroyo Yaguari. b-Detalle de afloramiento en planta de *bone bed* en lutitas con fósiles de mesosaurios.

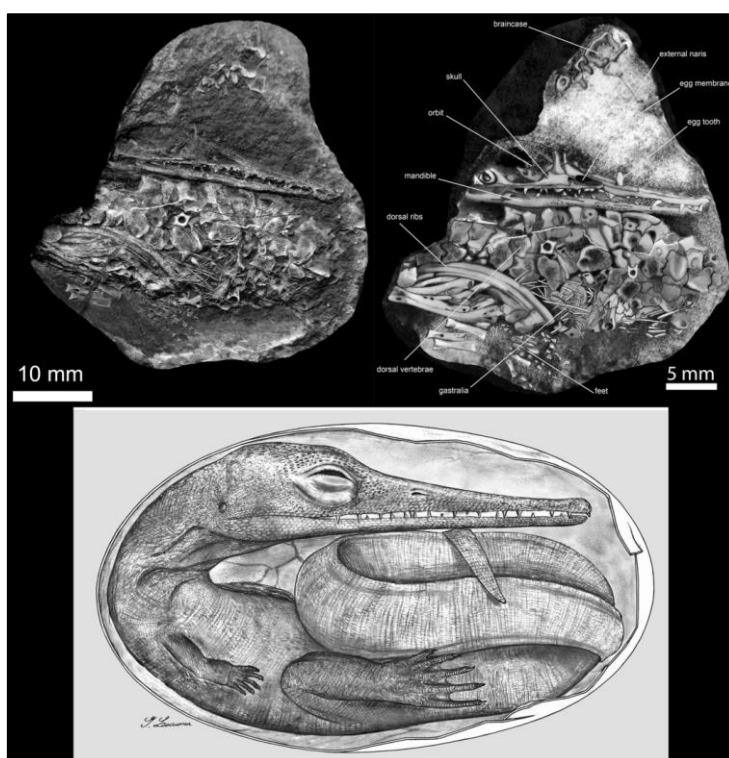


Figura 36. Huevo y embrión de *M. tenuidens* hallado en el *Konservat-Lagerstätte* de la Formación Mangrullo en el sitio. Arriba: detalle de los distintos huesos del cráneo. Abajo: reconstrucción tentativa producida por el artista Gustavo Lecuona (Imagen: Graciela Piñeiro).

4.1.5 Magmatismo Mesozoico

El magmatismo mesozoico registrado en la plataforma sudamericana está asociado a los eventos tectónicos responsables de la apertura del océano Atlántico sur, producto de la fragmentación del supercontinente Gondwana y consecuente separación de Sudamérica y África, durante el Jurásico-Cretácico. En la región, se encuentra representado en el sur y sureste de Brasil, noroeste y sureste de Uruguay, este de Paraguay y noreste de Argentina. Estos registros conforman en su mayoría una gran provincia ígnea (LIP, *Large Igneous Province*), la denominada Provincia Ígnea del Paraná-Etendeka, por sus remanentes sudamericanos –cuenca Paraná- y africanos –Etendeka traps-. Esta constituye una de las más extensas a nivel continental, con volúmenes preservados en el entorno de un millón de kilómetros cúbicos (Peate 1997), en un millón y medio de kilómetros cuadrados de extensión superficial (Courtillot & Renne, 2003). Se originó por vulcanismo fisural en un intervalo de tiempo relativamente corto, de alrededor de un millón de años, durante el Cretácico temprano (Renne et al., 1992; Thiede & Vasconcelos, 2010).

En Uruguay estos eventos tecto-magmáticos son agrupados en tres fases (de Santa Ana et al., 1993). La primera etapa, desarrollada durante el Jurásico, generó la formación de las cuencas tipo *rift* de Santa Lucía, Laguna Merín y Punta del Este (esta última, *off-shore*). La segunda fase, durante el Cretácico inferior, se relaciona con los derrames riolíticos de la Formación Arequita. Mientras que, la tercera etapa, casi sincrónica a la anterior, estaría representada por los importantes derrames basálticos de la Formación Arapey. Por otro lado el magmatismo, transicional-alcálido del Cretácico inferior, correspondiente al Macizo Valle Chico presenta una mayor diversidad litológica y es separado del resto de las agrupaciones magmáticas (Muzio, 2004).

El magmatismo mesozoico uruguayo se encuentra ampliamente distribuido en dos regiones (Muzio, 2004; Fig. 37). La región septentrional, asociada a la evolución de la Cuenca Norte, se emplaza el magmatismo reunido en la Formación Arapey (Bossi 1966), Formación Cuaró (Preciozzi et al. 1985) y Formación Gaspar (de Santa Ana & Veroslavsky 2004). La región meridional, asociados a la tectónica generadora de cuencas tipo *rift*, se encuentran los derrames de la Formación Puerto Gómez y Arequita (Bossi 1966) y las manifestaciones magmáticas hipoabisales del Macizo Valle Chico (Muzio 2000).

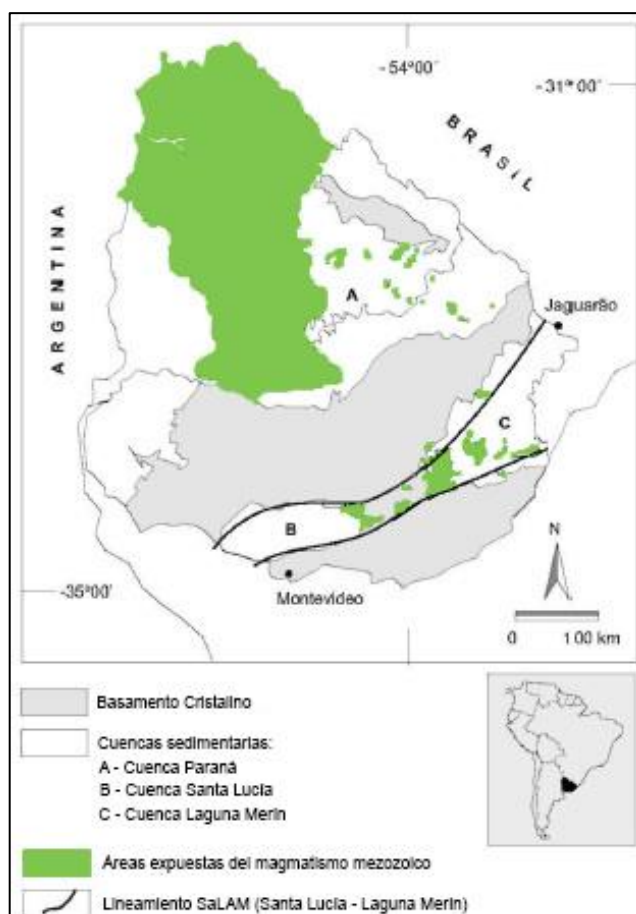


Figura 37. Mapa del contexto estructural del magmatismo mesozoico en Uruguay (modificado de Muzio, 2004).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 38), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: los *yacimientos de amatistas del Distrito Gemológico Los Catalanes* y los *derrames riolíticos del Cerro Arequita*; de interés geológico en el campo de la mineralogía y petrología, respectivamente. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geológicas, son ejemplos raros por sus características, presentan exposiciones bien conservadas y poseen publicaciones científicas.

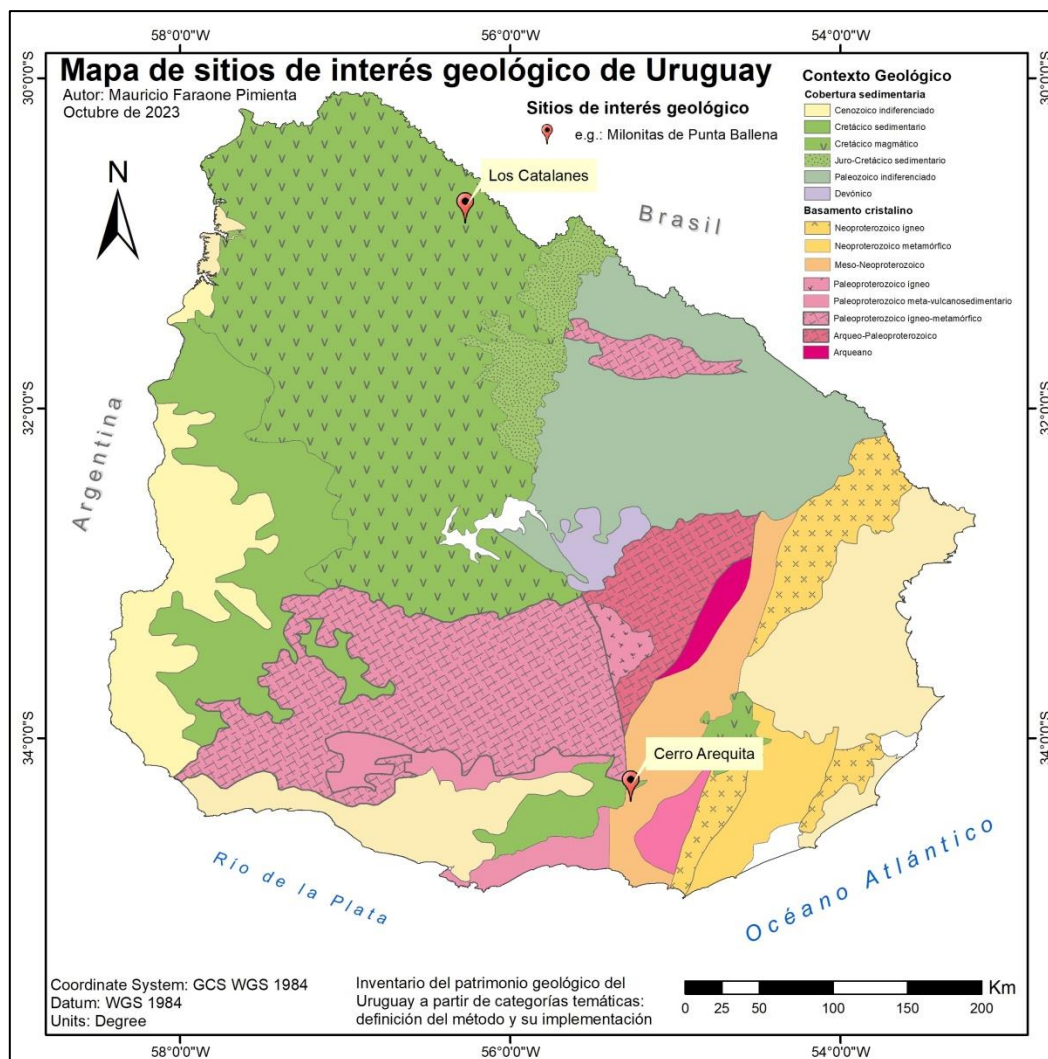


Figura 38. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (5).

Los *yacimientos de amatistas del Distrito Gemológico Los Catalanes* se encuentran a unos kilómetros al suroeste de la ciudad de Artigas, en el norte del país (Fig. 39). Estos yacimientos de piedras semipreciosas -ágatas y amatistas- conforman un distrito minero de unos 400 km² (Techera et al., 2007; Fig. 40). En este sitio, caracterizado como un área compleja, es posible observar en algunas de sus minas las mineralizaciones que conforman los yacimientos de amatistas de clase mundial, reconocidas por su alta calidad dada por su intensa coloración violeta (Techera, 2011). Estas mineralizaciones de ágatas y amatistas se presentan en el interior de geodas (Fig. 41), contenidas en las rocas basálticas de Formación Arapey (Bossi, 1978); existiendo distintas interpretaciones en cuanto a su origen (Hartmann, 2008; Duarte et al., 2009; Morteani et al., 2010; Duarte et al., 2011). Esta representa la unidad geológica de mayor extensión en el país, cubriendo aproximadamente 40.000 km² del noroeste de Uruguay (Bossi, 1966).

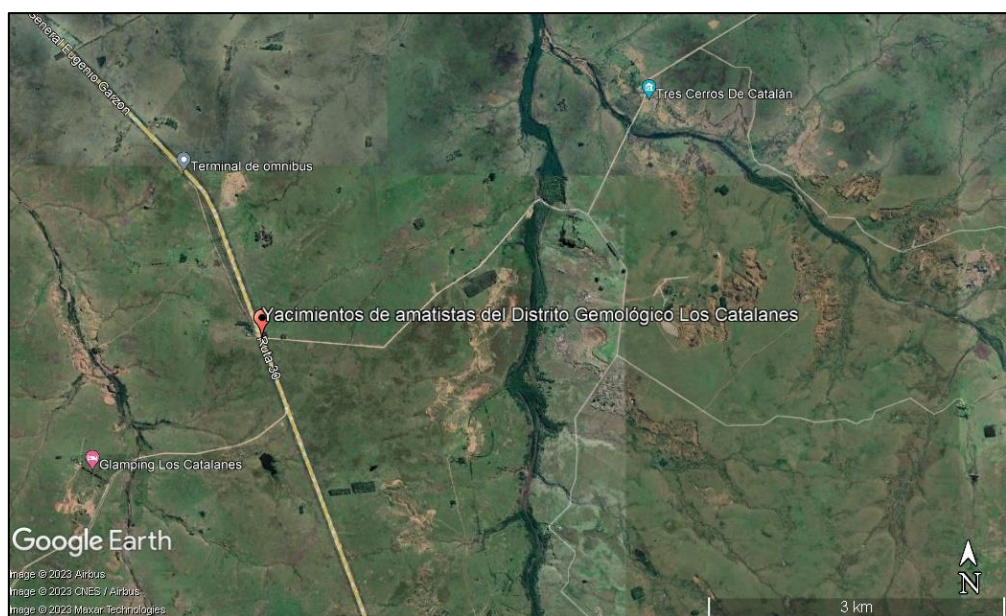


Figura 39. Imagen satelital de las minas de ágatas y amatistas del Distrito Gemológico Los Catalanes, departamento de Artigas (norte).

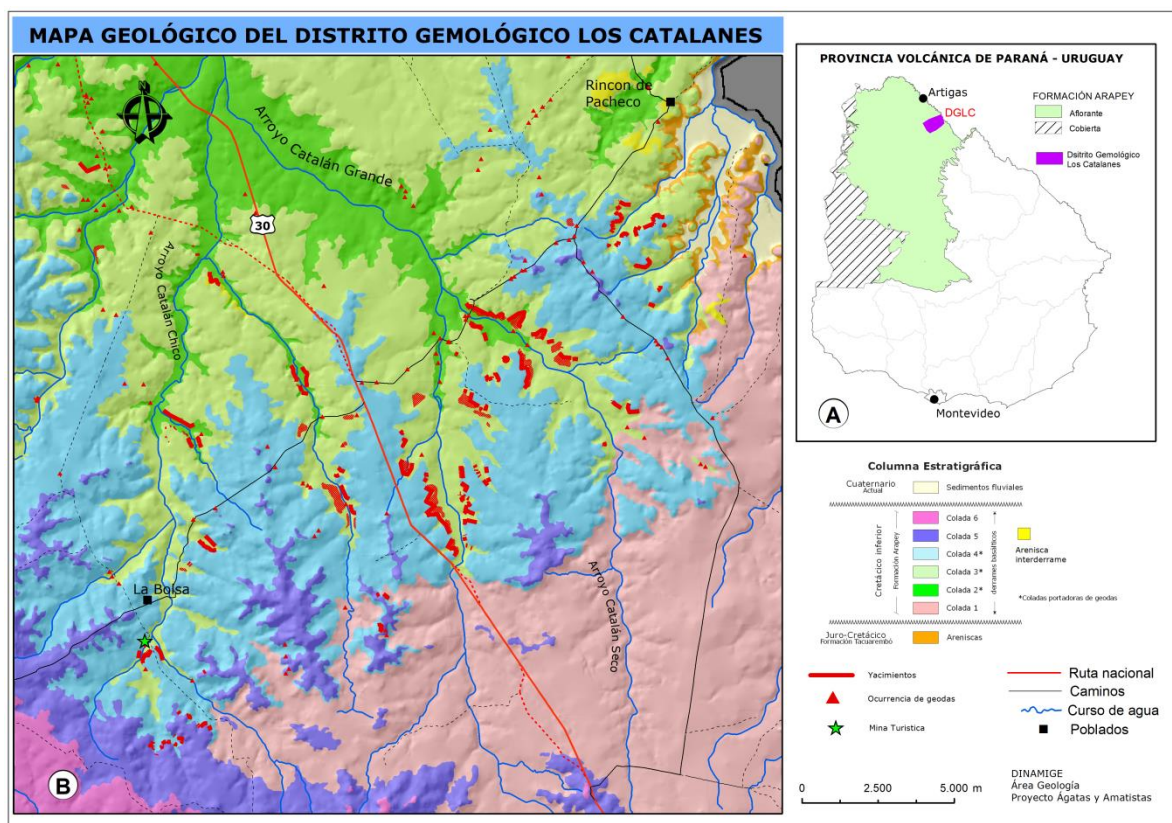


Figura 40. Mapa geológico del Distrito Gemológico Los Catalanes, nótese las distintas coladas de lava basáltica (tomado de Techera et al., 2007).



Figura 41. En el interior de una mina, corte de una geoda rellena de amatista contenida en el basalto.

Los *derrames riolíticos del Cerro Arequita*, se ubican al norte de la ciudad de Minas (departamento de Lavalleja). La Formación Arequita (Bossi, 1966), unidad geológica muy bien representada en el Cerro Arequita y Cerro de los Cuervos (Fig. 42), agrupa una serie de rocas volcánicas ácidas representadas por riolitas y flujos piroclásticos. Estas lavas de composición ácida, presentes en todas las fosas tectónicas mesozoicas del sur y sureste del país, se destacan en el paisaje por constituir los principales altos topográficos de la región entre Minas y Lascano (Fig. 42; Fig. 43a). Este tipo de derrames altamente diferenciados, corresponderían a los últimos estadios del magmatismo de la Provincia Paraná–Etendeka (Muzio, 2004). El Cerro Arequita está conformado por tres derrames de lava riolítica superpuestos, que alcanzan una altura máxima de 305 metros sobre el nivel del mar, que fueron afectados por tectónica posterior (Fig. 43b), lo que dio al cerro una morfología particular con paredones verticales de más de 50 metros. Las riolitas que conforman esta unidad geológica están datadas en $133,5 \pm 3,1$ Ma (Muzio, 2000).

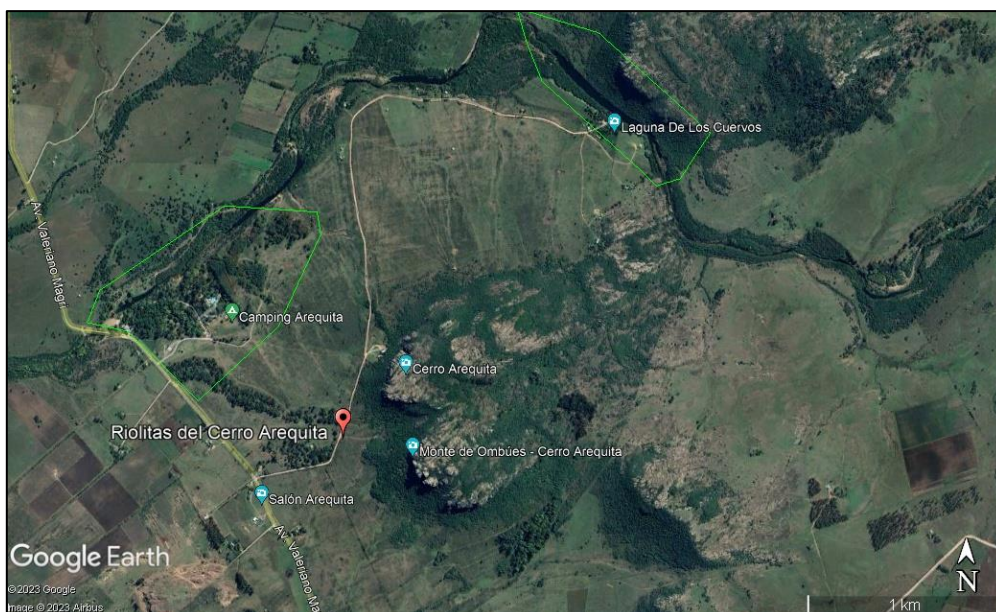


Figura 42. Imagen satelital del Cerro Arequita y su entorno al norte de Minas, Lavalleja (este).

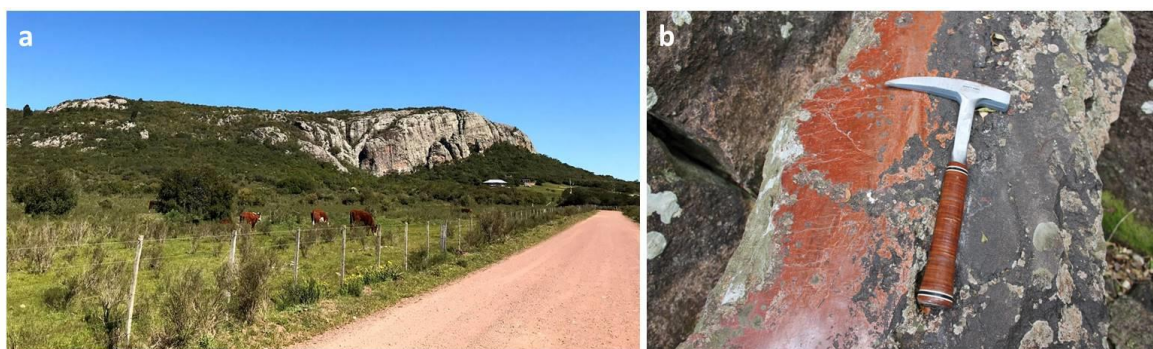


Figura 43. a-Vista del Cerro Arequita desde el norte, destacando en el paisaje. b-Detalle de espejo de falla en riolitas del paredón vertical del cerro.

4.1.6 Sedimentogénesis y pedogénesis del Cretácico post-basáltico y el Paleoceno

Los eventos sedimentarios de finales del Mesozoico en Uruguay tuvieron un origen y una historia deposicional particular, lo que amerita su tratamiento independiente del resto de las cuencas del país, y son representados en la denominada Cuenca Litoral del río Uruguay ubicada al Oeste del país (Goso, 1999). Esta refleja la sedimentación posterior al desarrollo del magmatismo basáltico mesozoico, con paquetes de sedimentos cretácicos y cenozoicos (Goso & Perea, 2004). El conjunto total del relleno sedimentario de esta cuenca no alcanza los 300 metros de espesor, pero sus depósitos han sido motivo de numerosos estudios geológicos y hallazgos paleontológicos. En ellos se registran las condiciones paleoambientales que comenzaron a partir del Cretácico Inferior y se exponen muy bien un conjunto de procesos pedogenéticos que se produjeron durante el Paleoceno (Veroslavsky & Martínez, 1996).

El Cretácico inferior estuvo marcado regionalmente por el magmatismo fisural que produjo los

espesos derrames basálticos de la Formación Arapey y el posterior desarrollo de cuencas tipo *rift*. En ese contexto distensivo, y como consecuencia de un proceso de subsidencia provocada por el peso de los derrames basálticos, se generó durante el Aptiense una cuenca endorreica cuyo depocentro se localiza en la Mesopotamia argentina (Rossello & Mozetic, 1999). En Uruguay esta sedimentogénesis está representada por las Formaciones Guichón, Mercedes y Asencio, agrupadas en el Grupo Paysandú (Bossi, 1966). Además de la unidad edafoestratigráfica denominada Geosuelo del Palacio, miembro de la Formación Mercedes (Goso, 1999). A su vez, los paquetes calcáreos de la Formación Queguay son un producto de la calcretización provocada en el Paleoceno (Goso 1965). Estos paquetes surgieron como resultado de procesos epigenéticos que afectaron principalmente a las rocas cretácicas (Goso & Perea, 2004).

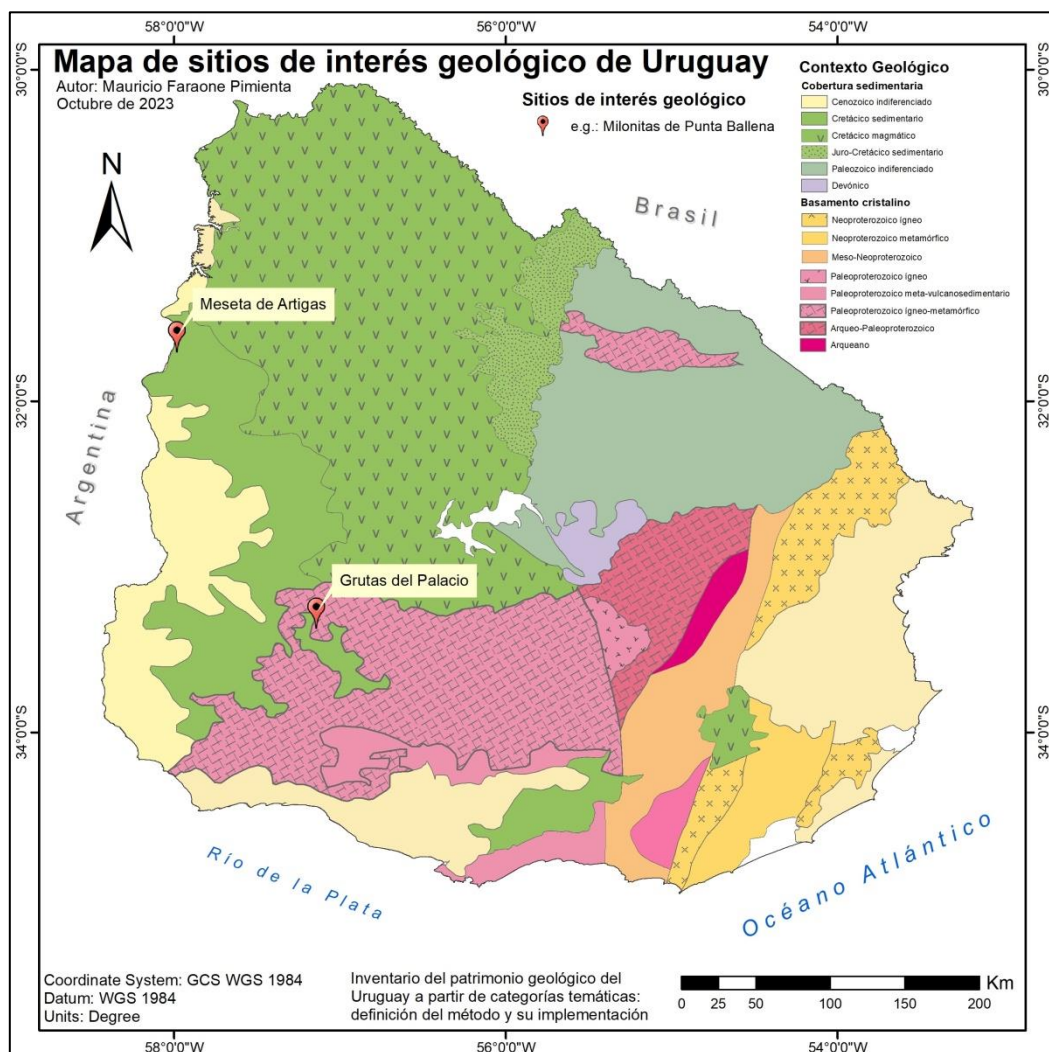


Figura 44. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (6).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 44), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: *areniscas ferruginosas de Grutas del Palacio y sedimentitas y paleosuelos de la Meseta de Artigas*, de interés geomorfológico y sedimentológico, respectivamente. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geológicas, son ejemplos raros por sus características, presentan exposiciones bien conservadas y fueron objeto de publicaciones científicas.

Las *areniscas ferruginosas de Grutas del Palacio*, ubicadas en el departamento de Flores (Fig. 45), en el suroeste del país, son una peculiar geoforma producto de erosión diferencial por acción hídrica (Fig. 46b), catalogado como un sitio geomorfológico de relevancia internacional (Picchi et al., 2018). La unidad geológica a la que pertenecen constituye un paleosuelo laterítico, formado por la ferrificación de areniscas cretácicas de parte de la Formación Mercedes (Cretácico superior) durante el Paleógeno (Goso, 1999), si bien esto está en discusión (Veroslavsky et al., 2019). Este sitio, por tanto, representa tres eventos, la sedimentogénesis de las arenas –hace 70 Ma–, la pedogénesis de suelos arenosos ferralíticos –hace 55 Ma– y, finalmente, la erosión hídrica encargada de la formación de las grutas –de hace algunos pocos miles de años– la que continúa activa. Las grutas están constituidas por columnas y bóvedas de areniscas ferrificadas que se asemejan a una estructura edilicia (Fig. 46a); se piensa que fue habitada por pobladores pre-históricos, de allí su nombre: “Grutas del Palacio de los Indios”.

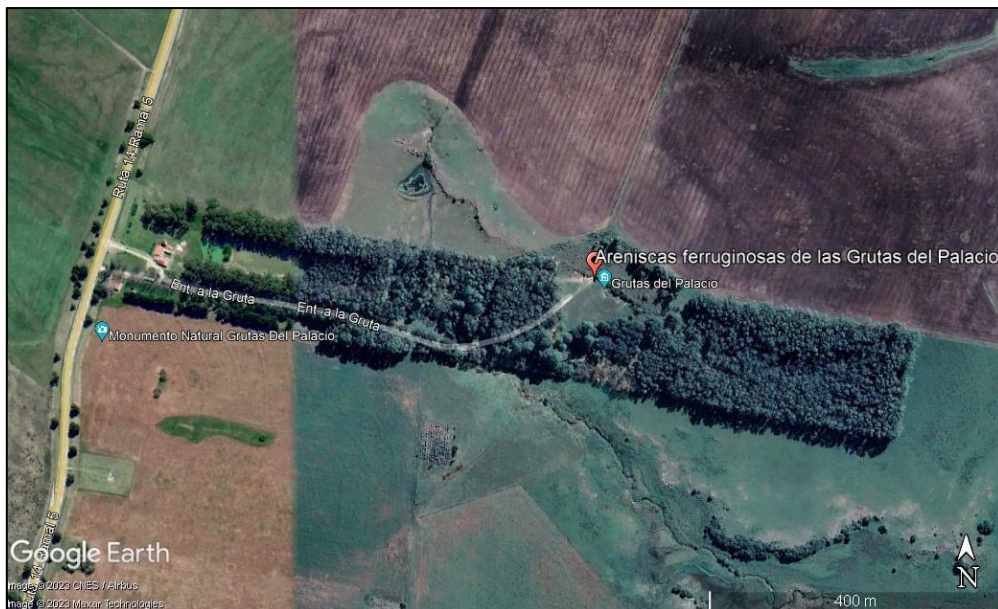


Figura 45. Imagen satelital del predio donde se encuentran las Grutas del Palacio, Flores (centro-suroeste).

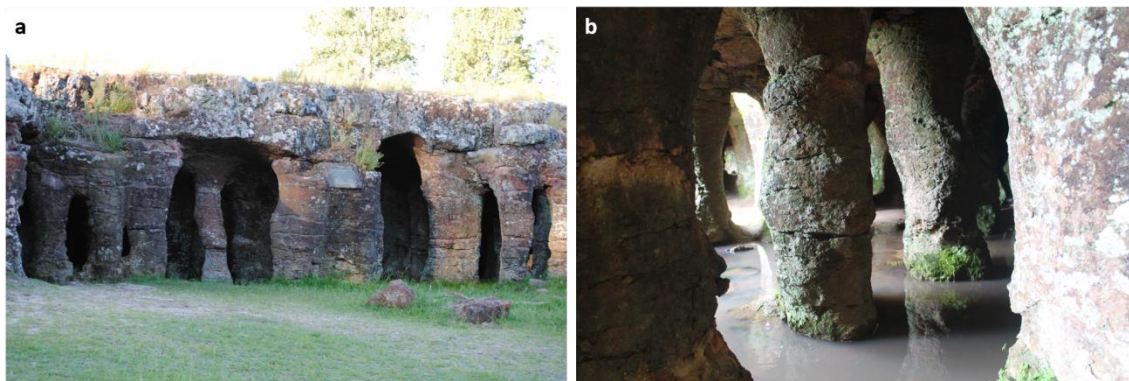


Figura 46. a-Vista frontal de la entrada de las grutas. b-Desde el interior de las grutas, se observa el conjunto de columnas y bóvedas de areniscas ferruginosas. Nótese el agua en el piso de las mismas, evidencia de la erosión hídrica aún activa en su formación.

Las *sedimentitas y paleosuelos de la Meseta de Artigas* están localizadas al Noroeste del departamento de Paysandú, en una zona de barrancas fluviales de hasta 50 m de altura conformando uno de los puntos más altos de la planicie del litoral del río Uruguay (Fig. 47). En la barranca se encuentra un perfil estratigráfico típico de la Formación Guichón (Bossi, 1966), cubierto de manera discordante por la Formación Mercedes. En este se observan areniscas, conglomerados arenosos y areniscas finas rojizas (Fig. 49), con estratificación planar horizontal y estratificación cruzada (Fig. 48). Las estructuras sedimentarias presentes son evidencias de canales y barras fluviales. Estas planicies fluviales probablemente fueron el escenario de mejores condiciones de vida y preservación para los pequeños reptiles (cocodrilos, *Uruguaysuchus*) y algunos dinosaurios, que restringen esta unidad al Aptiense (Goso & Perea 2004). Los paquetes de areniscas finas rojizas se encuentran bioturbados, marcando condiciones de baja tasa sedimentaria, lo que permitió la formación de suelos (Goso, 1999).

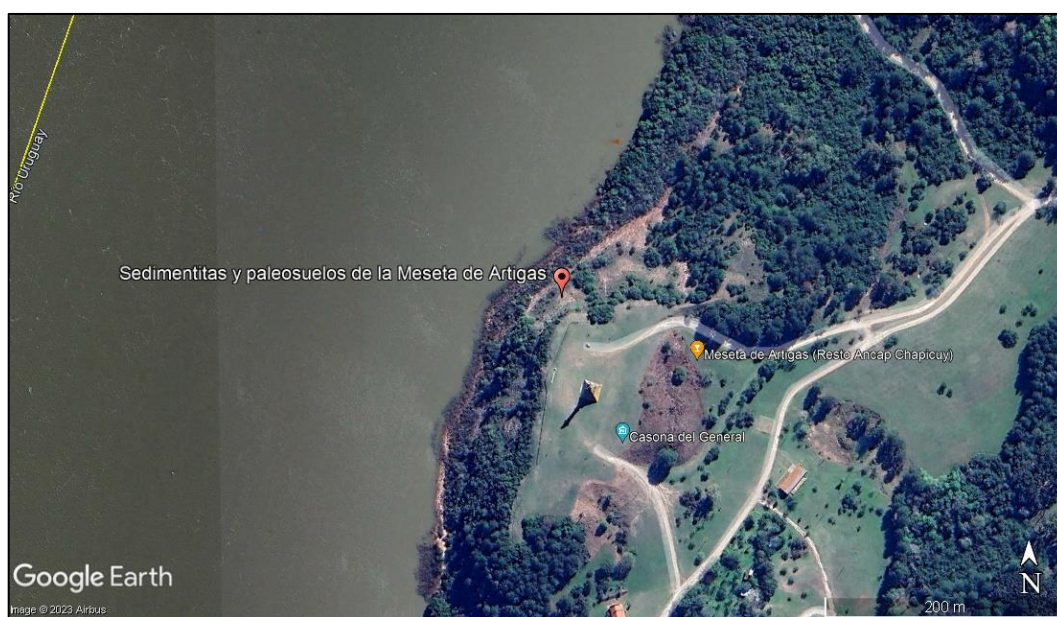


Figura 47. Imagen satelital del entorno de la Meseta de Artigas en el litoral del río Uruguay, departamento de Paysandú (noroeste).

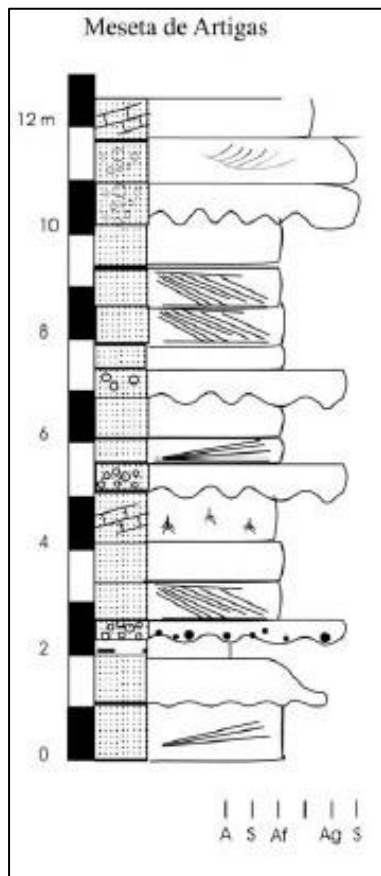


Figura 49. Perfil de areniscas rojizas en barrancas de la meseta (Foto: Valeria Mesa).

Figura 48. Columna estratigráfica de la sección de Formación Guichón en la Meseta de Artigas, con paquete de areniscas finas con rizolitos (4-5 m). Tomado de Goso & Perra (2004).

4.1.7 Sedimentación paleógena-neógena y fauna asociada

En el actual territorio continental uruguayo, hacia finales del Cretácico, los principales escenarios de acumulación sedimentaria fueron colmatados por sucesiones de espesor decamétrico, no constituyendo espacios deposicionales ni propiciando procesos diagenéticos destacables. Durante el Cenozoico la evolución geológica de Uruguay se enmarca dentro de un contexto en el que predominaron suaves levantamientos, erosión, no deposición y sedimentación. Los depósitos sedimentarios preservados se vinculan a los sucesivos ciclos eustáticos transgresivos y regresivos, que se registran a nivel regional y global durante el Cenozoico (Ubilla et al., 2004).

El registro del Paleógeno está muy pobremente representado, como consecuencia de la denudación y exposición subaérea progresiva a la que fue sometido el territorio durante el Paleoceno–Eoceno. Los procesos de erosión y no deposición transcurrieron hasta el Oligoceno, cuando, por reactivación del basamento vinculado a un pulso de la orogenia andina, se generaron nuevos espacios de acumulación. Pequeñas cuencas permitieron el desarrollo y preservación de depósitos aluvio-fluviales y la actuación de procesos de remoción en masa, bajo una importante contribución de loess desde el Oeste. Estos depósitos continentales también fueron afectados por procesos pedogénicos y

presentan fundamentalmente fósiles de mamíferos, representados en la Formación Fray Bentos (Goso, 1965).

Más tarde en el Neógeno, durante el Mioceno tardío se produjo una nueva transgresión marina. Los registros de esta oscilación se pueden seguir por más de mil kilómetros desde la Patagonia, aunque penetró muy poco en el actual territorio continental uruguayo debido a su paleotopografía, y se encuentran representados en la Formación Camacho (Bossi, 1966). Sus depósitos son portadores de una rica variedad de fósiles de fauna marino-litoral, fundamentalmente invertebrados e icnofósiles, de características subtropicales, pasando posteriormente a otros de características continentales donde dominan los organismos de este origen. En el Plioceno, coincidente con la continentalización del territorio, evolucionan sistemas fluviales con fuerte desarrollo en el Sur, con fósiles continentales representados en la Formación Raigón (Goso, 1965), y en el Noroeste representados por la Formación Salto (Bossi, 1966).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 50), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: las *areniscas fosilíferas de Punta Gorda* y las *barrancas fosilíferas de Paso Cuello y Picada de Berget*, de interés paleontológico y estratigráfico, respectivamente. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geológicas, son ejemplos raros por sus características, presentan exposiciones bien conservadas y existen publicaciones científicas con resultados de investigaciones anteriores.

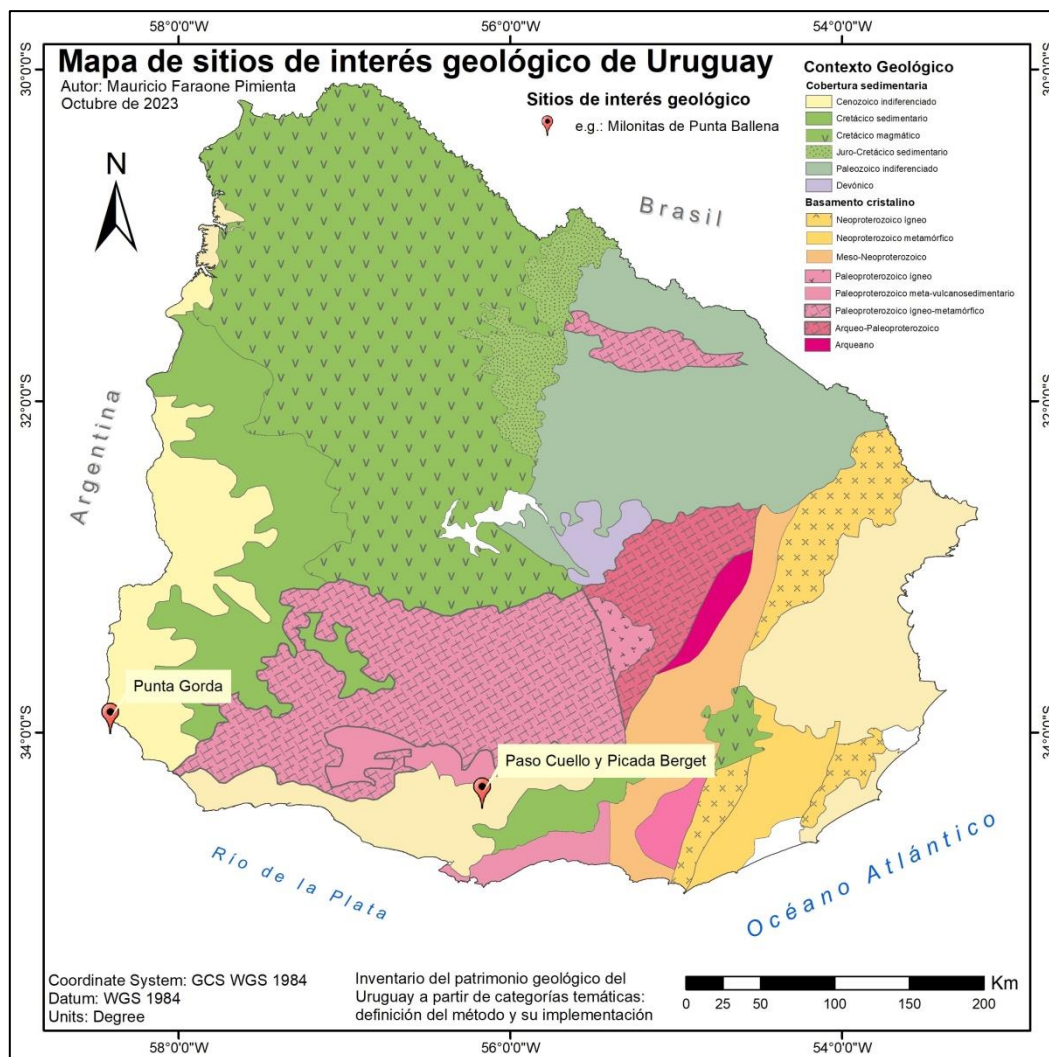


Figura 50. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (7).

Las *areniscas fosilíferas de Punta Gorda*, localidad ubicada al suroeste del país, en la costa del departamento de Colonia (Fig. 51), es un sitio icónico de la última gran transgresión marina de nuestro territorio. Este es un sitio de relevancia para la historia de la geología, ya que fue visitado y descrito por el naturalista inglés Charles Darwin (1839), en su segunda recorrida por Uruguay en 1833, siendo el primero en documentar observaciones paleontológicas y geológicas de la zona (Martínez, 1994; Martínez & Veroslavsky, 2000). En este sitio conocido como “Rincón de Darwin” (Fig. 52a), se pueden observar los registros del denominado “mar entrerriense” (Martínez & Perea, 2008). En las barrancas, próximas a la desembocadura del río Uruguay en el río de la Plata, conformadas por areniscas y lumaquelas se encuentran fósiles de moluscos marino-litorales (Fig. 52b), de unos 10 Ma (Mioceno), correspondientes a la Formación Camacho (Martínez, 1994).



Figura 51. Imagen satelital del entorno de Punta Gorda sobre la costa del departamento de Colonia (suroeste).



Figura 52. a-Placa conmemorativa por la visita de Darwin en 1833. b-Exposición de areniscas fosilíferas (moluscos) en la escalinata de acceso.

Las *barrancas fosilíferas de Paso Cuello y Picada de Berget*, ubicadas a ambos márgenes del río Santa Lucía (Fig. 53), límite de los departamentos de Canelones y Florida, se pueden apreciar una superposición de depósitos sedimentarios fluviales que representan tres ciclos separados por discontinuidades. En los perfiles de las barrancas sobre el río (Fig. 54), se observan limolitas, areniscas con estratificación cruzada en artesa y tabular planar, con intercalaciones de niveles de paleosuelos. En sus sedimentos se encuentran fósiles de xenartros, notoungulados y marsupiales, pertenecientes a la Formación Fray Bentos (Perea et al., 2011). Si bien esta unidad litoestratigráfica es pobre en contenido paleontológico, hasta el momento es la que contiene los mamíferos más antiguos del registro de Uruguay (Ubilla, 2004). Picada de Berget fue propuesta como hipoestratotipo de la unidad (Ubilla, 2004) y Paso Cuello como sitio de Fauna Local, correspondiente a la edad mamífero de América del Sur Deseadense (Ubilla & Perea, 1994). Por su proximidad, y tratamiento en conjunto en las

publicaciones científicas, ambas secciones se identifican como un único sitio de interés geológico.

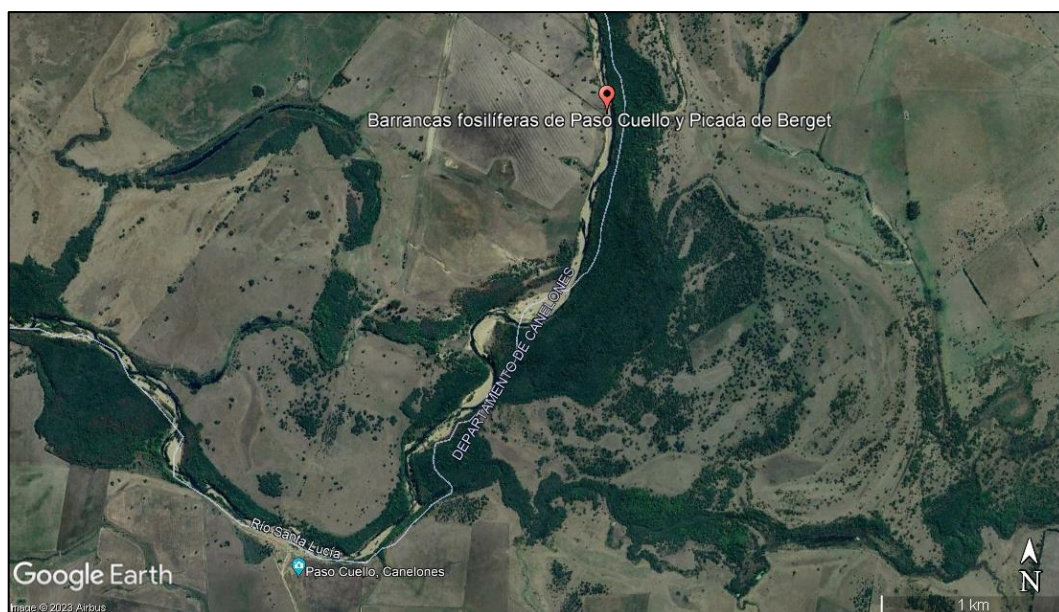


Figura 53. Imagen satelital de las barrancas entre Paso Cuello y Picada de Berget sobre el río Santa Lucia (límite Canelones-Florida).



Figura 54. Barrancas de Fm. Fray Bentos sobre el río Santa Lucía, en el sitio Picada de Berget, Florida (Foto: Martín Ubilla).

4.1.8 Evolución continental y costera cuaternaria

El Cuaternario del Uruguay está determinado en gran medida por tres factores básicos. En primer lugar, la dinámica geológica durante el Neógeno marcada por un levantamiento de casi todo el territorio, que produjo el desarrollo de superficies escalonadas y pediplanos bajo climas diversos,

aunque no extremos. En segundo, la acumulación de depósitos de loess, con registros de retransportes torrenciales y pedogénesis, que cubrieron parcialmente rocas y sedimentos más antiguos. Por último las oscilaciones del nivel del mar, durante las cuales se generaron playas y lagunas costeras en el litoral atlántico donde se depositó la mayor parte de la carga sedimentaria de la Cuenca del Plata en la plataforma uruguaya (Iriondo & Kröhling, 2008).

El registro sedimentario cuaternario muestra la sucesión de un conjunto de eventos o procesos sedimentarios depositacionales y no-depositacionales, que estuvieron marcados por una relativa variedad de facies producto de la relación de factores fisiográficos, climáticos, glacio-eustáticos y de subsidencia particulares, dominantes en dicho período en esta región Suroriental de la Plataforma Sudamericana. La mayor dificultad, en su estudio, radica en que se registran ciclos transgresivos-regresivos compuestos por sedimentos que poseen las mismas o muy similares características litológicas, por causa de la repetición de las condiciones paleoambientales y los procesos sedimentarios actuantes (Goso, 2006). Por este motivo, si bien es relativamente escaso el espesor de las unidades cuaternarias en Uruguay, con apenas algunas decenas de metros, estas muestran una gran expresión superficial y un complejo arreglo o cortejo sedimentario que ha dificultado su entendimiento y ha promovido diferentes propuestas litoestratigráficas (Martínez & Ubilla, 2004).

El registro del Cuaternario uruguayo ha sido estudiado por varios autores en las últimas décadas, siendo propuestas un elevado número de unidades sedimentarias y nomenclatura para el Cuaternario continental (Ubilla & Perea, 2023). La estratigrafía del Cuaternario marino en Uruguay es materia aún pendiente (Martínez & Ubilla, 2004). La columna litoestratigráfica propuesta por Goso (1965, 1972) enfoca el registro del Cuaternario con un punto de vista genético, integrando condiciones litológicas, geomorfológicas y climáticas, estando los sedimentos pleistocenos de transición representados en la Formación Chuy y los continentales en las formaciones Libertad y Dolores. Por otro lado, los sedimentos de transición del Holoceno están representados en la Formación Villa Soriano.

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 55), dos de los que mejor representan este contexto geológico son: la *localidad megafaunística de Arroyo del Vizcaíno* y los *moluscos marinos del Pleistoceno de la Coronilla*; ambos de interés geológico en el campo de la paleontología. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geológicas, son ejemplos raros por sus características, presentan exposiciones bien conservadas y poseen publicaciones científicas.

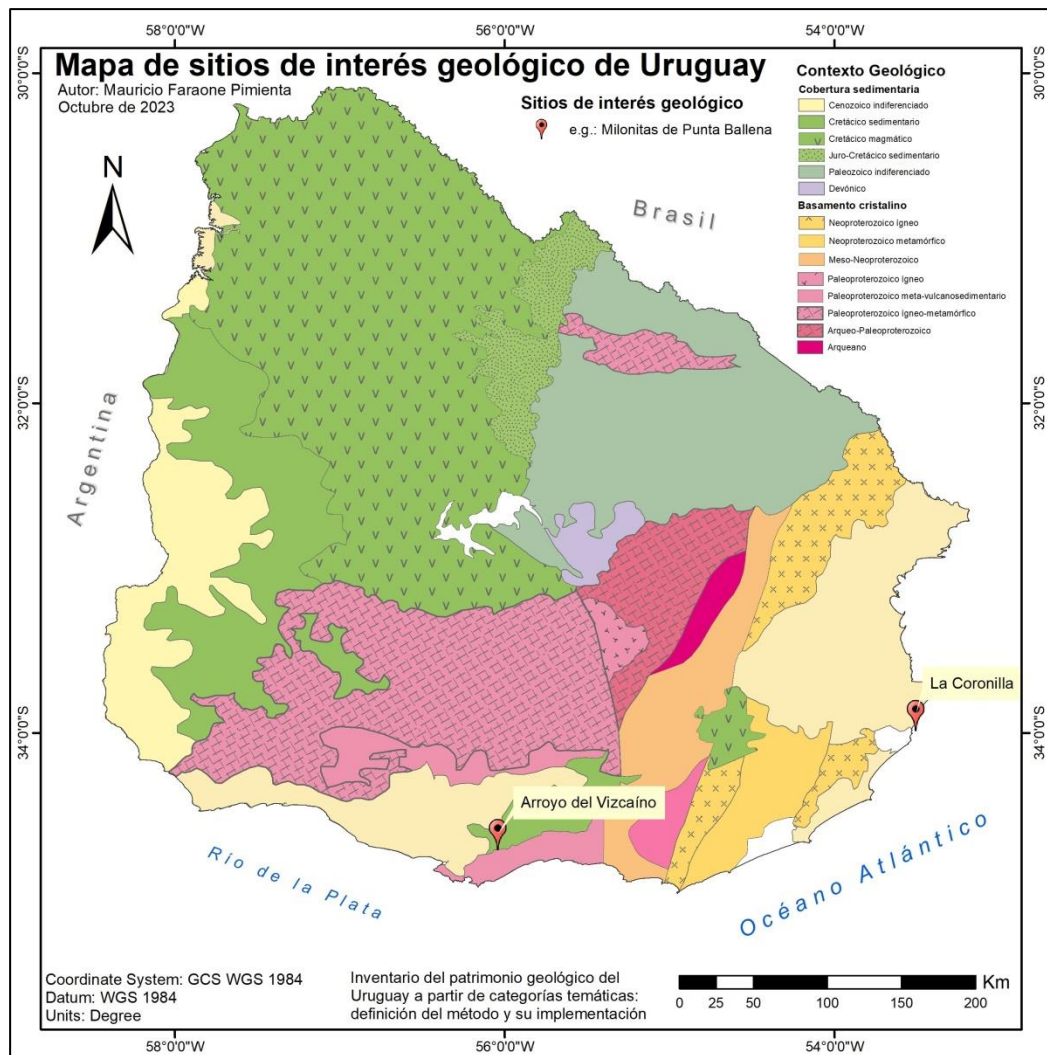


Figura 55. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (8).

La *localidad megafaunística de Arroyo del Vizcaíno*, cerca del poblado de Sauce en el departamento de Canelones (Fig. 56), se ubica al sur de Uruguay. En el sitio se han encontrado más de 1000 huesos de mamíferos gigantes pertenecientes a por lo menos 27 individuos, en su mayoría del perezoso terrestre *Lestodon*, además de tres géneros de gliptodontes (Fig. 57): *Glyptodon*, *Doedicurus* y *Panochthus*. Estos fósiles se hallaron en sedimentos asignados a la Formación Dolores del Pleistoceno tardío, compuestos por depósitos de color marrón rojizo de loess (Fariña et al., 2014). Desde una perspectiva geomorfológica, el sitio es un lugar donde el arroyo se hace más profundo, formando un estanque natural en un sustrato de rocas cretácicas de la Formación Mercedes (Fariña et al., 2014). Las marcas en algunos de estos huesos, datados por radiocarbono en unos 30 mil años, se interpretaron como resultado de acciones humanas en su interacción con la megafauna sudamericana, implicada en su extinción, y por lo tanto este sitio puede ser importante para comprender el momento del poblamiento de América (Fariña & Castilla, 2007), pero la evidencia es controvertida por varios

autores (Suárez et al. 2014; Borrero, 2015; Holcomb et al., 2022).

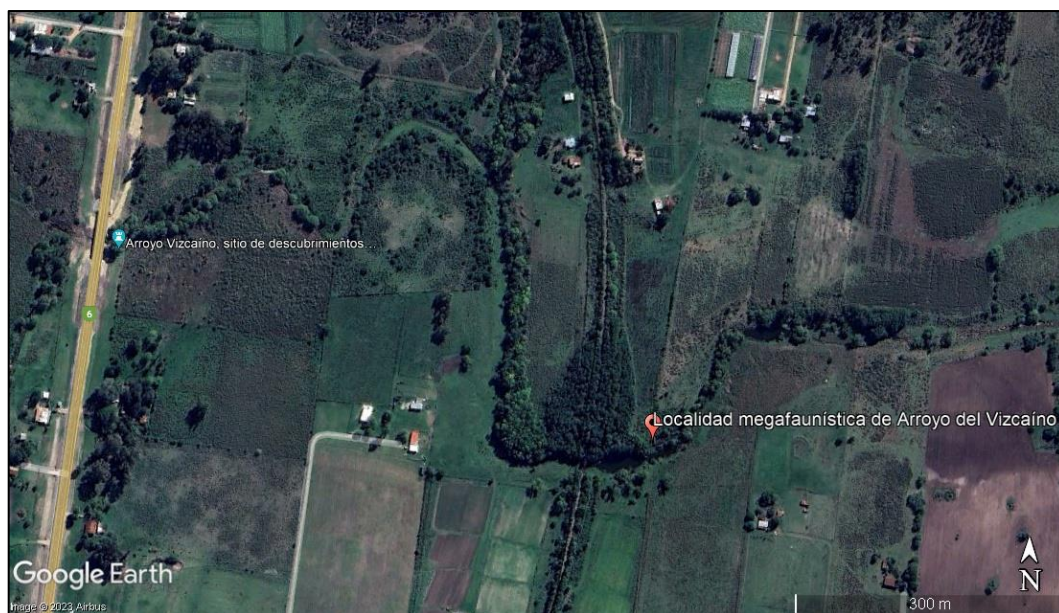


Figura 56. Imagen satelital del sitio en Arroyo del Vizcaino, próximo a la localidad de Sauce (departamento de Canelones).



Figura 57. Un fragmento de coraza del gliptodonte *Glyptodon* hallado en el sitio Arroyo del Vizcaino (Foto: Sebastián Tambusso).

El conjunto de *moluscos marinos del Pleistoceno de la Coronilla*, en la costa atlántica del departamento de Rocha (Fig. 58), al este del país, es uno de los depósitos marino-litorales más ricos del Cuaternario de Uruguay. Este depósito representa una composición de especies de bivalvos y gasterópodos (Fig. 59a). Las preferencias ecológicas de las especies registradas en estos depósitos, permitieron reconstruir las condiciones paleoambientales de la costa oriental uruguaya y el escenario paleobiogeográfico de la zona durante el Pleistoceno tardío, infiriendo condiciones más cálidas que las

actuales en la costa uruguaya (Rojas et al., 2018). Según Ubilla & Martínez, (2016), este depósito de moluscos está contenido en la Formación Chuy (Goso, 1972). El nivel del mar no ha sido establecido con precisión para los depósitos del Pleistoceno uruguayo, aunque se espera que en un margen continental pasivo siga la tendencia global. La Coronilla parece representar niveles más bajos que los actuales, siendo posible que hayan existido algunos procesos neotectónicos (Martínez et al., 2001). El sector costero desde La Coronilla hasta el Chuy (frontera con Brasil) constituye una playa disipativa (Gómez Pivel, 2006), que conforma una plataforma de abrasión donde se exponen sedimentos holocénicos litorales (Goso, et al. 2011; Fig. 59b), registro de las variaciones en el nivel del mar (Martínez & Rojas, 2011).

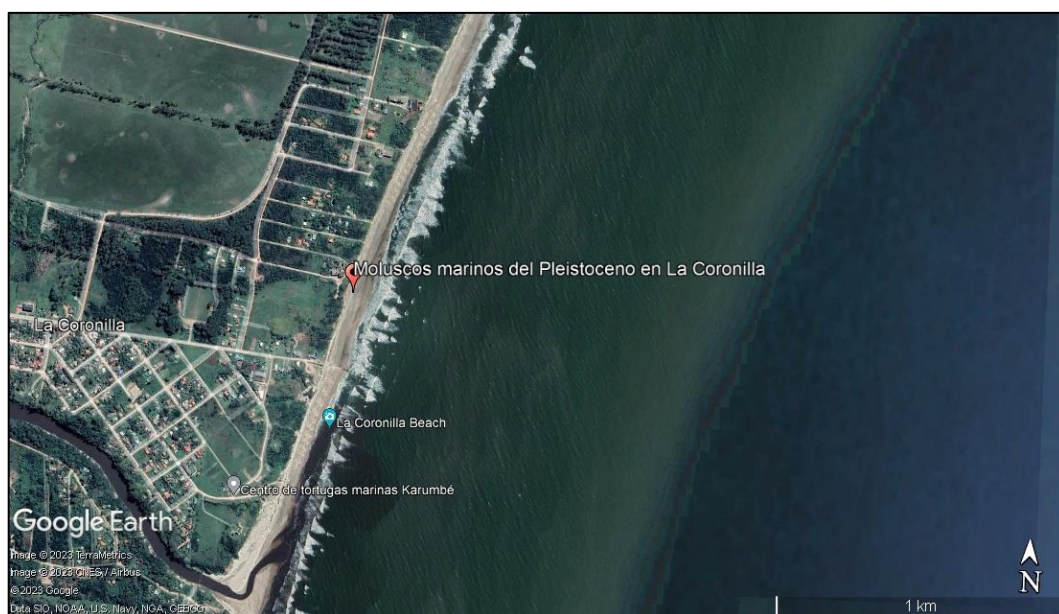


Figura 58. Imagen satelital de la playa del balneario La Coronilla, en la costa atlántica de Rocha (este).

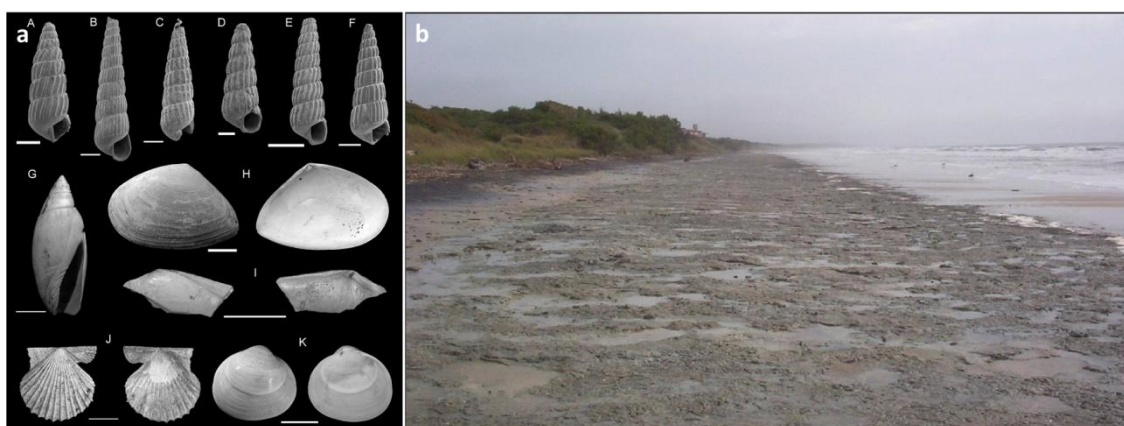


Figura 59. a-Moluscos registrados por primera vez en conjuntos marinos del Cuaternario de Uruguay (Imagen: Alejandra Rojas).
b- Plataforma de abrasión esculpida sobre fangos grises transgresivos holocénicos (Foto: F. Scaravino).

4.1.9 Unidades geomorfológicas y formas del relieve

La evolución del paisaje uruguayo es resultado de una variedad de procesos morfogenéticos bajo diferentes condiciones climáticas regionales a lo largo de su historia geológica. Estos climas tuvieron una fuerte influencia en el modelado del paisaje y la modificación de las formas del relieve preexistentes. Los materiales sedimentarios generados en las diferentes épocas y las formas del relieve resultantes permiten inferir varias características paleoambientales. Muchas formas del relieve han sido erosionadas y borradas de la superficie, mientras que, los relictos de las formas del relieve más antiguas están representados principalmente por elevaciones aisladas, generalmente completamente denudadas. Estos relictos pueden interpretarse como parte de *inselbergs* posicionales o *bornhardts*, mientras que otras se consideran *etchplains*, que son las principales características del paisaje (Panario et al., 2014).

La evolución del paisaje en Uruguay presenta características diferentes debidas, básicamente, al marco estructural y al tamaño de su territorio, lo que sugiere que las condiciones climáticas fueron relativamente uniformes para toda la superficie del país para cada período estudiado. Las principales regiones morfoestructurales se caracterizan por eventos tectónicos y dentro de cada región, por la variedad de tipos de rocas involucradas, que confieren al paisaje sus características peculiares (Panario, 1988).

Se definen 8 unidades morfoestructurales principales, presentes en casi toda la extensión del país (Fig. 60), de acuerdo a Panario et al. (2014):

1. *Cuenca Sedimentaria del Noreste*: la Cuenca Sedimentaria gondwánica se mantuvo estable, en términos de acumulación de sedimentos, desde épocas muy anteriores a las que modelaron el paisaje durante el Cenozoico. La ausencia de procesos de acumulación posteriores sugiere que el potencial morfogenético de la región no se ha modificado durante el Cuaternario, cuando se produjo la principal incisión del paisaje. Está compuesta por fuertes pendientes y grandes colinas.
2. *Cuesta Basáltica*: los principales eventos estructurales en la región son la inclinación de los flujos basálticos de edad cretácica, lo que proporciona a la región una estructura de “cuesta” (“*slope*”) orientada hacia el este. Estos flujos cubrieron rocas sedimentarias de la cuenca gondwánica. La característica de estas coladas de lava es el predominio de estructuras horizontales, que han favorecido en esta región la conservación de relieves planos.

3. *Cuenca Sedimentaria Litoral Oeste*: esta unidad está compuesta por gruesos paquetes de areniscas del Cretácico y sedimentos del Paleoceno con una cobertura muy delgada del Cuaternario. Esta cuenca sedimentaria también está relacionada con la tectónica del Cretácico, posiblemente por la inclinación de la cuesta basáltica. Como la unidad anterior, esta cuenca recibió sólo un pequeño aporte de sedimentos durante el Cuaternario y, por tanto, las líneas de drenaje se volvieron más arraigadas aquí que en las cuencas tectónicas del sur y suroeste.
4. *Cuenca Sedimentaria del Suroeste*: Hacia el suroeste se encuentra otra cuenca sedimentaria de menor importancia, tanto por su extensión territorial como por el espesor de sus acumulaciones sedimentarias, principalmente depósitos muy gruesos del Neógeno y del Cuaternario. Esta región ha actuado como cuenca receptora de sedimentos hasta épocas recientes, finales del Cuaternario Medio.
5. *Fosa Tectónica de Santa Lucía*: hacia el sur se encuentra la cuenca de Santa Lucía, probablemente una de las dos cuencas del Cretácico más importantes dentro de la porción continental del país, con sedimentos cretácicos, terciarios y cuaternarios incluidos.
6. *Fosa Tectónica de Laguna Merín*: hacia el este, se localiza otra fosa tectónica de similar edad para el inicio del evento y tamaño; esta cuenca, sin embargo, presenta sedimentos del Cretácico al Neógeno en su vertiente continental como materiales más antiguos. El paisaje de esta región es prácticamente llano debido a su casi nulo potencial morfogenético. La deposición de sedimentos del Pleistoceno y Holoceno se desarrolla en gran medida bajo la forma de terrazas escalonadas.
7. *Región Centro Sur*: la Región Centro Sur está ocupada por rocas pertenecientes al Escudo Brasileiro precámbrico que se han mantenido en condiciones relativamente estables al menos durante el Cretácico. Estas condiciones relativamente estables, así como las características de los sistemas morfoclimáticos que dominan la zona desde entonces, han otorgado al paisaje un aspecto “senil”, descrito como una “penillanura cristalina” (Chebataroff, 1955).
8. *Sierras del Este*: esta región está compuesta por un complejo de estructuras emergidas plegadas y otros elementos elevados como el Cinturón Dom Feliciano, de los cuales el más antiguo es el Macizo del Carapé que corresponde a la principal divisoria de aguas de la región. Esta unidad representa el paisaje con mayor energía potencial.

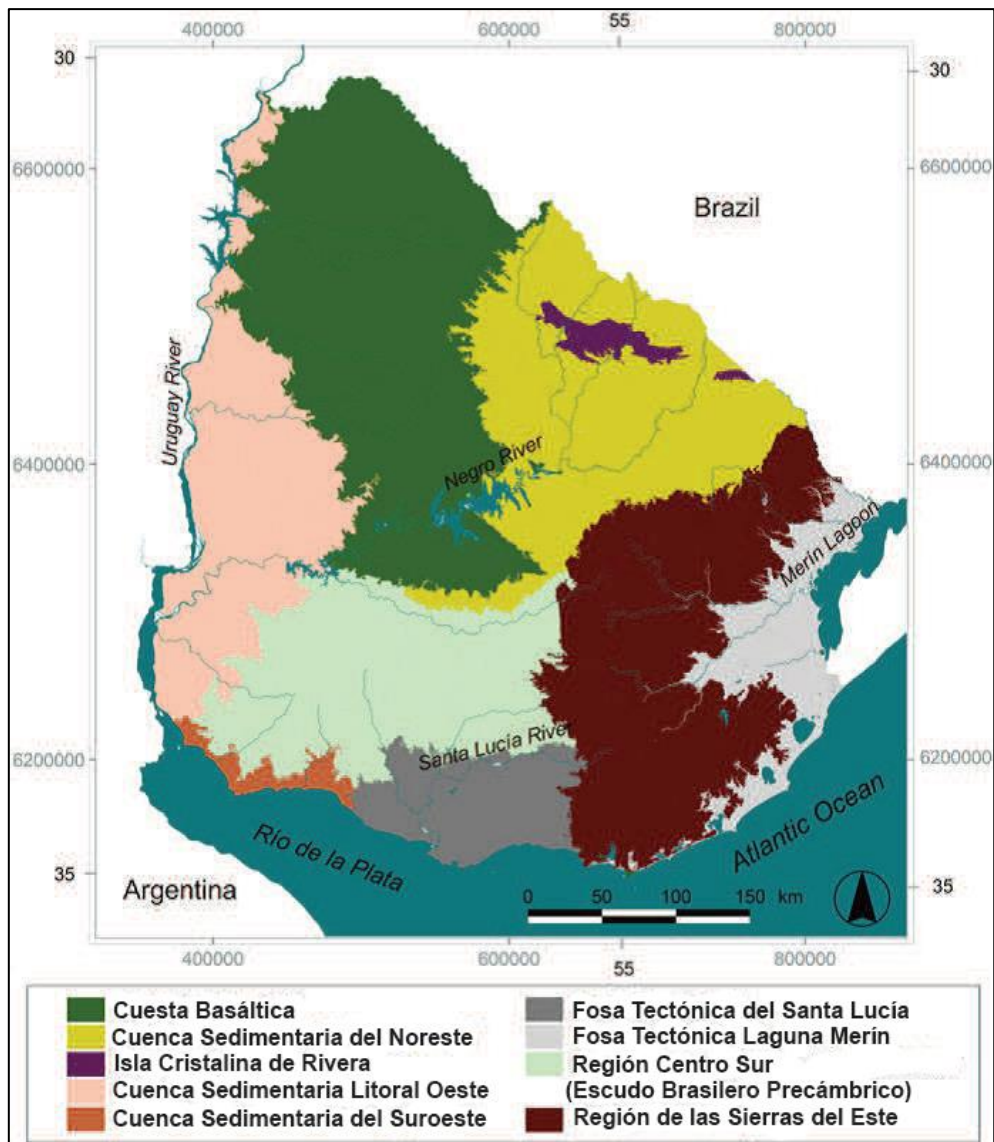


Figura 60. Mapa de unidades morfoestructurales de Uruguay (modificado de Panario et al., 2014).

Sitios de interés geológico seleccionados:

En la selección de los sitios de interés geológico de esta categoría (Fig. 61), dos de los lugares que representan este contexto geológico son: el *mar de piedras de Sierra Mahoma* y la *escarpa de la cuesta basáltica en la subida de Pena*; ambos de interés geológico en el campo de la geomorfología, notoriamente. Estos sitios son los mejores representantes de sus respectivas unidades geomorfológicas, son ejemplos raros por sus características, presentan exposiciones bien conservadas y poseen publicaciones científicas.

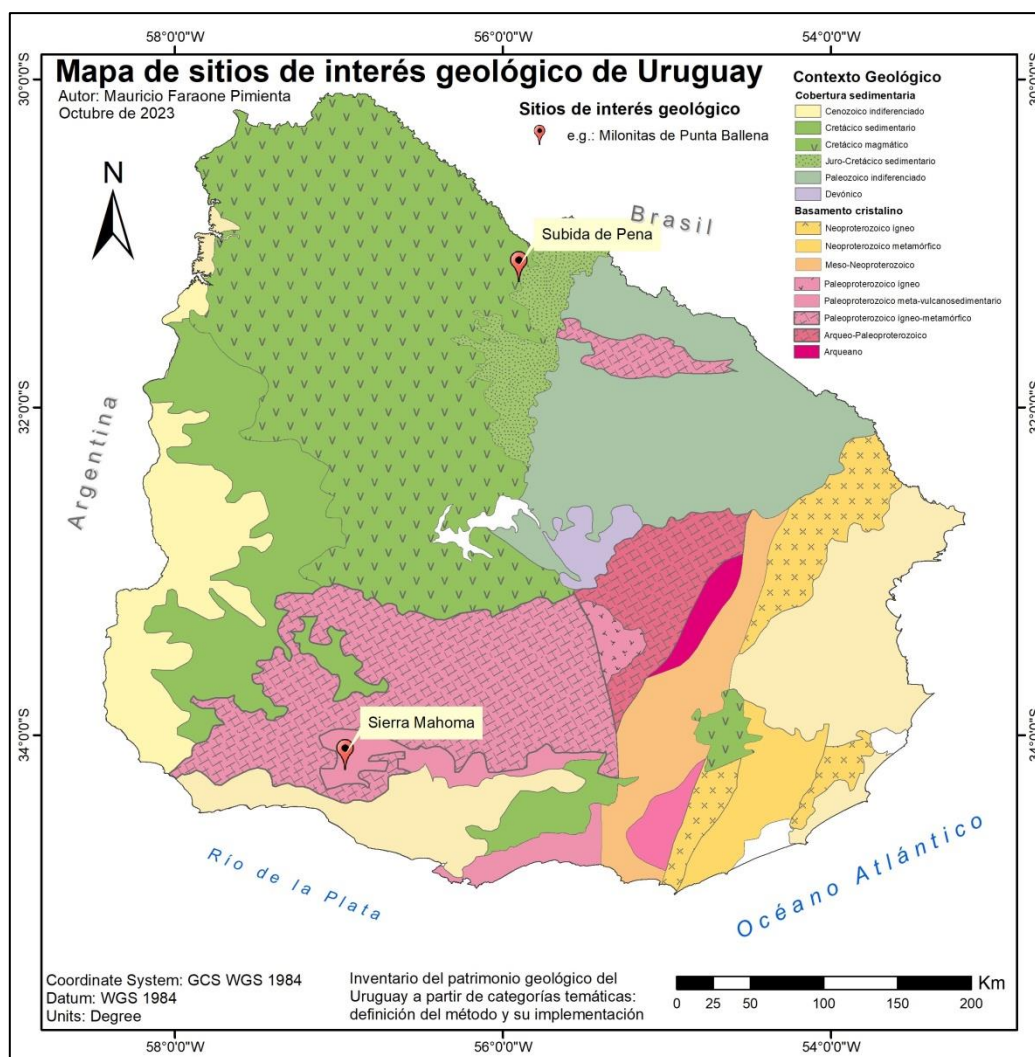


Figura 61. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con los sitios de interés geológico seleccionados para esta categoría temática (9).

El *mar de piedras de Sierra Mahoma*, se ubica en la sierra homónima en el departamento de San José. La misma constituye un cuerpo granítico elíptico, de aproximadamente 8 por 4 kilómetros, con el eje mayor dispuesto según una dirección aproximada N60° (Fig. 62). Esta sierra muestra un importante destaque geomorfológico en la región, caracterizada por desarrollo topográfico positivo, de hasta 180 msnm, y abundantes afloramientos en forma de bloques (Spoturno et al., 2004). Según Chebataroff (1944), la Sierra Mahoma debió tener el aspecto de una cuchilla pero sus rasgos topográficos fueron intensamente transformados por la acción fluvial, que le quitó su anterior uniformidad, dándole el carácter de un “mar de piedra” o caos de bloques (berrocal). Este consiste en vastas acumulaciones de bloques graníticos, a menudo de grandes dimensiones, generalmente redondeados por meteorización y erosión, apoyados sobre afloramientos de granito (Fig. 63). Estas formas del relieve constituyen una característica saliente de nuestro paisaje en las zonas centrales y meridionales del país (Chebataroff, 1969). Este caos de bloques se desarrolla sobre el propio granito

de Mahoma, del Paleoproterozoico (Spoturno et al., 2004).

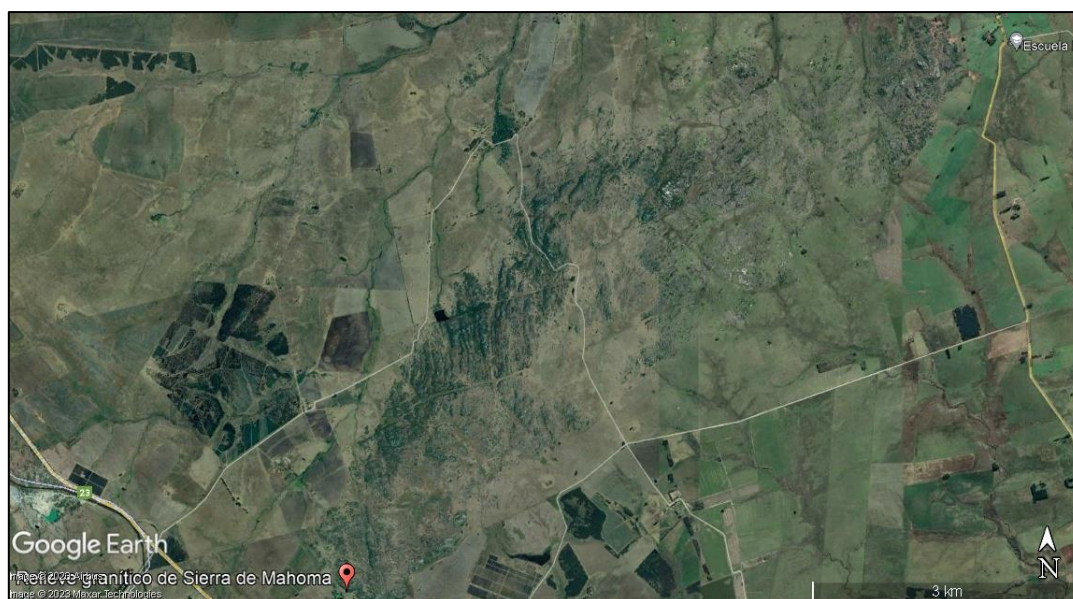


Figura 62. Imagen satelital general de la Sierra Mahoma (departamento de San José), nótese el relieve granítico.



Figura 63. Vista panorámica del caos de bloques de granito de Sierra Mahoma.

La *escarpa de la cuesta basáltica en la subida de Pena*, se encuentra en el departamento de Rivera al norte del país (Fig. 64). El sitio se ubica sobre la Ruta N°30 y conforma un mirador, desde el cual se pueden observar los cambios morfológicos entre dos unidades: la Cuesta Basáltica y la Cuenca Sedimentaria Noreste (Panario, 1988; Panario et al 2014). Este lugar representa el frente erosivo de la Cuesta Basáltica (o Cuesta de Haedo; Chebataroff, 1951), donde se encuentra el contacto entre los basaltos cretácicos de Formación Arapey y las areniscas jurásicas de la Formación Tacuarembó. En los

afloramientos, del talud de la ruta, es posible observar estratificación cruzada en las areniscas de la base y basaltos masivos en el tope. El frente erosivo de la cuesta presenta una potencia superior a los 100 metros y se extiende por decenas de kilómetros dominando el paisaje (Fig. 65).

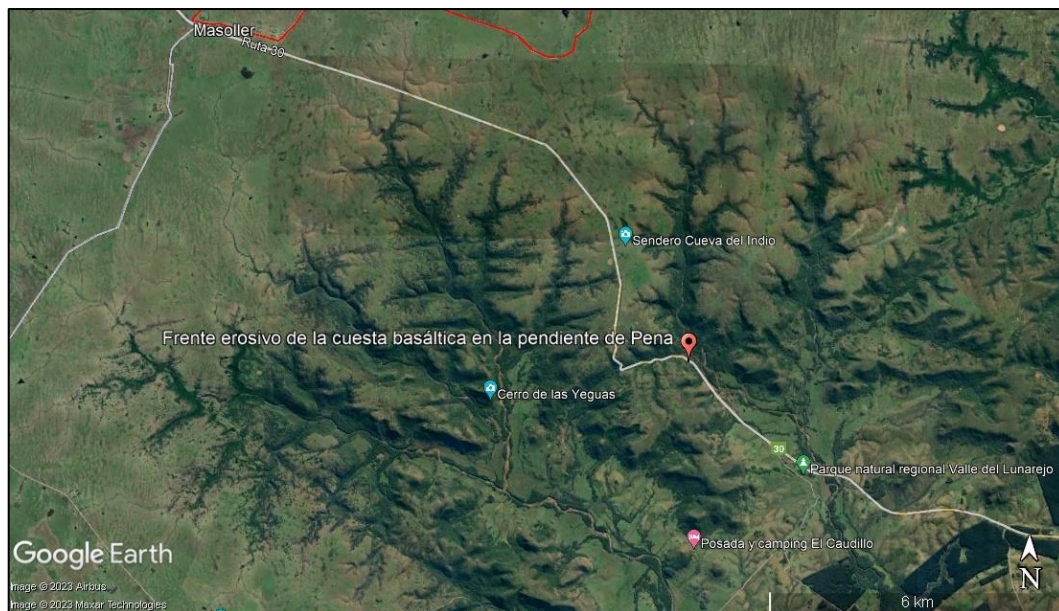


Figura 64. Imagen satelital del entorno a la subida de pena, sobre Ruta 30 (departamento de Rivera), nótese la escarpa.



Figura 65. Vista panorámica (aérea) de la escarpa atravesada por la Ruta 30 (Foto: Andrés Benvenuto).

4.2 Sitios de interés geológico: resumen

De la lista de propuestas de potenciales sitios de interés geológico enviadas por los especialistas, fueron seleccionados 18, dos por categoría temática, según los criterios de valor científico. En conjunto, los sitios caracterizados presentan cierta distribución geográfica (Fig. 66), poseen distinto interés

principal según la disciplina geológica (Fig. 67) y representan los dominios geoestructurales del país (Fig. 68). La consolidación del inventario del patrimonio geológico de Uruguay debe incluir un número más significativo de sitios por categoría y estos deberán ser evaluados cuantitativamente, en conjunto con una cartografía de detalle para su delimitación, tareas que exceden los alcances de esta tesis.

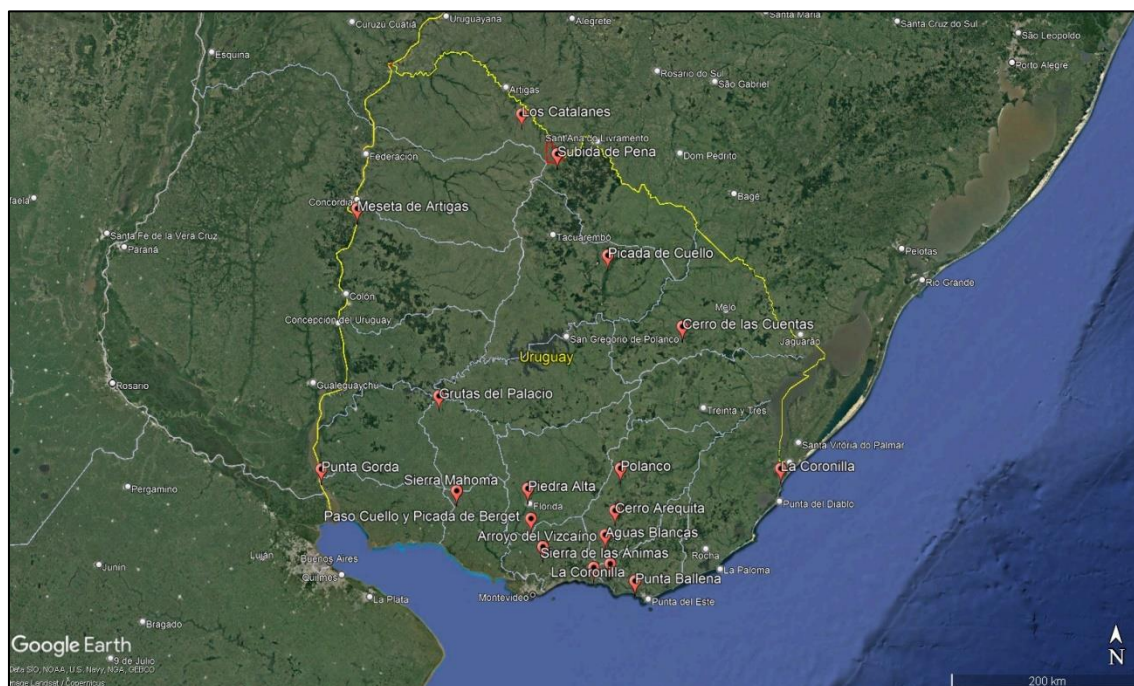


Figura 66. Imagen satelital de Uruguay, con la localización de los sitios de interés geológico seleccionados (pines rojos).

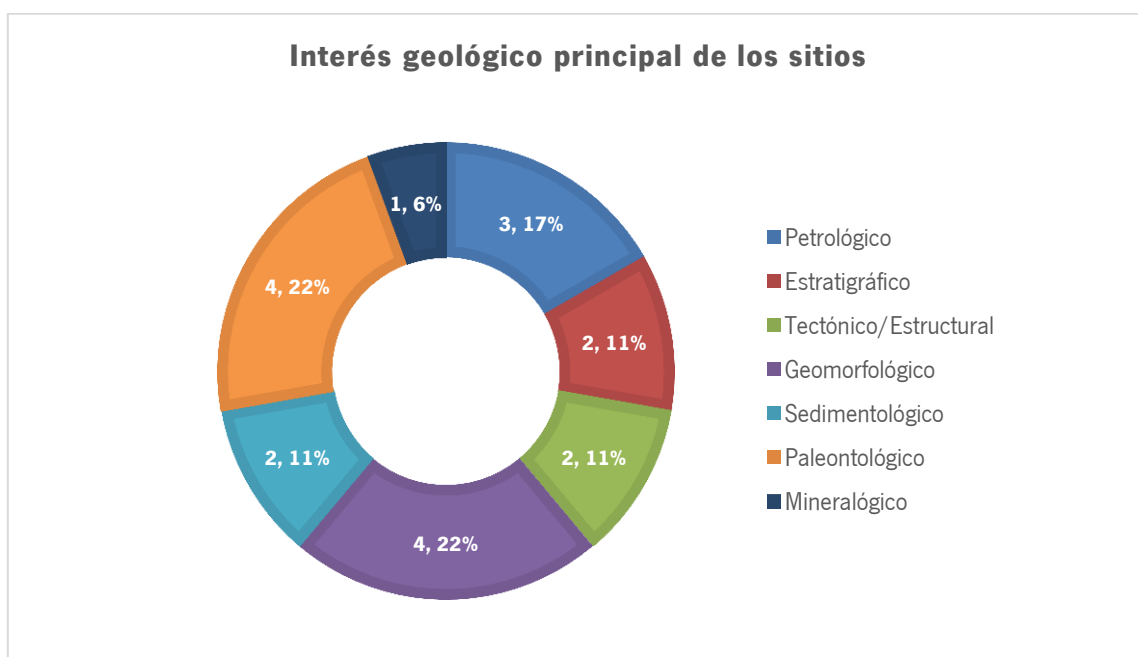


Figura 67. Gráfico de los sitios de interés geológico seleccionados (n=18), según rasgo geológico principal.

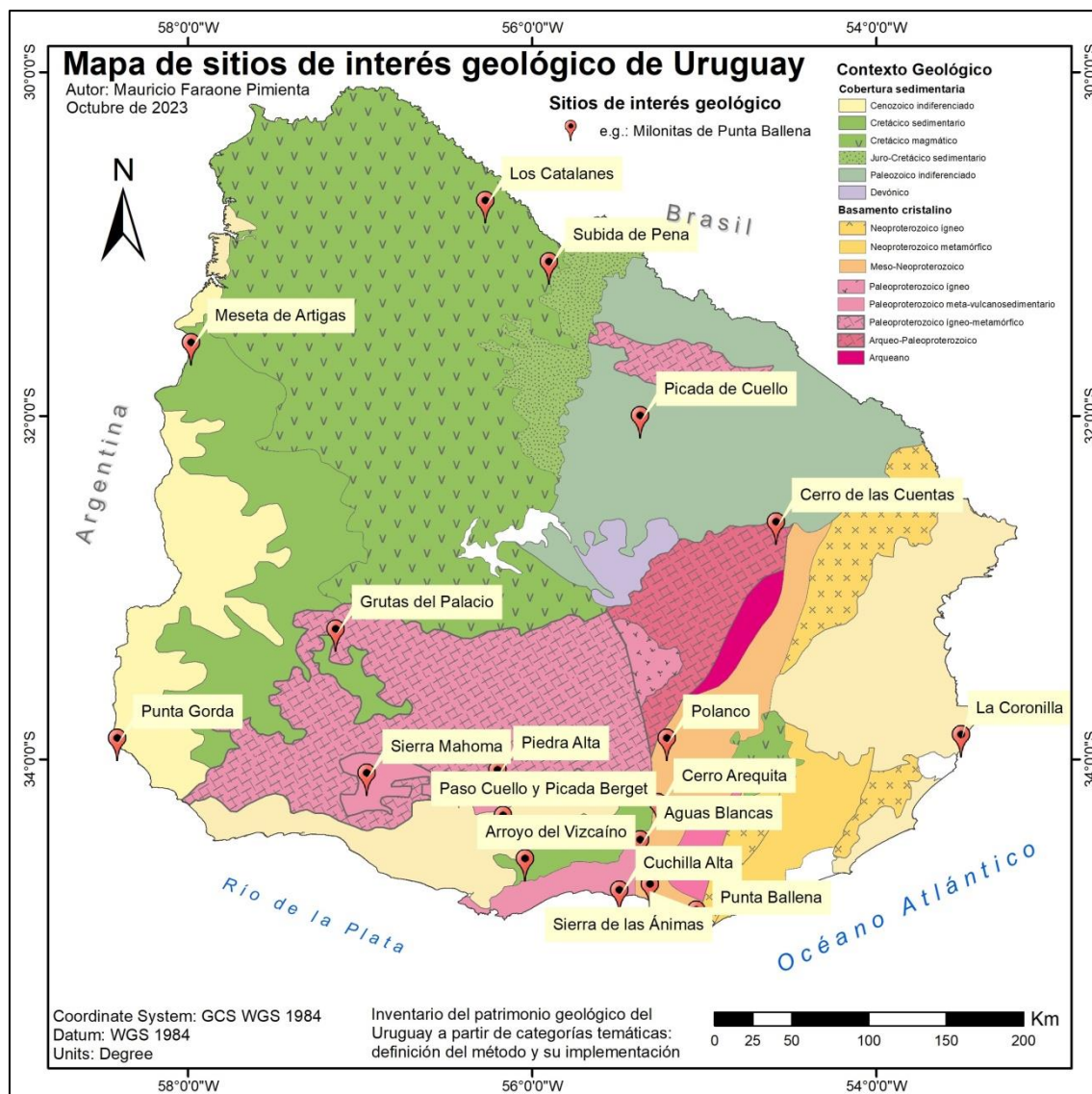


Figura 68. Mapa geológico simplificado de Uruguay, con todos los sitios de interés geológico seleccionados (con nombres geográficos).

5. Discusión

La discusión de los resultados obtenidos es abordada a continuación, en función de los objetivos específicos del presente trabajo.

5.1 Inventario del patrimonio geológico a través de categorías temáticas

La metodología aplicada para iniciar el inventario nacional del patrimonio geológico en Uruguay, se basó en la definición de contextos geológicos (es decir, categorías temáticas) según el modelo desarrollado por la ProGEO (Wimbledon, 1996). Al ser este un inventario enfocado en el valor científico (*sensu*, Brilha, 2016), fue necesaria la consulta a especialistas, con un conocimiento muy sólido en áreas específicas de la geología de Uruguay, tanto para la definición de las categorías como al momento de recibir propuestas de sitios de interés geológico.

Como se expuso en el capítulo anterior, en el presente trabajo, se definieron 9 contextos geológicos o categorías temáticas para el desarrollo del inventario nacional del patrimonio geológico. El conjunto de estas categorías ilustran los principales eventos/procesos geológicos, que permiten describir la historia geológica y las principales etapas de su evolución, en el territorio que es hoy Uruguay.

De la propuesta inicial elaborada para la publicación especial sobre sitios de interés geológico de Iberoamérica de la ASGMI (ver Capítulo 1), a partir de los 5 geositos que debían ser seleccionados para el país, fueron definidos 5 contextos geológicos representativos de las grandes estructuras geológicas del país (Faraone, 2022). Así, fueron establecidos de manera preliminar: *Terrenos Precámbricos; Orogenia Brasiliana; Cuencas Gondwánicas; Magmatismo Mesozoico; Sedimentación Post-basáltica*.

Los primeros cuatro fueron mantenidos como categorías temáticas, siendo ajustada su definición en el presente trabajo. Mientras que, del *workshop* realizado sobre el inventario nacional del patrimonio geológico, se decidió, mediante consenso con los especialistas, dividir la última categoría propuesta. Esto se debe a que era muy abarcativa, representando un amplio conjunto de eventos correspondientes a las etapas más recientes de la historia geológica del país, por lo tanto con un diverso registro geológico.

Como resultado del debate entre expertos que tuvo lugar durante el *workshop*, surgieron un total de 15 categorías temáticas que, de la encuesta enviada y consultas posteriores a la comunidad geocientífica uruguaya, ascendieron a 19. Varias de estas nuevas categorías planteadas, surgen de las

anteriormente definidas. De esta manera, al contexto geológico Terrenos Precámbricos (1), se agregaron el “*Arqueano en Uruguay*” (2), “*Glaciación Gaskiers*” (3), “*Plataformas carbonáticas y siliciclásticas precámbricas*” (4) y “*Mineralizaciones metálicas precámbricas*” (5); de Orogenia Brasiliana (6) se adicionó “*Magmatismo ediacárico*” (7); la categoría Cuencas Gondwánicas (8) se subdividió en “*Ciclo de transgresión-regresión marina devónica*” (9), “*Glaciación Karoo (Paleozoico Tardío)*” (10), “*El mar epicontinental pérmico*” (11), y “*El desierto gondwánico de Botucatu*” (12) y de Magmatismo Mesozoico (13) surgió “*El rift mesozoico*” (14).

Un caso particular fue la categoría Sedimentación Post-basáltica, definida inicialmente, dividida posteriormente en “*Sedimentogénesis y pedogénesis del Cretácico post-basáltico*” (15), “*Sedimentación paleógena-neógena y fauna asociada*” (16), “*Megafauna pleistocena*” (17) y “*Evolución continental y costera cuaternaria*” (18); siendo luego las dos últimas fusionadas. A estas, se le sumó una categoría específica sobre evolución del relieve y del paisaje (geomorfología) totalizando así en 19 categorías (ver Tabla 1).

Tabla 2. Categorías temáticas definidas para el inventario de sitios de interés geológico para Uruguay (en cursiva, categorías postergadas).

Publicación ASGMI	Workshop inventario	Este trabajo
Terrenos Precámbricos	1- Terrenos Precámbricos 2- <i>El Arqueano en Uruguay</i> 3- <i>Glaciación Gaskiers</i> 4- <i>Plataformas carbonáticas y siliciclásticas precámbricas</i> 5- <i>Mineralizaciones metálicas precámbricas</i>	1- Terrenos Precámbricos
Orogenia Brasiliana	6- Orogenia Brasiliana 7- Magmatismo ediacárico	2- Orogenia Brasiliana 3- Magmatismo ediacárico
Cuencas Gondwánicas	8- Cuencas Gondwánicas 9- <i>Ciclo de transgresión-regresión marina devónica</i> 10- <i>Glaciación Karoo (Paleozoico Tardío)</i> 11- <i>El mar epicontinental pérmico</i> 12- <i>El desierto gondwánico de</i>	4- Cuencas Gondwánicas

<i>Botucatu</i>		
Magmatismo Mesozoico	13- Magmatismo Mesozoico	5- Magmatismo Mesozoico
	14- <i>El rift mesozoico</i>	
Sedimentación Post-basáltica	15- Sedimentogénesis y pedogénesis del Cretácico post-basáltico	6- Sedimentogénesis y pedogénesis del Cretácico post-basáltico y paleoceno
	16- Sedimentación paleógena-neógena y fauna asociada	7- Sedimentación paleógena-neógena y fauna asociada
	17- <i>Megafauna pleistocena</i>	8- Evolución continental y costera
	18- Evolución continental y costera cuaternaria	cuaternaria
	19 -Unidades geomorfológicas y formas del relieve	9 -Unidades geomorfológicas y formas del relieve

Posteriormente, con el desarrollo del presente trabajo mediante consultas con los especialistas en cada contexto geológico, se observó que algunos de los sitios de interés geológicos identificados no estarían representados en algunas de estas nuevas categorías pero sí lo están en las anteriores. A su vez, los sitios de interés geológicos representantes de estas nuevas categorías, estarían representando también a las categorías iniciales.

Por tal motivo, en esta etapa inicial del inventario, es que se decide postergar la definición de nuevas categorías, considerando mejor una menor cantidad de categorías, bien definidas y con una cantidad suficiente de sitios representativos, a una mayor cantidad de categorías con pocos sitios de interés geológico incluidos. De esta manera, se mantuvieron los contextos geológicos Terrenos Precámbricos, Orogenia Brasiliana, Cuencas Gondwánicas y Magmatismo Mesozoico.

Así, a los cuatro contextos geológicos definidos inicialmente se le suma Magmatismo Ediacárico, por ser un evento geológico bien representado en el país y separable de otros procesos ocurridos durante la Orogenia Brasiliana; y los tres contextos geológicos en los cuales fue dividida la categoría inicial que representaba los eventos posteriores al Magmatismo Mesozoico (la denominada Sedimentación Post-basáltica).

Además, se le suma la categoría específica sobre geomorfología, la denominada *Unidades geomorfológicas y formas del relieve*, definida para representar la evolución del relieve y paisaje uruguayo a lo largo de su historia geológica. Siendo esta la última de las 9 categorías temáticas del

presente trabajo (ver Tabla 1; Capítulo 4).

Por otro lado, durante el proceso de consultas surgieron ideas de categorías temáticas específicas para hidrogeología (*i.e. Acuíferos del Mesozoico*) y pedología (suelos actuales), pero dado el estado actual de los conocimientos no fueron concretadas. A su vez, las categorías específicas planteadas para paleontología o mineralogía quedaron integradas en la definición de los contextos geológicos correspondientes, pero es esperable que sean reformuladas para el inventario.

En resumen, estos 9 contextos geológicos son la base para compartimentar el conocimiento geológico del territorio uruguayo. Estos han sido útiles para sistematizar la identificación de los sitios de interés geológico propuestos, ya que los mismos se asocian a su contexto geológico. Dado que el conocimiento geológico de Uruguay no es homogéneo y que nos encontramos en una etapa inicial del desarrollo del inventario, es de esperar que una vez completado el mismo –y conforme se vaya actualizando– surjan otras categorías temáticas, tanto como nuevas propuestas como por divisiones de los contextos geológicos ya definidos.

5.2 Instrumentos de protección legal de los sitios de interés geológico

La falta de un inventario del patrimonio geológico sistemático hace inviable la protección legal de un determinado territorio, haciendo necesarias estas etapas al iniciar una estrategia de geoconservación (Brilha, 2016). La geoconservación es útil para la gestión y planificación territorial, mediante la protección legal de los sitios de interés geológico. Para que una estrategia de geoconservación sea efectiva es necesario contar con un marco legal adaptado a las necesidades del patrimonio geológico (Carcavilla et al., 2007).

A diferencia de lo que ocurre en España (Ley 42/2007) y Portugal (Decreto-Lei 142/2008), países de referencia a nivel iberoamericano en materia de geoconservación, donde existen leyes específicas para proteger el patrimonio geológico (Díaz-Martínez et al., 2008), en Uruguay no existen normativas de protección del patrimonio geológico particulares. A pesar de que, la legislación uruguaya en temas ambientales y de protección de la naturaleza es amplia y ha ido creciendo en los últimos años (Goso et al., 2016).

Los instrumentos de conservación de la naturaleza en Uruguay están enfocados principalmente a proteger la biodiversidad, desde la aprobación del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) mediante la Ley 16.408 de 27 de agosto de 1993; mientras que la geodiversidad se incluye sólo de manera secundaria en las normativas de protección del patrimonio natural. Por ejemplo, la Ley General de Protección Ambiental –N° 17.283 de 28 de noviembre de 2000– introduce el concepto de desarrollo

sostenible y hace referencia a la conservación de la diversidad biológica, pero sin mencionar los ecosistemas y su ambiente abiótico.

A pesar de la ausencia de la geodiversidad en las normativas de protección del patrimonio natural, la geoconservación en Uruguay se ha formalizado mediante la utilización de tres leyes fundamentales, de acuerdo a Goso et al. (2016), estas son: la Ley de Patrimonio; la Ley de creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas; y la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible.

La Ley N° 14.040 de 20 de octubre de 1971, conocida como Ley de Patrimonio, crea la Comisión del Patrimonio Histórico, Artístico y Cultural de la Nación cuyo objetivo es la conservación del patrimonio. Según Goso et al., (2016) esta ley requiere una actualización sobre la base de las nuevas definiciones, incorporando otras áreas temáticas, nuevas categorías de protección, niveles de gestión territorial y un sistema sancionatorio. En los últimos años ha habido iniciativas de modificación de esta normativa, sin éxito, debido –quizás– a la complejidad que conlleva incluir en una misma ley la protección del patrimonio cultural y la del patrimonio natural (Goso, *com. pers.*).

De todas formas, la aún vigente Ley de Patrimonio ha sido utilizada para la protección de dos sitios de interés geológico en el campo de la paleontología: “*Sitio paleontológico constituido por huellas de dinosaurio*”⁹ (Cuchilla del Ombú, departamento de Tacuarembó) y “*Sitio paleontológico y arqueológico del Arroyo Vizcaíno*”¹⁰ (Sauce, departamento de Canelones). Estos sitios, el segundo de ellos caracterizado en este trabajo, integrarán el inventario nacional de patrimonio geológico. Ambos han sido declarados Monumento Histórico Nacional en los años 2013 y 2021, respectivamente. Esto ha sido posible, dado el trabajo de los especialistas –paleontólogos– y debido a que el mismo régimen previsto para los sitios arqueológicos le corresponde a los yacimientos paleontológicos (Artículo 14 de la Ley N° 14.040).

Por lo expresado anteriormente, es posible que esta ley siga siendo utilizada para la protección de sitios cuyo principal interés sea la paleontología o contengan yacimientos paleontológicos de relevancia. Por otro lado, existen sitios con interés en otras áreas de las ciencias geológicas que, por otros atributos (*i.e.* históricos, culturales), se encuentran amparados por esta normativa. Este es el caso de *la Piedra Alta* y *la Meseta de Artigas*, sitios históricos declarados como Monumento Histórico Nacional. Por lo tanto, es viable la utilización de este instrumento legal para la protección del patrimonio geológico; aunque sólo alcanzaría a casos particulares, siendo deseable contar con una normativa específica.

9 Resolución N° 810/013: <https://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/810-2013>

10 Resolución N° 157/021: <https://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/157-2021>

La ley de creación y gestión del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), del año 2000, y su decreto reglamentario, del año 2005, –Ley N° 17.234; Decreto N° 52/005– es un segundo mojón fundamental a los efectos de la geoconservación (Goso et al., 2016). Según la ley, el SNAP se entiende como el conjunto de áreas naturales del territorio nacional, continentales, insulares o marinas, representativas de los ecosistemas del país, que por sus valores ambientales, históricos, culturales o paisajísticos singulares, merezcan ser preservados como patrimonio de la nación, aun cuando las mismas hubieran sido transformadas parcialmente por los seres humanos (Artículo 1, Ley N° 17.234).

Las seis categorías de definición y manejo, establecidas en el SNAP (Artículo 3, Ley N° 17.234), se corresponden aproximadamente con las que propone la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Como afirma Dudley (2008), es evidente que la legislación sobre áreas protegidas en Uruguay ha utilizado las categorías de la UICN. Esto permite una razonable posibilidad de comparación, dado que operan como un estándar global que permite el intercambio de información y sistematización a nivel internacional (SNAP, 2018).

Entre estas categorías de gestión del SNAP, se destacan cuatro por su inclusión de elementos de la geodiversidad. Los Parques Nacionales (categoría II de la UICN) son áreas donde existen uno o varios ecosistemas, sitios geomorfológicos y hábitats, o comprenden paisajes naturales. El Monumento Natural (categoría III de la UICN), es aquella área que contiene normalmente uno o varios elementos naturales específicos de notable importancia nacional, tales como una formación geológica. El Paisaje Protegido (categoría V de la UICN) es una superficie territorial continental o marina, de singular belleza escénica o con valor de testimonio natural. Los Sitios de Protección (categoría I-a de la UICN), son aquellas áreas relativamente pequeñas que poseen valor crítico, dado que –entre otras– contienen manifestaciones geológicas o geomorfológicas relevantes.

En la actualidad, ningún área natural ha ingresado al SNAP bajo la última categoría descripta (SNAP, 2018). Los Sitios de Protección podrían ser una alternativa viable para la protección legal de sitios de interés geológico, que por su alto valor y riesgo de degradación ameriten su declaración como área protegida. Para tal fin, es necesario delimitar el área de los sitio de interés geológico del inventario.

De las otras categorías de manejo del SNAP, un caso particular es la de Monumento Natural. *Grutas del Palacio* constituye la primera propuesta integral de geoconservación en Uruguay, teniendo el máximo nivel de protección de carácter nacional (Goso et al., 2016). Este geosito, además de dar el nombre al primer –y único, actualmente– Geoparque Mundial de la UNESCO en el país, ingresó al SNAP bajo la categoría de Monumento Natural (Fig. 49); obteniendo ambas designaciones en el mismo

año (2013). Hasta la fecha, es la única área natural protegida del país en esta categoría de manejo. Por lo que, a futuro, sería de interés proponer el ingreso al SNAP de otros sitios de interés geológico – cuyo valor lo justifique– bajo esta categoría de gestión.



Figura 69: Panel informativo al ingreso al predio del Área Protegida Grutas del Palacio (SNAP).

Otro sitio de interés geológico, identificado y caracterizado en este trabajo, integra el SNAP. El sitio denominado *frente erosivo de la cuesta basáltica en la subida de Pena*, de interés geomorfológico, ingresó al SNAP en 2009 como parte del Paisaje Protegido Valle del Lunarejo. A su vez, desde la creación del SNAP en los años 2000, el *Cerro Arequita* y su entorno es un área estudiada como prioritaria para su incorporación; siendo un posible futuro Parque Nacional. Por lo anteriormente expuesto, es esperable que otras áreas naturales con especial interés geológico ingresen al SNAP.

Por otro lado, existen reservas naturales reconocidas internacionalmente de importancia para la vida silvestre, o con rasgos geológicos de especial interés, que son protegidas con fines de conservación. Este es el caso de las dos Reservas de la Biosfera, enmarcadas en el Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO (MaB, por sus siglas en inglés), la de *Bañados del Este y Franja Costera* (desde 1976) y la de *Bioma Pampa-Quebradas del Norte* (desde 2014).

En relación a estas, dos de los sitios de interés geológico descritos en este trabajo se encuentran en cada una de las reservas de la biosfera designadas en Uruguay. El sitio de la *subida de Pena* integra la reserva Bioma Pampa y Quebradas del Norte, siendo su interés geomorfológico característico de la misma, teniendo así dos designaciones: SNAP y MaB. Por otro lado, *La Coronilla* es parte de la franja

costera de la reserva de la biosfera Bañados del Este, que además es un sitio Ramsar (Convención sobre los Humedales), y se encuentra lindero al área natural protegida de *Cerro Verde e Islas de la Coronilla* que integra el SNAP bajo la categoría de área de manejo de hábitats y/o especies (categoría IV de la IUCN).

Por último, otras de las leyes fundamentales aplicadas a la geoconservación en Uruguay es la Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible –Ley N° 18.308– del año 2008. La misma establece competencias nacionales en la materia, pero especialmente incumben a los Gobiernos Departamentales (gobiernos locales), la definición de instrumentos de ordenamiento territorial, categorización de suelos y autorizaciones de uso y construcción y el establecimiento de medidas cautelares de protección. Esta ley, obliga a las Intendencias Departamentales (poder ejecutivo local) a establecer las Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial, con un Plan Estratégico basado en un Informe Ambiental Estratégico, para ejecutar las medidas cautelares de protección en donde se entienda pertinente.

Un caso de aplicación de esta normativa, para la protección de sitios de interés geológico, es el del Departamento de Flores. Dado el compromiso asumido en geoconservación por parte de las autoridades locales y los gestores del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio, es que el gobierno local encontró en la Ley de Ordenamiento Territorial una herramienta apropiada para reglamentar a nivel departamental la protección de geositos. En este proceso las Directrices del Departamento de Flores han incorporado el Geoparque, con diez geositos y otros sitios de interés que resultaron protegidos por una medida cautelar, mediante el Decreto No. 0821 promulgado por la Junta Departamental de Flores (poder legislativo local). Ese decreto suspende el derecho al uso de la tierra con fines de forestación y minería. Las medidas de protección incluyen el área de acceso público del geosito y una zona de amortiguación definida por los técnicos (Goso et al., 2016).

Por otro lado, se encuentra el caso del Departamento de Tacuarembó. En diciembre de 2020, la Intendencia Departamental (IDT) publica el *Inventario Arqueológico y Patrimonial del Departamento de Tacuarembó*. Este inventario se inscribe en el marco de actuación de la Ley de Ordenamiento Territorial y el Desarrollo Sostenible, la cual tiene dos aspectos fundamentales que abren nuevas posibilidades para la protección, promoción y gestión integral del patrimonio. Por un lado, la inclusión al patrimonio cultural como objeto de planificación del territorio, entendido este como el conjunto de bienes a los que se atribuyen valores de interés ambiental, científico, educativo, histórico, arqueológico, arquitectónico o turístico, referidos al medio natural y la diversidad biológica, unidades de paisaje, conjuntos urbanos y monumentos. Por otro, la incorporación de un instrumento novedoso de gran potencial normativo en

materia de gestión patrimonial; a saber: los “Inventarios, Catálogos y otros instrumentos de protección de Bienes y Espacios”, como instrumentos especiales de protección (Intendencia Departamento de Tacuarembó, 2020).

Este instrumento, el Inventario Patrimonial del Departamento de Tacuarembó, incluyó una directriz referida a la cultura, el patrimonio, los recursos naturales y la biodiversidad. Entre las tipologías de bienes patrimoniales, referidas como la categoría que mejor permite describir y conceptualizar en términos generales el elemento inventariado; se encuentran: 1) Lugares con valores naturales; 2) Lugares con manifestaciones culturales; 3) Lugares de memoria; 4) Sitios indígenas; 5) Sitios históricos; 6) Museos; y 7) Colecciones.

La categoría Lugares con valores naturales, la define como zonas naturales singulares que por sus características fisiográficas, geológicas, florísticas, faunísticas, estéticas o conjunto de ellas, constituyen un bien a preservar. Por lo tanto, esta categoría incluye sitios geológicos que podrían resultar de singular interés. Sin embargo, en el listado preliminar del inventario de bienes patrimoniales no figuran los sitios de interés geológico mencionados anteriormente –en Tacuarembó–, ni las *huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú* ni el *yacimiento paleontológico de Picada de Cuello*. Por tal motivo, sería de interés proponer la inclusión de estos sitios en el inventario departamental; como también de los sitios de interés geológico del inventario nacional en los inventarios patrimoniales departamentales.

En referencia a este instrumento, técnicos del Área Evaluación de Impacto Ambiental de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA, ex-DINAMA) del Ministerio de Ambiente, están actualizando los mapas de sitios de interés patrimonial y se espera que pase a ser un recurso disponible en el visualizador del Ministerio de Ambiente (Ramos, *com. pers.*). Esto ha motivado contactos para la inclusión de sitios geopatrimoniales, pudiendo así a futuro incluirse los sitios de interés geológico del inventario nacional. De esta forma se podría proteger el patrimonio geológico mediante los instrumentos de protección ambiental.

Otros instrumentos legales pueden ser utilizados para la protección de sitios de interés geológico. Uno de ellos es el Código de Aguas, aprobado por el Decreto Ley N° 14.859 de 15/12/1978. En particular su Artículo 153, que refiere a la denominada Faja de Defensa de Costas, establece una faja de defensa en la ribera del Océano Atlántico, el Río de la Plata, río Uruguay y de la Laguna Merín, para evitar modificaciones perjudiciales a su configuración y estructura. La ley N° 16.466, de 1994, Ley de Evaluación del Impacto Ambiental y su decreto reglamentario, el Decreto 349/005, de 21 de setiembre de 2005, establece el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales. En su ámbito de aplicación (Artículo 2), establece que requerirán la Autorización Ambiental Previa toda

construcción u obra que se proyecte en la faja de defensa de costas, definida por el artículo 153 del Código de Aguas.

En el presente trabajo, se identificaron algunos sitios de interés geológico comprendidos dentro de la faja de defensa de costas, entre ellos Punta Gorda (costa del departamento de Colonia), Cuchilla Alta (costa del departamento de Canelones), Punta Ballena (costa del departamento de Maldonado) y La Coronilla (costa del departamento de Rocha). Por tal motivo, se espera que estos sitios sean tenidos en cuenta en los Estudios de Impacto Ambiental, dado que los mismos corren riesgo ante el avance de proyectos inmobiliarios. Este es el caso de Punta Ballena¹¹.

Por lo expresado en esta sección, es de especial interés la inclusión de acciones de geoconservación en las políticas y planes nacionales de protección ambiental, a través del nuevo Ministerio de Ambiente, con miras a la conservación del patrimonio natural.

5.3 Aporte al desarrollo de iniciativas de geoparques en Uruguay

Desde 2013 con la incorporación a la Red Mundial de Geoparques del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio en Uruguay, existe un creciente interés por el conocimiento y la conservación del patrimonio geológico en territorio uruguayo. La exitosa experiencia del GMU Grutas del Palacio, con dos revalidaciones en diez años, ha promovido que otros gobiernos locales (Intendencias Departamentales), iniciaran acciones tendientes a concretar otras propuestas a presentar a la red mundial. La necesidad de contar con apoyos institucionales, abrió las perspectivas para la creación del Comité Nacional de Geoparques en 2016, el primero de su género en la región de América Latina y el Caribe (Goso & Faraone, 2023).

Como fue mencionado en parte, en la introducción de este trabajo (ver Capítulo 1), entre los cometidos de dicho Comité de Geoparques se destacan, entre otros, el relevamiento del patrimonio geológico, su puesta en valor y conservación; la implementación de acciones de gestión de los geoparques mundiales de la UNESCO en Uruguay; y el promover la creación y desarrollo de nuevos geoparques en el país.

Es así que durante las reuniones periódicas del Comité, en el año 2019, fueron analizadas las posibles regiones del país donde podría desarrollarse nuevos proyectos de geoparques, de acuerdo a la geodiversidad y patrimonio geológico de Uruguay (Goso & Faraone, 2023). Entre estas se destacan la región Norte, con los departamentos de Artigas, Rivera y Tacuarembó; la región Sureste, entre los

¹¹ [Punta Ballena: un juicio histórico contra la Intendencia y el ambicioso proyecto sobre las rocas](#). *El Observador* (03/09/2023).

departamentos de Maldonado y Lavalleja; la región Noreste, el departamento de Cerro Largo; y la región Suroeste, con el departamento de Colonia.

Se destaca la región Norte, con la iniciativa de “Geoparque Minero Botucatu”, desde el año 2018. Este territorio, recientemente, ha desarrollado su propio inventario de geositos (Salles Viana, 2023). Entre ellos se encuentran 3 sitios de interés geológico identificados y caracterizados en el presente trabajo, estos son las *lutitas fosilíferas de Picada de Cuello*, en Tacuarembó; los *yacimientos de amatistas del Distrito Gemológico Los Catalanes*, en Artigas; y el *frente erosivo de la cuesta basáltica en la pendiente de Pena*, en Rivera. El segundo de ellos es de relevancia científica internacional, siendo designado, en octubre de 2022, como uno de los Primeros 100 Sitios de Patrimonio Geológico por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (Goso & Faraone, 2022).

Por otro lado, la región Sureste surge como iniciativa en 2020 y se consolida como proyecto de “Geoparque Manantiales Serranos” en 2023, en el departamento de Lavalleja. Este proyecto tiene como sitio de interés geológico destacado las *riolitas del Cerro Arequita*, caracterizado en el presente trabajo. Además, los sitios de interés geológico de *rocas volcánicas y plutónicas de Sierra de las Ánimas* y de las *milonitas de Aguas Blancas*, estarían comprendidos en su territorio. Mientras que, desde 2020, la región Noreste cuenta con la iniciativa de “Geoparque Cerro Largo”. Aunque no posee un territorio definido, en el presente trabajo se identifica un sitio de interés geológico en el departamento homónimo.

Por lo expuesto anteriormente, la realización de un inventario nacional de patrimonio geológico, que permita la identificación de sitios de interés geológico de relevancia nacional e internacional, sería un aporte hacia el desarrollo de iniciativas de geoparques en Uruguay.

6. Conclusiones y perspectivas futuras

Si bien en Uruguay los trabajos sobre el patrimonio geológico se han consolidado en la carrera de Geología (Facultad de Ciencias, Universidad de la República)¹² en los últimos años, siendo la comunidad geocientífica uruguaya consciente de la relevancia del estudio del patrimonio geológico, con un enfoque en su valor científico, este no ha sido investigado de forma sistemática a nivel nacional hasta la actualidad.

Un inventario sistemático de sitios de interés geológico basado en categorías temáticas fue el enfoque metodológico elegido, para consolidar el desarrollo del inventario nacional del patrimonio geológico de Uruguay, debido a su extensión territorial, el grado de conocimiento geológico de su territorio y los recursos disponibles para su investigación.

Este trabajo implicó revisión bibliográfica de literatura geológica de Uruguay y modelos de inventario, definición de contextos geológicos/categorías temáticas, identificación y caracterización de potenciales sitios de interés geológico, selección y evaluación de los sitios de interés geológico en campo. En base a la metodología planteada, la participación de la comunidad geocientífica fue fundamental. Para el desarrollo del inventario de patrimonio geológico nacional de valor científico es necesaria la consulta a especialistas, con un conocimiento muy sólido en áreas específicas de la geología de Uruguay.

De la encuesta enviada a los especialistas, se recibieron propuestas de cerca de medio centenar de sitios de interés geológico potenciales, agrupados en un máximo de 19 categorías temáticas. Para cumplir esta tarea, fue necesaria la colaboración de cerca de una treintena de especialistas dedicados a diferentes disciplinas geológicas, campos de investigación y trabajo en geología del Uruguay, tanto docentes e investigadores del Instituto de Ciencias Geológicas (ICG) como colegas de otras instituciones. Para el inventario nacional algunos de ellos serán los coordinadores científicos de una o más categorías temáticas, por lo que según su experiencia propusieron sitios de uno o varios contextos geológicos.

De las consultas posteriores y trabajo de gabinete, fueron definidos 9 contextos geológicos/categorías temáticas. Para cada una de las categorías definidas fueron seleccionados dos sitios de interés geológico, según los criterios de valor científico de representatividad, rareza, integridad y conocimiento científico; siendo de los más representativos para cada categoría respectiva.

¹² La [Licenciatura en Geología](#) es la única carrera universitaria en geología en Uruguay. (N. del A.)

La definición de estas categorías temáticas/contextos geológicos ha sido de utilidad para ordenar de forma compartimentada los principales eventos/procesos geológicos registrados en el territorio uruguayo, siendo estos los grandes capítulos de la historia geológica del país. Esta metodología permitió sistematizar la identificación de potenciales sitios de interés geológico, ya que los mismos se asocian según su contexto geológico.

Dado que en el desarrollo de esta tesis no se obtuvo un número significativo de sitios de interés geológico por categoría, no fue necesaria su evaluación cuantitativa. La consolidación del inventario del patrimonio geológico de Uruguay debe incluir un número más significativo de sitios de interés geológico, tarea que excede los alcances de este trabajo. Esto va a depender del grado de involucramiento de la comunidad geocientífica uruguaya durante el desarrollo del inventario, en particular de cada coordinador científico de las categorías temáticas definidas o a definirse.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son básicos para la conclusión del inventario nacional del patrimonio geológico, etapa inicial para el desarrollo de futuras estrategias de geoconservación a nivel nacional en Uruguay. Con tal motivo, los sitios de interés geológico identificados y caracterizados deberán ser precisamente delimitados en área de acuerdo a su tipología.

De la indagación sobre instrumentos de protección legal para los sitios de interés geológico, se constató que, si bien no existen normativas específicas para la protección del patrimonio geológico, ciertas normativas patrimoniales, ambientales o de ordenamiento territorial pueden ser aplicadas para sitios de interés geológico. Es de especial interés contar con un marco legal adaptado a las necesidades del patrimonio geológico, e incluir acciones de geoconservación en las políticas y planes nacionales de protección ambiental con miras a la conservación del patrimonio natural.

El país cuenta con su primer Geoparque Mundial de la UNESCO desde 2013. Grutas del Palacio, el geosito que le da el nombre al geoparque, está incluido en este trabajo por su valor científico. Otros sitios de interés geológico caracterizados se localizan en ciertas regiones del país identificadas, por el Comité Nacional de Geoparques, como potenciales para el desarrollo nuevos proyectos de Geoparques. El desenvolvimiento de un inventario nacional de patrimonio geológico, que permita la identificación de sitios de interés geológico de relevancia nacional e internacional, sería un aporte hacia el desarrollo de iniciativas de geoparques en Uruguay. Aportando así, a los cometidos del Comité Nacional de Geoparques.

7. Referencias bibliográficas

Almeida, F.F.M., Amaral, G., Cordani, U.G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin, South of Amazonas River. In: Nairn, A.C.M., Kanes, W.H., Stehli, F.G. (Eds.) *The Ocean Basins and Margins*, Plenum, p. 411–446.

Antón D. (2008). Carta Geomorfológica del Uruguay, Congreso Latinoamericano de Geografía, Montevideo. 14 pp.

ASGMI (2018): Metodología de valoración del Patrimonio Geológico. Primer Taller de ASGMI Sobre Patrimonio Geológico. 66 pp.

Assine, M., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., (2010). Subglacial landforms, sedimentary facies and paleo-ice flow in the Permocarboniferous San Gregorio Formation, Chacoparanaense Basin, Uruguay [Abstract]. 18th International Sedimentological Congress, Mendoza, 2010, Abstracts Volume 129.

Assine, M. L., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., & Vesely, F. F. (2018). Exhumed subglacial landscape in Uruguay: Erosional landforms, depositional environments, and paleo-ice flow in the context of the late Paleozoic Gondwanan glaciation. *Sedimentary Geology*, 369, 1-12.

Basei M.A.S., Siga Jr O., Masquelin H., Harara O.M., Reis Neto J.M. & Preciozzi F. (2000). The Dom Feliciano Belt (Brazil–Uruguay) and its foreland (Rio de la Plata Craton): Framework, Tectonic Evolution and Correlations with similar terranes of Southwestern Africa. In: Cordani U, Thomaz F & Milani E (eds). *Precambrian Evolution of South America*. International Geological Congress, IUGS, Rio de Janeiro.

Benado, J. (2013). Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Santiago, Chile). Tesis para optar al título de Magíster en Patrimonio Geológico y Geoconservación (inédito), Universidad de Minho. Braga, Portugal. 142 pp.

Bidegain M, & Caffera RM (1997) Clima del Uruguay y la región. https://www.rau.edu.uy/uruguay/geografia/Uy_c-info.htm. Consultado el 15 de noviembre de 2022.

Borrero, L. A. (2015). Con lo mínimo: los debates sobre el poblamiento de América del Sur. *Intersecciones en antropología*, 16(1), 5-38.

Bossi J., (1966). *Geología del Uruguay*. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Colección Ciencias 2: 1-470, Montevideo.

Bossi, J. (1978). *Recursos minerales del Uruguay*. Montevideo, Editorial Daniel Aljanati. 348 pp.

Bossi, J. & Campal, N. (1992). Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Paleozoico inferior del Uruguay. In: Gutiérrez, J., Saavedra, J., Rábano, I. (Eds.) *Paleozoico Inferior de Ibero–América*. Universidad de Extremadura, Alicante. p. 343–356.

- Bossi, J. & Gaucher, C. (Eds), (2014). Geología del Uruguay, Tomo I, Pre-devónico, 450 pp.
- Bossi, J., Campal, N., Preciozzi, F. (1993). Precámbrico del Uruguay, parte I: Terreno Piedra Alta. DINAMIGE–UdelaR, p. 1-58.
- Bossi, J., Fernández, A. & Elizalde, G. (1965): Predevoniano en el Uruguay. Bol. Investig. Facultad de Agronomía, Montevideo, Boletín, 78: 1-84.
- Bossi, J., Campal, N. Hartman, L. A. Schipilov A.& Piñeyro, D. (2001). Thirty-five years or geochronology in Uruguay. 3er Congreso Uruguayo de Geología, Actas CD.
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134.
- Brilha, J., & Pereira, P. (2012). Património Geológico: Geossítios a visitar em Portugal. *Geological Heritage: Geosites to visit in Portugal*. Porto Editora, Porto, 137 pp.
- Brilha, J., Pereira, P., Pereira, D. & R., Henriques. (2013). Geossítios de relevância nacional e internacional em Portugal Continental. 8 pp.
- Brilha, J., Andrade, C., Azerêdo, A., Barriga, F. J. A. S., Cachão, M., Couto, H., & Terrinha, P. (2005). Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation. *Episodes Journal of International Geoscience*, 28(3), 177-186.
- Brilha, J.; Alcalá, L.; Almeida, A.; Araújo, A.; Azeredo, A.; Azevedo, M.R.; Barriga, F.; Brum Da Silveira, A.; Cabral, J.; Cachão, M.; Caetano, P.; Cobus, A.; Coke, C.; Couto, H.; Crispim, J.; Cunha, P.P.; Dias, R.; Duarte, L.V.; D'Ária, A.; Falé, P.; Ferreira, N.; Ferreira Soares, A.; Fonseca, P.; Galopim De Carvalho, A.; Gonçalves, R.; Granja, H.; Henriques, M.H.; Kullberg, J.C.; Kullberg, M.C.; Legoinha, P.; Lima, A.; Lima, E.; Lopes, L.; Madeira, J.; Marques, J.F.; Martins, A.; Martins, R.; Matos, J.; Medina, J.; Miranda, R.; Monteiro, C.; Moreira, M.; Moura, D.; Neto Carvalho, C.; Noronha, F.; Nunes, J.C.; Oliveira, J.T.; Pais, J.; Pena Dos Reis, R.; Pereira, D.; Pereira, P.; Pereira, Z.; Piçarra, J.; Pimentel, N.; Pinto De Jesus A.; Prada, S.; Prego, A.; Ramalho, L.; Ramalho, M.; Ramalho, R.; Relvas, J.; Ribeiro, A.; Ribeiro, M.A.; Rocha, R.; Sá, A.; Santos, V.; Sant'ovaia, H.; Sequeira, A.; Sousa, M.; Terrinha, P.; Valle Aguado, B.; Vaz, N. (2010). O inventário nacional do património geológico: abordagem metodológica e resultados. *e-Terra*, v. 18, n. 1, p. 1-4.
- Caballero, J. P. (2020). Inventario de geosítios en el Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, Uruguay. 84 pp.
- Carcavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7. Madrid. 360 pp.
- Carcavilla, L., Durán, J. J., García-Cortés, Á., & López-Martínez, J. (2009). Geological heritage and geoconservation in Spain: past, present, and future. *Geoheritage*, 1, 75-91.

Chebataroff, J. (1944). La Sierra Mahoma. Instituto de Estudios Superiores de Montevideo. Boletín de la Sección Investigaciones Botánicas, 1(1), 1-119.

Chebataroff, J. (1951). Las regiones naturales de Río Grande del Sur y de la República Oriental del Uruguay. Revista Geográfica, 11(31/36), 59-95.

Chebataroff J (1955). Evolución del relieve del Uruguay y de Río Grande del Sur. Revista Uruguaya de Geografía, 39–96.

Chebataroff, J. (1969). Relieve y costas. In: Aljanati et al (eds) Nuestra Tierra. N° 3. 69 pp. Montevideo.

Chulepin, H., Perez, A., Curbelo, M. (1991). The Piedra Alta outcrop. Symposium on Mafic Dykes and related magmatism. Universidad de San Pablo, Brasil.

Coronel, N.; Risso, A.; Cestau, L.; Spoturno, J.; Gómez, C.; Heinzen, W.; Mari, C.; Roth W.; Theune, C.; Stampe, W. (1987). Memoria de la carta de materias primas minerales no metálicas. A escala 1/1.000.000. En: Memoria explicativa de la carta de materias primas minerales no metálicas. Ministerio de Industria y Energía-Dirección Nacional de Minería y Geología. Montevideo, Uruguay.

Courtillot, V., & Renne, P. R. (2003). On the ages of flood basalt events: Comptes Rendues Geoscience, v. 335.

de Santa Ana, H. (1989). Consideraciones tectónicas y deposicionales de la cuenca del Norte uruguaya. Boletín Técnico ARPEL, 18 (4): 319-339.

de Santa Ana, H. & Veroslavsky, G. (2004). La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico Cretácico Temprano. In Veroslavsky, G.; Ubilla, M. & Martínez, S. (eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales – Mesozoico. 2ª Edición. DIRAC – Facultad de Ciencias, pp: 53-75.

de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fulfaro, V., Rossello, E. (2006). Cuenca Norte: Evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. In: Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Paleozoico. p. 209-256.

Dias, M. C. S. S., Alencar, F. F., Barbalho, Í. M. N., & do Nascimento, M. A. L. (2023). Inventory of the Geological Heritage of the State of Rio Grande do Norte, NE of Brazil. Geoheritage, 15(2), 50.

Duarte, L. C., Hartmann, L. A., Vasconcellos, M. A. Z., Medeiros, J. T. N., & Theye, T. (2009). Epigenetic formation of amethyst-bearing geodes from Los Catalanes gemological district, Artigas, Uruguay, southern Paraná Magmatic Province. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 184(3-4), 427-436.

Duarte, L. C., Hartmann, L. A., Ronchi, L. H., Berner, Z., Theye, T., & Massonne, H. J. (2011). Stable isotope and mineralogical investigation of the genesis of amethyst geodes in the Los Catalanes gemological district, Uruguay, southernmost Paraná volcanic province. Mineralium Deposita, 46, 239-

Dudley, N. (ed.) (2008). Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, Suiza, UICN, 96 pp.

Faraone, M. (2022). Valoración del patrimonio geológico en Uruguay: hacia la definición de contextos geológicos como estrategia para un inventario nacional de geositos. *Geotemas* (Madrid), (19), 45-48.

Fariña, R. A., & Castilla R. (2007). Earliest evidence for human megafauna interaction in the Americas. In *Human and faunal relationships reviewed: an archaeozoological approach* (eds E Corona-M, J Arroyo-Cabral), pp. 31–34. Oxford, UK: Archaeopress.

Fariña, R. A., Tambusso, P. S., Varela, L., Czerwonogora, A., Di Giacomo, M., Musso, M. & Gascue, A. (2014). Arroyo del Vizcaíno, Uruguay: a fossil-rich 30-ka-old megafaunal locality with cut-marked bones. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1774), 20132211.

Fedorchuk, N. D., Griffis, N. P., Isbell, J. L., Goso, C., Rosa, E. L., Montañez, I. P., ... & Iannuzzi, R. (2021). Provenance of late Paleozoic glacial/post-glacial deposits in the eastern Chaco-Paraná Basin, Uruguay and southernmost Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 106, 102989.

Ferrando, L.A. (1996): Cinturón Arroyo Grande, p. 10-17 de Bossi et al. (eds.), *Terreno Piedra Alta* (Correlación Piedra Alta–Tandilia). Facultad de Agronomía, Montevideo. (Informe inédito).

Fort, S.; Gallardo Silvera, P.; Peel, E.; Sánchez Betucci, L. (2020). Caracterización petrográfica y geoquímica del Complejo Polanco. *Rev. Soc. Urug. Geol.* No23, p. 1-30.

Fragoso-Cesar, A. R. S. (1980). O craton do Rio de la Plata e o cinturão Dom Feliciano no escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. *SBG, Congr. Bras. Geol*, 31, p. 2879-2892.

Gallardo P. (2015). Estudio geoquímico del complejo Polanco (Lavalleja, Uruguay). Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias, Montevideo.

Garcia, M. D. G. M., Brilha, J., de Lima, F. F., Vargas, J. C., Pérez-Aguilar, A., Alves A., Campanha G.A.C., Duleba W., Faleiros F. M., Fernandes L.A., Fierz M.S.M., Garcia M.J., Janasi V.A., Martins L., Raposo M.I.B., Ricardi-Branco F., Ross J.L.S., Sallum Filho W., Souza C.R.G., Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Christofolletti S.R., Henrique-Pinto R., Lobo H.A.S., Machado R., Passarelli C.R., Perinotto J.A.J., Ribeiro R.R., Shimad H. (2018). The inventory of geological heritage of the State of São Paulo, Brazil: methodological basis, results and perspectives. *Geoheritage*, 10, 239-258.

García-Cortés A. & Carcavilla Urquí L. (2009). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG), versión 12. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

García-Cortés, A.; Rábano, I.; Locutura, J.; Bellido, F.; Fernándezgianotti, J.; Martín-Serrano, A.;

Quesada, C.; Barnolas, A.; Durán, J. J. (2001). First Spanish contribution to the Geosites Project: list of the geological frameworks established by consensus. *Episodes*, v. 24, p. 79–92.

García-Cortés, Á.; Vegas, J.; Carcavilla, L.; Díaz-Martínez, E. (2019). Bases Conceptuales y Metodología del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 106 pp.

García-Rodríguez, F. (ed.) (2011). El Holoceno en la zona costera de Uruguay. Montevideo. Ediciones Universitarias-CSIC, Montevideo. 263 pp.

Gaucher, C., Sial, A., Frei, R., Ferreira, V., Frei, D., Bossi, J., y Cabrera, J., (2014). Magmatismo anorogénico ediacárico. En: Bossi, J., y Gaucher, C. (eds), *Geología del Uruguay - Tomo I: Predevónico*, Montevideo, Uruguay, p. 283-298.

Gómez Rifas, C. (1995). A zona de cisalhamento sinistral “Sierra Ballena” no Uruguai. Tese de Doutoramento, USP, Programa de Pós-Graduação em Geotectônica: p 1-262. São Paulo.

Goso, C. (1995). Análise estratigráfica da Formação São Gregorio na borda leste da Bacia Norte uruguaia. Dissertação de Mestrado. UNESP, Rio Claro, 214 pp.

Goso, C. (1999). Análise Estratigráfica do Grupo Paysandú (Cretáceo) na Bacia do Litoral, Uruguai. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. Tese de Doutorado, 184 pp.

Goso, C. (2006). Aspectos sedimentológicos y estratigráficos de los depósitos cuaternarios de la costa platense del Departamento de Canelones (Uruguay). *Latin american journal of sedimentology and basin analysis*, 13(1), 77-89.

Goso, C. & Goso, H., (2004). Medio ambiente, riesgos geológicos y los registros cenozoicos de Uruguay. In: *Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico*. 297-314. DIRAC-Facultad de Ciencias. Montevideo. p. 297-314.

Goso, C., & Perea, D. (2004). El Cretácico post-basáltico y el Terciario inferior en la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. En Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.). *Cuencas sedimentarias de Uruguay, Mesozoico*. División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias - Sociedad Uruguaya de Geología, Montevideo, 219, p. 143-171.

Goso, C. & Faraone, M. (2022). Deposits of amethysts of Los Catalanes Gemological District. Uruguay. In A. Hilario, A. Asrat, B. van Wik de Vries, D. Mogk, G. Lozano, J. Zhang, J. Brilha, J. Vegas, K. Lemon, L. Carcavilla & S. Finney (eds.). *The First 100 IUGS Geological Heritage Sites*. pp. 210-211.

Goso, C. & Faraone, M. (2023). Comité Nacional de Geoparques: hacia el desarrollo de los geoparques en Uruguay. *Geovivencias*, 2 (inédito).

Goso, C., Veroslavsky, G. & de Santa Ana, H. (1996): Modelo estratigráfico seqüencial da Bacia Norte Uruguaia. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Salvador, p. 159- 161.

Goso, C.; Chulepin, H.; Martínez, E.; Rojas, A.; Ubilla, M. (2016). Uruguay. Patrimonio geológico y su conservación. Situación y perspectivas. In: Palacio, Sánchez & Schilling (eds): Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. UNAM, p. 247-266.

Goso, C.; Mesa, V.; Alvez, M.C. (2011). Sinopsis geológico-ambiental de la costa platense y atlántica de Uruguay. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina, Croquis, Buenos Aires. p. 59-76.

Goso H. (1965). El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico de Uruguay, Montevideo. 36 pp.

Goso H. (1972). Cuaternario. Prog. de Estudio y Levantamiento de Suelos, Montevideo, 12 pp.

Goso, H. & de Santa Ana, H. (1986). Evolución tectónica sedimentaria de la Cuenca Norte Uruguay. ANCAP (informe interno), 30 pp.

Gray, M. (2004). Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons. 434 pp.

Hartmann L. (2008): Geodos de ametista formados por água quente no tempo dos dinossauros. Ed. Gráfica da UFRGS, Porto Alegre, 66 p.

Hartmann, L. A., Campal, N., Santos, J. O. S., McNaughton, N. J., Bossi, J., Schipilov, A., & Lafon, J. M. (2001). Archean crust in the Rio de la Plata Craton, Uruguay—SHRIMP U–Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 14(6), 557-570.

Heilbron, M., Valeriano, C. D. M., Tassinari, C. C. G., Almeida, J., Tupinamba, M., Siga Jr, O., & Trouw, R. (2008). Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society, London, Special Publications*, 294(1), 211-237.

Heinzen, W., Velozo, C., Carrión, R., Cardozo, L., Madracho, H. y Massa, E. (1986). Carta Hidrogeológica del Uruguay. Escala 1:2.000.000. DINAMIGE, Montevideo, Uruguay.

Holcomb, J. A., Mandel, R. D., Otárola-Castillo, E., Rademaker, K., Rosencrance, R. L., McDonough, K. N., & Wygal, B. T. (2022). Does the evidence at Arroyo del Vizcaíno (Uruguay) support the claim of human occupation 30,000 years ago?. *PaleoAmerica*, 8(4), 285-299.

Hueck, M., Oyhantcabal, P., Philipp, R.P., Stipp Basei, M.A., Siegesmund, S. (2018). The Dom Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay (Chpt 11). In: S. Siegesmund et al. (eds.), *Geology of Southwest Gondwana, Regional Geology Reviews-Springer Int. Pub. AG*: p. 267-302.

Intendencia Departamental de Tacuarembó (2020). *Inventario Arqueológico y Patrimonial del Departamento de Tacuarembó*, 199 pp.

Iriondo, M. & Kröhling, D. (2008). Cap. 2-a. El Cuaternario de Uruguay.

Lara, P., Oyhantcabal, P., & Belousova, E. (2020). Two distinct crustal sources for Late Neoproterozoic granitic magmatism across the Sierra Ballena Shear Zone, Dom Feliciano Belt, Uruguay: Whole-rock geochemistry, zircon geochronology and Sr-Nd-Hf isotope evidence. *Precambrian Research*,

341, 105625.

Martínez, S. (1994). Bioestratigrafía (Invertebrados) de la Formación Camacho (Mioceno, Uruguay). Tesis Doctoral, FCEN, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Martínez S. & Veroslavsky G. (2000). Darwin, la Geología y el Uruguay. p. 81-98. En: Altuna C.& Ubilla M. (Eds.): El prisma de la Evolución. DIRAC, Montevideo.

Martínez S. & Perea D. (2008). Los testigos del “mar entrerriense”. p. 265-275. En: Perea D. (Ed.). Fósiles de Uruguay. DIRAC, Montevideo.

Martínez, S. & Rojas, A. (2011). Asociaciones de moluscos marinos y estuarinos del Holoceno de Uruguay. En: El Holoceno en la zona costera del Uruguay. García-Rodríguez, F (Ed) 1: 263 pp.

Martínez, S. & Ubilla, M. (2004). El Cuaternario de Uruguay. En, G.Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez, Cuencas sedimentarias de Uruguay. Cenozoico: 195-228. EUDECI. Montevideo.

Martínez, S., Ubilla, M., Verde, M., Perea, D., Rojas, A., Guérequiz, R. & Piñeiro, G. (2001). Paleoeology and Geochronology of Uruguayan coastal marine Pleistocene deposits. Quaternary Research 55, 246-254.

Martínez Sanguinetti, P. I. (2021). Inventario de geositos para la geoconservación en los Geositos Balneario Don Ricardo, Piedras Blancas y Falla Villasboas, en el Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias, Udelar. Montevideo, Uruguay. 87 pp.

Masquelín, H. (1990). Análisis estructural de las zonas de cizalla en las migmatitas de Punta del Este – Uruguay. Acta Geológica Leopoldensia, N° 30, vol.XIII, p.139-158.

Masquelín, H. (2006). El Escudo Uruguayo. In: Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Paleozoico. p. 37-106.

Milani, E. J. (1997). Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Doctoral dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Milani, E. J. (2004). Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, 265-280.

Milani, E. J., & Thomaz Filho, A. (2000). Sedimentary basins of South America. Tectonic Evolution of South America, 31, 389-449.

Milani E. J., França A. B., Schneider R. L. (1994). Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, 8(1):69-82.

Milani E. J., Melo J. H. G., Souza P. A., Fernandes L. A., França A. B. (2007) Bacia do Paraná. Boletim De Geociências Petrobrás 15(2) p. 265–287

Montaño Xavier, J.; Gagliardi S.; Montaño. M. (2006). Recursos hídricos subterráneos del Uruguay. Boletín Geológico y Minero, 117 (1): 201-222

Morteani, G., Kostitsyn, Y., Preinfalk, C. A. N. D., & Gilg, H. A. (2010). The genesis of the amethyst geodes at Artigas (Uruguay) and the paleohydrology of the Guaraní aquifer: structural, geochemical, oxygen, carbon, strontium isotope and fluid inclusion study. International Journal of Earth Sciences, 99, 927-947.

Muzio R. (2000). Evolução petrológica e geocronologia do maciço alcalino Valle Chico, Uruguai (No. 552.33 (899) MUZ). UNESP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, São Paulo, Brasil.

Muzio, R. (2004). El magmatismo Mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. In Veroslavsky et al (eds), Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Mesozoico. p. 77-102. DIRAC-FCIEN, Montevideo.

Núñez Demarco P., Masquelin, H. Sánchez Bettucci, L. (2018). Historia de la Geología Precámbrica de Uruguay: Revisión de las divisiones estructurales, tecto-estratigráficas sus límites y nomenclaturas, Revista Investigaciones, Montevideo, 1(2):1-16

Núñez Demarco, P., Masquelin, H., Loureiro, J., Prezzi, C., Sánchez Bettucci, L. (2019). Historia de la Geología Precámbrica de Uruguay: Unidades del Cinturón Dom Feliciano y su basamento, Revista Investigaciones, Montevideo, 2(1):36-57

Oriolo, S., Oyhançabal, P., Heidelbach, F., Wemmer, K., & Siegesmund, S. (2015). Structural evolution of the Sarandí del Yí Shear Zone, Uruguay: kinematics, deformation conditions and tectonic significance. International Journal of Earth Sciences, 104, 1759-1777.

Oriolo, S., Oyhançabal, P., Wemmer, K., Basei, M. A., Benowitz, J., Pfänder, J., & Siegesmund, S. (2016). Timing of deformation in the Sarandí del Yí Shear Zone, Uruguay: Implications for the amalgamation of western Gondwana during the Neoproterozoic Brasileiro-Pan-African orogeny. Tectonics, 35(3), 754-771.

Oyhançabal, P. (2005): The Sierra Ballena Shear Zone: kinematics, timing and its significance for the geotectonic evolution of southeast Uruguay. Doctoral dissertation, Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen, Germany.

Oyhançabal, P., Muzio, R., & De Souza, S. (1993). Geología y aspectos estructurales del borde orogénico en el extremo sur del cinturón Dom Feliciano. Revista Brasileira de Geociências, 23(3), 296-300.

Oyhançabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. International Journal of Earth Sciences, 100(2-3), p. 201-220.

Oyhançabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Frei, R., & Layer, P. (2007). Post-collisional

transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano–Pan-African, Uruguay). *Lithos*, 98(1-4), 141-159.

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Presnyakov, S., & Layer, P. (2009). Geochronological constraints on the evolution of the southern Dom Feliciano Belt (Uruguay). *Journal of the Geological Society*, 166(6), 1075-1084.

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., & Layer, P. (2010). The sierra ballena shear zone in the southernmost dom feliciano belt (Uruguay): evolution, kinematics, and deformation conditions. *International Journal of Earth Sciences*, 99, 1227-1246.

Oyhantcabal, P., Spoturno, J., Faraone, M. (2022). Las zonas de cizalla ediacáricas de los departamentos de Maldonado y Lavalleja – Uruguay. X Congreso Uruguayo de Geología, Actas X CUG.

Pamoukaghlian, K. (2012). Sedimentología y estratigrafía de la formación Piedras de Afilas, Terreno Tandilia, Uruguay. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Pamoukaghlián, K., Gaucher, C., Poire, D. G., & Frei, R. (2021). The Piedras de Afilas Formation (Neoproterozoic, Uruguay): Sedimentology and provenance of a key unit for SW-Gondwana paleogeography. *Journal of South American Earth Sciences*, 108, 103176.

Panario D (1988) Geomorfología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, 32 pp.

Panario, D., Gutiérrez, O., Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Oyhantçabal, P., & Rabassa, J. (2014). Ancient landscapes of Uruguay. *Gondwana Landscapes in southern South America: Argentina, Uruguay and southern Brazil*, p. 161-199.

Peate, D. W. (1997). The Parana-Etendeka Province. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 100, 217-246.

Pecoits, E., Konhauser, K., Aubet, N., Heaman, L., Veroslavsky, G., Stern, R. & Gingras, M. (2012). Bilaterian Burrows and Grazing Behavior at > 585 Million Years Ago. *Science (New York, N.Y.)*. 336. 1693-6. 10.1126/science.1216295.

Perea, D. (2011), Fósiles de Uruguay, segunda edición (con actualizaciones), DIRAC-FC, Montevideo, 346 pp.

Perea, D., Ubilla, M. y Riderknecht, A. (2011). La fauna continental durante el Terciario: el auge de los mamíferos. En: D. Perea (Ed.), Fósiles de Uruguay. DIRAC, Montevideo, p. 249–264.

Philipp, R. P., Pimentel, M. M., & Chemale Jr, F. (2016). Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 83-104.

Picchi, D. (2018). Evaluación de Metodologías para el Inventario de Geositos del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo,

Uruguay. 127 pp.

Picchi, D., Goso, C., Caballero, JP. (2018). Empleo de tres Metodologías de Inventario de Geositos para la Geoconservación. Caso de estudio: Geosito Grutas del Palacio. Revista SUG N°21, p. 53–65.

Piñeiro, G., (2008). Los mesosaurios y otros fósiles de fines del Paleozoico. In: Perea, D. (Ed.), Fósiles de Uruguay. DIRAC. Facultad de Ciencias, p. 179–205.

Piñeiro, G., Ferigolo, J., Meneghel, M., and Laurin, M. (2012). The oldest known amniotic embryos suggest viviparity in mesosaurs. *Hist. Biol.*, 24(6): 620–630. doi: 10.1080/08912963.2012.662230

Preciozzi F., S. Pena, R. Arrighetti (1981). Síntesis de la Geología de la Región Pan de Azúcar-Polanco. DINAMIGE (informe interno).

Preciozzi, F., Spoturno J., Heinzen, J. (1979): Carta Geo-Estructural del Uruguay escala 1:2.000.000, Ministerio de Industria y Energía. Montevideo, Uruguay.

Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., Rossi, P (1985). Carta geológica del Uruguay a escala 1:500.000, Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo.

Ramos García, A. R. (2023). Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio: inventario de los geositos Pictografía Chamangá, Microgabro Chamangá, Dique Máfico Garland y San Martín del Yí. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, Uruguay. 63 pp.

Renne, P. R., Ernesto, M., Pacca, I. G., Coe, R. S., Glen, J. M., Prévot, M., & Perrin, M. (1992). The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258(5084), 975-979.

Rojas, A., Zaffaroni, J.C. & Martínez, S. (2018). New molluscan records and palaeoecology of the Late Pleistocene marine assemblage from La Coronilla (Rocha, Uruguay). *Journal of Sedimentary Environments* 3(4): 220–233.

Rossello, E.A. & Mozetic, M.E. (1999). Caracterización estructural y significado geotectónico de los depósitos cretácicos continentales del centro-oeste argentino. 5° Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil y 1° Simposio sobre el Cretácico de América del Sur (Serra Negra-SP, Brasil) *Boletim*, p.107-113.

Rossello, E., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G. (2000): El Lineamiento Santa Lucía-Aiguá-Merín (Uruguay): un corredor tectónico extensivo y transcurrente dextral precursor de la apertura Atlántica. *Revista Brasileira de Geociências* v. 30 (4): 749-756.

Salles Viana, C. (2023). Geodiversidad y Patrimonio Geológico en el Norte de Uruguay: análisis prospectivo. Tesis de Maestría en Geociencias – PEDECIBA. Montevideo, Uruguay. 228 pp.

Sánchez Bettucci, L. (1997). Los basaltos postorogénicos de la Región Piriápolis–Pan de Azúcar, República Oriental del Uruguay. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52, 3-16.

Sánchez Bettucci L. (1998): Evolución tectónica del Cinturón Dom Feliciano en la región Minas-Piríapolis, Uruguay; Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, 344 pp.

Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Oyhançabal, P. (2010a). Precambrian geotectonic units of the Río de la Plata craton. *International Geology Review*, 52(1), p. 32-50.

Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Masquelin, H. (2010b). Neoproterozoic tectonic synthesis of Uruguay. *International Geology Review*, 52(1), p. 51-78.

SNAP (2018). 10 años - Primera década del SNAP. Sistema Nacional de Áreas Protegidas: avances y perspectivas. Montevideo, Uruguay. MVOTMA/DINAMA Sistema Nacional de Áreas Protegidas, 147 pp.

Spoturno, J., Oyhançabal, P., Aubet, N., & Casaux, S. (2004). Mapa geológico y de recursos minerales del Departamento de San José a escala 1:100.000. Memoria explicativa. DINAMIGE. Montevideo.

Spoturno, J., Oyhançabal, P., Faraone, M. (2022). El magmatismo ediacárico en los departamentos de Maldonado y Lavalleja – Uruguay. X Congreso Uruguayo de Geología, Actas X CUG.

Spoturno, J. J., Oyhançabal, P., Loureiro, J. (2012). Mapa geológico del Departamento de Maldonado a escala 1:100.000, Cap. 2 Geología. Facultad de Ciencias (UdelaR) – Dirección Nacional de Minería y Geología (MIEM), Montevideo.

Suárez, R., Borrero, L. A., Borrazzo, K., Ubilla, M., Martínez, S., & Perea, D. (2014). Archaeological evidences are still missing: a comment on Fariña et al. Arroyo del Vizcaíno site, Uruguay. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1795), 20140449.

Techera J, Loureiro J, Spoturno J (2007). Estudio geológico, yacimentológico y minero de las piedras semi-preciosas del norte uruguayo. Proyecto Ágatas y Amatistas - Fase I. DINAMIGE, División Geología. Montevideo, Uruguay.

Techera J. (2011). Exploración detallada de los yacimientos de amatista en el Distrito Gemológico Los Catalanes. Proyecto Ágatas y Amatistas - Fase II. DINAMIGE, División Geología. Montevideo, Uruguay.

Thiede, D. S., & Vasconcelos, P. M. (2010). Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results. *Geology*, 38(8), 747-750.

Ubilla, M. (2004). La Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío) y los mamíferos más antiguos de Uruguay. En: G. Veroslavsky, M. Ubilla, M. y S. Martínez. (Eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay. Cenozoico Cap IV. DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo, p. 83–104.

Ubilla, M., & Martínez, S. (2016). *Geology and Paleontology of the Quaternary of Uruguay*. Springer International Publishing. Montevideo.

Ubilla, M. & Perea, D. (1994), La fauna local Paso del Cuello, Frn. Fray Bentos (Oligoceno), Uruguay, 4º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Resúmenes:44, Trelew.

Ubilla, M., & Perea, D. (2023). Vertebrados del Cuaternario continental de Uruguay: cronología y ambientes. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, 23(1), 231-240.

Veroslavsky, G. (1994). Análise faciológica e estratigráfica do Devoniano da borda sul da bacia do Paraná, Uruguai. Dissertação de Mestrado, IGCE–Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 208 pp.

Veroslavsky, G. & Martínez, S. (1996). Registros no depositacionales del Paleoceno-Eoceno del Uruguay: Nuevo enfoque para viejos problemas. *Revista Universidade Guarulhos, Série Geociencias*. 1. 32.

Veroslavsky, G., Ubilla, M., de Santa Ana, H. & Martínez, S. (2004). Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico. DIRAC-Facultad de Ciencias, Montevideo. 216 pp.

Veroslavsky, G., Ubilla, M., de Santa Ana, H. & Martínez, S. (2006). Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Paleozoico. DIRAC-Facultad de Ciencias, Montevideo. 325 pp.

Veroslavsky, G., Aubet, N., Martínez, S. A., Heaman, L. M., Cabrera, F., & Mesa, V. (2019). Late Cretaceous stratigraphy of the southeastern Chaco-Paraná Basin (“Norte Basin”-Uruguay): the Maastrichtian age of the calcitization process. *Geosciences= Geociências*, 38(2), 427-449.

Wimbledon, W.A.P. (1996). Geosites-a new conservation initiative. *Episodes Journal of International Geoscience*, 19(3), 87-88.

Wimbledon, W.A. (2011). Geosites—a mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites. *Geologia dell’Ambiente*, suplemento n. 2/2011:13–25.

Wimbledon, W. A., & Smith-Meyer, S. (2012). *Geoheritage in Europe and its conservation* (Vol. 405). ProGEO. Oslo.

Wimbledon, W.A.P.; Benton, M.J.; Bevins, R.E.; Black, G.P.; Bridgland, D.R.; Cleal, C.J.; Cooper, R.G.; May, V.J. (1995) The Development of a Methodology for the Selections of British Geological Sites for Conservation: Part 1. *ProGeo*, v. 20, p. 159-202.

Xavier, F. C. B., Fernandes, L. A., Brilha, J., Díaz-Martínez, E., & Maneia, M. F. (2023). Inventory and quantitative assessment of the geological heritage of Paraná State, Southern Brazil. *Geoheritage*, 15(3), 84.

8. Anexos

1. Formulario de encuesta

Inventario Patrimonio Geológico Uruguay

El siguiente es un formulario para completar con la información básica, para los sitios de interés geológico (geositios) propuestos para Uruguay

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Correo *

Identificación del geosítio propuesto

2. Nombre del geosítio propuesto *

El nombre tiene que tener un significado geográfico y geológico (e.g. "Milonitas de Punta Ballena")

Localización geográfica

3. Indique el Departamento donde se encuentra el geositio propuesto *

Marca solo un óvalo.

- ☐ Artigas
- ☐ Canelones
- ☐ Cerro Largo
- ☐ Colonia
- ☐ Durazno
- ☐ Flores
- ☐ Florida
- ☐ Lavalleja
- ☐ Maldonado
- ☐ Montevideo
- ☐ Paysandú
- ☐ Río Negro
- ☐ Rivera
- ☐ Rocha
- ☐ Salto
- ☐ San José
- ☐ Soriano
- ☐ Tacuarembó
- ☐ Treinta y Tres

4. Indique las coordenadas del sitio *

Coordenadas UTM (WGS84)
(este; norte. e.g.: 678411; 6134556)

Interés geológico del sitio

Breve descripción y características principales del sitio

5. Descripción geológica *

6. Indique las características geológicas más destacadas que justifican la designación del geosito *

7. Liste las referencias bibliográficas principales relacionadas al geosito propuesto *

Contexto geológico (categorías)

Capítulo de la historia geológica o evento representado en el geosítio propuesto

8. Indique la categoría que representa el geosítio (puede ser más de una) *

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ El arqueano en Uruguay
- ☐ Terrenos precámbricos
- ☐ Plataformas carbonáticas precámbricas
- ☐ Mineralizaciones metálicas precámbricas
- ☐ Orogenia brasiliana
- ☐ Glaciación Gaskiers
- ☐ Magmatismo ediacárico
- ☐ Cuencas gondwánicas
- ☐ Ciclo de transgresión-regresión marina devónica
- ☐ Glaciación Karoo
- ☐ El mar epicontinental pérmico
- ☐ El desierto gondwánico de Botucatu
- ☐ Magmatismo mesozoico
- ☐ El rift mesozoico
- ☐ Paleosuelos del cretácico
- ☐ Sedimentación neógena y fauna asociada
- ☐ Megafauna pleistocena
- ☐ Evolución continental y costera cuaternaria
- ☐ Unidades geomorfológicas y formas del relieve
- ☐ Otro: _____

Limitaciones de uso

Eventuales limitaciones a su uso científico

9. Indique las eventuales limitaciones (necesidad de permisos, problemas de acceso al sitio, etc.) *

Datos de contacto del proponente

10. Nombre completo *

11. Área de trabajo/investigación *

12. Correo electrónico de contacto *

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

2. Fichas de caracterización de los sitios

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 01		Denominación: <i>basamento paleoproterozoico de la Piedra Alta</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.099591°; -56.203250°		Departamento: Florida	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Petrológico		Interés secundario: Estructural/Tectónico	
Protección legal: Monumento Histórico Nacional (Ley de Patrimonio)			
Descripción geológica: La Piedra Alta constituye un afloramiento de pequeña superficie, de rocas de composición granítica (granodiorita), donde es posible observar distintas estructuras y texturas magmáticas, evidencias del evento magmático que tuvo lugar en las últimas etapas del ciclo orogénico Transamazónico durante el Paleoproterozoico.			
Foto: 			
Referencias bibliográficas: Basei M.A.S., Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Preciozzi, F. (2016) LAICPMS U–Pb zircon ages from basement and metamorphic cover of Piedra Alta Terrane, Rio de la Plata Craton, Uruguay. Actas VIII Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo. Chulepin, H., Perez, A., Curbelo, M. (1991). The Piedra Alta outcrop; Symposium on Mafic Dykes and related magmatism"- Universidad de San Pablo - Brasil, 1991. Preciozzi, F., Sánchez Bettucci, L., Oyhançabal, P., Pecoits, E., Aubet, N., Peel, E., y Basei, M. (2003): El terreno Piedra Alta: una unidad geotectónica paleoproterozoica juvenil en el Cratón del Río de la Plata (Uruguay). N. p.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 02		Denominación: <i>secuencia neoproterozoica de Cuchilla Alta</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.798460°; -55.494641°		Departamento: Canelones	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Estratigráfico		Interés secundario: Sedimentológico	
Protección legal: Faja de defensa de costas			
Descripción geológica: La secuencia neoproterozoica de Cuchilla Alta es el único relicto erosivo de una secuencia de cobertura siliciclástica y carbonática neoproterozoica sobre el basamento del Terreno Piedra Alta, de gran interés para la correlación entre las unidades de origen sedimentario neoproterozoicas del Gondwana Occidental, miembro de la Formación Piedras de Afilar. Este afloramiento costero está constituido por areniscas con estratificación cruzada en artesa y tipo hummocky.			

Foto:



Referencias bibliográficas:

- Aubet, N., (2004). Sedimentología y consideraciones estratigráficas de la formación Piedras de Afilas, Canelones-Uruguay. Trabajo Final de la Licenciatura en Geología. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, p. 1-41.
- Pamoukaghlián, K., (2012). Sedimentología y estratigrafía de la Formación Piedras de Afilas, terreno Tandilia, Uruguay. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, p. 1-284.
- Pamoukaghlián, K., Gaucher, C., Poiré, D.G., Frei, R., (2021). The Piedras de Afilas formation (Neoproterozoic, Uruguay): sedimentology and provenance of a key unit for SW Gondwana palaeogeography. J. S. Am. Earth Sci. 108, 1–26.
- Peçoits, E., Aubet, N.R., Heaman, L., Philippot, P., Rosiere, C.R., Veroslavsky, G., Konhauser, K.O., (2016). U-Pb detrital zircon ages from some Neoproterozoic successions of Uruguay: provenance, stratigraphy and tectonic evolution. J. S. Am. Earth Sci. 72, 108–130.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
ID: 03		Denominación: <i>milonitas de Punta Ballena</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.915778°; -55.046977°		Departamento: Maldonado	Propiedad: Pública/Privada
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Estructural/Tectónico		Interés secundario: Petrológico	
Protección legal: Faja de defensa de costas			
Descripción geológica: Las milonitas se localizan en una punta rocosa que constituye el punto más meridional de la denominada Sierra Ballena. Nombre con la cual se conoce a una zona de cizalla de extensión regional (ZCSB-Zona de Cizalla Sierra Ballena), la de mayor destaque en el relieve uruguayo. En ella se encuentran afloramientos donde se pueden observar diversas estructuras tectónicas de interés, para interpretar la evolución del Ciclo Orogénico Brasileño-Panafricano durante el Neoproterozoico.			
Foto:			

Referencias bibliográficas:

- Gómez Rifas, C. (1995) A zona de cizalhamento sinistral de “Sierra Ballena” no Uruguai. PhD. Thesis. Instituto de Geociencias. Universidade de Sao Paulo. 244 pp.
- Oyhantçabal, P., S. Siegesmund, K. Wemmer, and P. Layer (2009), The Sierra Ballena Shear Zone in the southernmost Dom Feliciano Belt (Uruguay): Evolution, kinematics, and deformation conditions, International Journal of Earth Sciences. DOI: 10.1007/s00531-009-0453-1.
- Spoturno, J. J., Oyhantçabal, P., Loureiro, J. (2012). Mapa geológico del Departamento de Maldonado escala 1/100.000, Cap. 2 Geología. Facultad de Ciencias (UdelaR)–Dirección Nacional de Minería y Geología (MIEM), Montevideo.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
ID: 04		Denominación: <i>milonitas de Aguas Blancas</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.506819°; -55.373642°		Departamento: Lavalleja	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Estructural/Tectónico		Interés secundario: Petrológico	
Protección legal: Parque municipal			
Descripción geológica: Las milonitas, ubicadas en un parque municipal, constituyen un afloramiento de interés para entender la evolución de la Zona de Cizalla Sarandí del Yí (ZCSY). Esta es una zona de cizalla de carácter regional, que se extiende entre la localidad de Sarandí del Yí, al norte, y la Sierra de Ánimas, al sur. Estas milonitas conforman una faja con dirección N-S al N30°, que presentan una intensidad de deformación variable hasta milonitas, ultramilonitas, y filonitas. En esta faja se identificó que, la ZCSY tuvo un primer evento de carácter cinemático dextral con sucesivos eventos de reactivación sinistral durante el Ciclo Orogénico Brasileño en el Neoproterozoico.			
Foto:			
Referencias bibliográficas: Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Heidelberg, F., Wemmer, K., & Siegesmund, S. (2015). Structural evolution of the Sarandí del Yí Shear Zone, Uruguay: kinematics, deformation conditions and tectonic significance. International Journal of Earth Sciences, 104, 1759-1777. Oriolo, S., Oyhantçabal, P., Wemmer, K., Basei, M. A., Benowitz, J., Pfänder, J., & Siegesmund, S. (2016). Timing of deformation in the Sarandí del Yí Shear Zone, Uruguay: Implications for the amalgamation of western Gondwana during the Neoproterozoic Brasileño-Pan-African orogeny. Tectonics, 35(3), 754-771. Oyhantçabal, P., Muzio, R., & De Souza, S. (1993). Geología y aspectos estructurales del borde orogénico en el extremo sur del cinturón Dom Feliciano. Revista Brasileira de Geociências, 23(3), 296-300. Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. International Journal of Earth Sciences. 100(2-3). p. 201-220.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO

ID: 05	Denominación: <i>plutón granítico de Polanco</i>		
Ubicación (coordenadas decimales): -33.916293°; -55.218316°		Departamento: Lavalleja	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Petrológico		Interés secundario: Geomorfológico	
Protección legal: Ninguna			
Descripción geológica: Este sitio constituye un cuerpo granítico subcircular que forma parte del Complejo de Polanco. El complejo comprende a varios plutones en un área mayor a los mil kilómetros cuadrados. Está constituido por diversas facies graníticas que consisten en granitos hornblendo-biotíticos, granitos biotíticos de grano grueso, leucogranitos de grano medio y diques de grano fino. El sitio, próximo a la Ruta N°40, presenta un facies biotítico de grano grueso. Este desarrolla varios cuerpos con pedregosidad considerable, conformando un paisaje de sierras.			
Foto:			
Referencias bibliográficas: Fort, S.; Gallardo Silvera, P.; Peel, E.; Sánchez Betucci, L. (2020). Caracterización petrográfica y geoquímica del Complejo Polanco. Rev. Soc. Urug. Geol. No23, p. 1-30. Gallardo P. (2015). Estudio geoquímico del complejo Polanco (Lavalleja, Uruguay). Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias, Montevideo. Preciozzi F., S. Pena, R. Arrighetti (1981). Síntesis de la Geología de la Región Pan de Azúcar-Polanco. DINAMIGE (informe interno). Spoturno, J., Oyhantcabal, P., Faraone, M. (2022). El magmatismo ediacárico en los departamentos de Maldonado y Lavalleja – Uruguay. X Congreso Uruguayo de Geología, Actas X CUG.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO		
ID: 06	Denominación: <i>rocas volcánicas y plutónicas de Sierra de las Ánimas</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.764433°; -55.317133°	Departamento: Lavalleja / Maldonado	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional		
Interés geológico principal: Geomorfológico	Interés secundario: Petrológico	
Protección legal: Ninguna.		
Descripción geológica: La Sierra de las Ánimas conforman un sistema serrano, el de mayor destaque geomorfológico del país, con unos 501 msnm, de unos 4-5 km de ancho y 18 km de longitud, de dirección norte sur. Este sistema conforma el Complejo Sierra de Ánimas, compuesto por una asociación de rocas plutónicas, volcánicas y subvolcánicas, generadas durante la evolución del ciclo orogénico Brasiliano en el Neoproterozoico (Ediacárico). Este complejo presenta una asociación mayoritaria de traquitas, con microsienita y pórfidos microsienítico formando parte del sustrato rocoso de la Sierra de las Ánimas.		

Foto:		
Referencias bibliográficas: Gaucher, C., Sial, A., Frei, R., Ferreira, V., Frei, D., Bossi, J., y Cabrera, J., (2014). Magmatismo anorogénico ediacárico. En: Bossi, J., y Gaucher, C. (eds), Geología del Uruguay - Tomo I: Predevónico, Montevideo, Uruguay, p. 283-298. Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Frei, R., & Layer, P. (2007). Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano–Pan-African, Uruguay). <i>Lithos</i>, 98(1-4), 141-159. Sánchez Bettucci, L. (1997). Los basaltos postorogénicos de la Región Piriápolis–Pan de Azúcar, República Oriental del Uruguay. <i>Revista de la Asociación Geológica Argentina</i>, 52, 3-16. Spoturno, J. J., Oyhantçabal, P., Loureiro, J. (2012). Mapa geológico del Departamento de Maldonado a escala 1:100.000, Cap. 2 Geología. Facultad de Ciencias (UdelaR) – Dirección Nacional de Minería y Geología (MIEM), Montevideo.		

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
ID: 07		Denominación: rocas aborregadas de Cerro de las Cuentas	
Ubicación (coordenadas decimales): -32.656450°; -54.584837°		Departamento: Cerro Largo	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Sedimentológico		Interés secundario: Geomorfológico	
Protección legal: Ninguna.			
Descripción geológica: En este sitio se observa la exhumación de geoformas glaciares carboníferas notablemente preservadas junto a variados depósitos glaciares. Este paisaje producto de la erosión glacial se encuentra expuesto en rocas precámbricas, por debajo de la sucesión glacial de la Formación San Gregorio (Permo-Carbonífero). Las geoformas glaciares fueron son interpretadas como “lomos de ballenas” (<i>whalebacks</i>) asimétricos; también conocidas como rocas aborregadas.			
Foto:			

Referencias bibliográficas:

- Assine, M., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., (2010). Subglacial landforms, sedimentary facies and paleo-ice flow in the Permocarboniferous San Gregorio Formation, Chacoparanaense Basin, Uruguay [Abstract]. 18th International Sedimentological Congress, Mendoza, 2010, Abstracts Volume 129.
- Assine, M. L., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., & Vesely, F. F. (2018). Exhumed subglacial landscape in Uruguay: Erosional landforms, depositional environments, and paleo-ice flow in the context of the late Paleozoic Gondwanan glaciation. *Sedimentary Geology*, 369, 1-12.
- Piñeiro, G., Morosi, E., Ramos, A., Scarabino, F., (2012). Pygocephalomorph crustaceans from the Early Permian of Uruguay: constraints on taxonomy. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15, 33-48.
- Fedorchuk, N. D., Griffis, N. P., Isbell, J. L., Goso, C., Rosa, E. L., Montañez, I. P., ... & Iannuzzi, R. (2021). Provenance of late Paleozoic glacial/post-glacial deposits in the eastern Chaco-Paraná Basin, Uruguay and southernmost Paraná Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 106, 102989.
- Veroslavsky, G., Ubilla, M., de Santa Ana, H. & Martínez, S. (2006). Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Paleozoico. DIRAC-Facultad de Ciencias, Montevideo. 325 pp.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO

ID: 08	Denominación: <i>lutitas fosilíferas de Picada de Cuello</i>		
Ubicación (coordenadas decimales): -32.037981°; -55.373662°	Departamento: Tacuarembó	Propiedad: Privada	
Relevancia: Internacional	Proyecto <i>Geoparque Minero Butucatú</i>		
Interés geológico principal: Paleontológico	Interés secundario: Estratigráfico		
Protección legal: Ninguna.			
Descripción geológica: El yacimiento paleontológico constituye un sitio clave para entender la evolución de las especies en el mar epicontinental Pérmico, que conformó la cuenca sedimentaria gondwánica. En las lutitas laminadas de la Formación Mangrullo, se encuentran fósiles de mesosaurios bien representados y excelentemente preservados. Entre ellos se destaca un huevo que contiene un embrión de <i>Mesosaurus tenuidens</i> , que es la evidencia más antigua de reproducción en amniotas; siendo calificado como un <i>Konservat-Lagerstätte</i> (yacimiento de conservación).			
Foto:			

Referencias bibliográficas:

- Calisto, V., Piñeiro, G. (2019). A large cockroach from the mesosaur-bearing Konservat-Lagerstätte (Mangrullo Formation) Late Paleozoic, Uruguay. *PeerJ* 18 pp.;7:e6289. doi: 10.7717/peerj.6289.
- Laurin, M., Piñeiro, G. (2017). A reassessment of the taxonomic position of mesosaurs, and a surprising phylogeny of early amniotes. *Front. Earth Sci.* 5(88): 1-13. doi: 10.3389/feart.2017.00088
- Piñeiro, G. (2006). Nuevos aportes a la Paleontología del Pérmico de Uruguay. In: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (Eds.), *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, Paleontología y Recursos Minerales, Paleozoico*. DIRAC. Facultad de Ciencias, 257-279.
- Piñeiro, G. (2008). Los mesosaurios y otros fósiles de fines del Paleozoico. In: Perea, D. (Ed.), *Fósiles de Uruguay*. DIRAC. Facultad de Ciencias, 179-205.
- Piñeiro, G., Ramos, A., Goso, C., Scarabino, F., Laurin, M. (2012). Unusual environmental conditions preserve a Permian mesosaur-bearing Konservat-Lagerstätte from Uruguay. *Acta Palaeontol. Pol.*, 57(2): 299-318. doi:

10.4202/app.2010.0113

- Piñeiro, G., Ferigolo, J., Meneghel, M., Laurin, M. (2012b). The oldest known amniotic embryos suggest viviparity in mesosaurs. *Hist. Biol.*, 24(6): 620–630. doi: 10.1080/08912963.2012.662230
- Piñeiro, G., Ferigolo, J., Ramos, A., Laurin, M. (2012c). Cranial morphology of the Early Permian mesosaurid *Mesosaurus tenuidens* and the evolution of the lower temporal fenestration reassessed. *C. R. Palevol.*, 11(5): 379–391. doi: 10.1016/j.crpv.2012.02.001
- Piñeiro, G., Morosi, E., Ramos, A., Scarabino, F., (2012). Pygocephalomorph crustaceans from the Early Permian of Uruguay: constraints on taxonomy. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 15, 33–48.
- Silva, R. R., Ferigolo, J., Bajdek, P., and Piñeiro, G. H. (2017). The feeding habits of Mesosauridae. *Front. Earth Sci.*, 5(23):1–18. doi: 10.3389/feart.2017.00023
- Villamil, J., Núñez Demarco, P., Meneghel, M., Blanco, R. E., Jones, W., Rinderknecht, A., Laurin, M., Piñeiro, G. (2016). Optimal swimming speed estimates in the Early Permian mesosaurid *Mesosaurus tenuidens* Gervais, 1865 from Uruguay. *Hist. Biol.*, 28(7): 963–971. doi: 10.1080/08912963.2015.1075018

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
ID: 09		Denominación: <i>depósitos de amatistas de Los Catalanes</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -30.786689°; -56.273008°		Departamento: Artigas	Propiedad: Privada
Relevancia: Internacional		Proyecto <i>Geoparque Minero Butucatú</i>	
Interés geológico principal: Mineralógico		Interés secundario: Geomorfológico	
Protección legal: Ninguna.			
Descripción geológica: El Distrito Gemológico Los Catalanes (DGLC), fue estudiado y definido por el servicio geológico de Uruguay (DINAMIGE), es un sitio de relevancia internacional debido a la presencia de un área con yacimientos de clase mundial de amatistas. Estas gemas, consideradas piedras semipreciosas, se presentan en el interior de geodas, algunas de grandes dimensiones, en los basaltos cretácicos de Formación Arapey. Estos derrames basálticos forman parte de la gran provincia ígnea de Paraná.			
Foto: 			
Referencias bibliográficas: Duarte, L.C., Hartmann, L.A., Ronchi, L.H., Berner, Z., Theye, T., Massonne, H.J. (2010). Stable isotope and mineralogical investigation of the genesis of amethyst geodes in the Los Catalanes gemological district, Uruguay, southernmost Paraná volcanic province. <i>Mineralium Deposita</i> . 46. 239-255. 10.1007/s00126-010-0323-6. Hartmann L. (2008): Geodos de ametista formados por água quente no tempo dos dinossauros. Ed. Gráfica da UFRGS, Porto Alegre, 66 pp. Morteani G. , Kostitsyn Y., Preinfalk C., H. A. Gilg (2010). The Genesis of the amethyst geodes at Artigas (Uruguay) and the paleohydrology of the Guaraní aquifer: structural, geochemical, oxygen, carbon, strontium isotope and fluid inclusion study. <i>International Journal of Earth Sciences</i> , Volume 99, Number 4, p.927-947. Techera, J., Loureiro, J., Spoturno, J. (2007). Estudio geológico, yacimentológico y minero de las piedras semi-preciosas del norte uruguayo. Proyecto Ágatas y Amatistas - Fase I. DINAMIGE, División Geología. Montevideo, Uruguay. Techera J. (2011). Exploración detallada de los yacimientos de amatista en el Distrito Gemológico Los Catalanes. Proyecto Ágatas y Amatistas - Fase II. DINAMIGE, División Geología. Montevideo, Uruguay. Waichel B. L., Lima E. F. de, Muzio R., Dutra G. (2010). Morfologia e estruturas dos derrames da Formação Arapey. <i>Actas</i>			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
ID: 10		Denominación: <i>derrames riolíticos del Cerro Arequita</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.289793°; -55.271261°		Departamento: Lavalleja	Propiedad: Pública / Privada
Relevancia: Nacional		Proyecto <i>Geoparque Manantiales Serranos</i>	
Interés geológico principal: Petrológico		Interés secundario: Geomorfológico	
Protección legal: Ninguna. Excepto predios del MGAP (en proceso de ingreso al SNAP)			
Descripción geológica: Los derrames riolíticos de la Formación Arequita, unidad geológica muy bien representada en este y Cerro de los Cuervos, agrupa una serie de rocas volcánicas ácidas representadas por riolitas y flujos piroclásticos. Estas lavas de composición ácida, derrames altamente diferenciados, corresponderían a los últimos estadios del magmatismo de la Provincia Paraná–Etendeka. El Cerro Arequita está conformado por tres derrames de lava riolítica superpuestos, que alcanzan una altura máxima de 305 metros sobre el nivel del mar, que fueron afectados por tectónica posterior, lo que dio al cerro una morfología particular con paredones verticales de más de 50 metros.			
Foto:			
Referencias bibliográficas: Muzio R. (2000). Evolução petrológica e geocronologia do maciço alcalino Valle Chico, Uruguai (No. 552.33 (899) MUZ). UNESP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, São Paulo, Brasil. Muzio, R. (2004). El magmatismo Mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. En: Veroslavsky et al (eds), Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Mesozoico. p. 77-102. DIRAC-FCIEN. Montevideo.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 11	Denominación: areniscas ferruginosas de Grutas del Palacio		
Ubicación (coordenadas decimales): -33.280004°; -57.142999°		Departamento: Flores	Propiedad: Pública
Relevancia: Internacional		Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio	
Interés geológico principal: Geomorfológico		Interés secundario: Sedimentológico	
Protección legal: Monumento Natural (SNAP – Sistema Nacional de Áreas Protegidas)			
Descripción geológica: Las Grutas del Palacio son una peculiar geoforma producto de erosión diferencial por acción hídrica. La unidad geológica a la que pertenecen (geosuelo del Palacio) constituye un paleosuelo laterítico, formado por la ferrificación de areniscas cretácicas durante el Paleógeno. Las grutas están constituidas por columnas y bóvedas de areniscas ferrificadas que se asemejan a una estructura edilicia, de allí el nombre del lugar: ‘Grutas del Palacio’.			



Referencias bibliográficas:

- Goso, C.; Perea, D. (2004). El Cretácico post-basáltico y el Terciario inferior en la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. En Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.). Cuencas sedimentarias de Uruguay, Mesozoico. División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias - Sociedad Uruguaya de Geología, Montevideo, 219, 143-171.
- Goso Aguilar, C., Amorín, B. (2010). Geoparque Grutas del Palacio: una propuesta integral de gestión del patrimonio natural y cultural con fines turísticos para el desarrollo local. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, v.: 17 p.:32 - 34, Resumen.
- Picchi, D., Goso Aguilar, C., Caballero JP. (2018). Empleo de tres metodologías de inventario de geositos para la geoconservación. Caso de estudio: geosito Grutas del Palacio. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 21, 53 – 65. ISSN: 07972997.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 12		Denominación: <i>sedimentitas y paleosuelos de la Meseta de Artigas</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -31.612341°; -57.983926°		Departamento: Paysandú	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Sedimentológico		Interés secundario: Estratigráfico	
Protección legal: Monumento Histórico Nacional (Ley de Patrimonio)			
Descripción geológica: La Meseta de Artigas, de hasta 30 m de altura, conforma uno de los puntos más altos de la planicie del litoral del río Uruguay. En sus barrancas se encuentra un perfil estratigráfico típico de la Formación Guichón, cubierto por la Formación Mercedes. En este se observan areniscas, conglomerados arenosos y areniscas finas rojizas, con estratificación planar horizontal y estratificación cruzada. Las estructuras sedimentarias presentes son evidencias de canales y barras fluviales. Los paquetes de areniscas finas rojizas se encuentran bioturbados, marcando condiciones de baja tasa sedimentaria, lo que permitió la formación de suelos.			
Foto:			

Referencias bibliográficas:

Goso, C. (1999). Análise Estratigráfica do Grupo Paysandú (Cretáceo) na Bacia do Litoral, Uruguai. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. Tese de Doutorado, 184 pp

Goso, C., & Perea, D. (2004). El Cretácico post-basáltico y el Terciario inferior en la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. En Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.). Cuencas sedimentarias de Uruguay, Mesozoico. División Relaciones y Actividades Culturales de Facultad de Ciencias - Sociedad Uruguaya de Geología, Montevideo, 219, p. 143-171.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 13		Denominación: areniscas fosilíferas de Punta Gorda	
Ubicación (coordenadas decimales): -33.916344°; -58.414381°		Departamento: Colonia	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Paleontológico		Interés secundario: Sedimentológico	
Protección legal: Faja de defensa de costas			
Descripción geológica: Las areniscas fosilíferas de Punta Gorda es un sitio representativo de la última gran transgresión marina en territorio uruguayo. Este es un sitio de relevancia para la historia de la geología, ya que fue visitado y descrito por el naturalista inglés Charles Darwin, en su segunda recorrida por Uruguay en 1833. En este sitio conocido como “Rincón de Darwin”, se pueden observar los registros del denominado “mar entrerriense”. En las barrancas, conformadas por areniscas y lumaquelas se encuentran fósiles de moluscos marino-litorales del Mioceno, correspondientes a la Formación Camacho.			
Foto: 			
Referencias bibliográficas: Martínez, S. (1994). Bioestratigrafía (Invertebrados) de la Formación Camacho (Mioceno, Uruguay). Tesis Doctoral, FCEN, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Martínez S. & Veroslavsky G. (2000). Darwin, la Geología y el Uruguay. p. 81-98. En: Altuna C.& Ubilla M. (Eds.): El prisma de la Evolución. DIRAC, Montevideo. Veroslavsky Barbe, G., Ubilla Gutiérrez, M., & Martínez Chiappara, S. A. (2004). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 14	Denominación: <i>barrancas fosilíferas de Paso Cuello y Picada de Berget</i>		
Ubicación (coordenadas decimales): - 34.365860°; -56.170147°		Departamento: Canelones / Florida	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Estratigráfico		Interés secundario: Paleontológico	
Protección legal: Ninguna			

Descripción geológica:

En las barrancas ubicadas a ambos márgenes del río Santa Lucía, se pueden apreciar una superposición de depósitos sedimentarios fluviales que representan tres ciclos separados por discontinuidades. En los perfiles se observan limolitas, areniscas con estratificación cruzada en artesa y tabular planar, con intercalaciones de niveles de paleosuelos. En sus sedimentos se encuentran fósiles de xenartros, notoungulados y marsupiales, pertenecientes a la Formación Fray Bentos del Oligoceno. Hasta el momento es la unidad que contiene los mamíferos más antiguos del registro de Uruguay. Picada de Berget fue propuesta como hipoestratotipo de la unidad y Paso Cuello como sitio de Fauna Local, correspondiente a la edad mamífero de América del Sur Deseadense.

Foto:**Referencias bibliográficas:**

- Perea, D. (2011), Fósiles de Uruguay, segunda edición (con actualizaciones), DIRAC-FC, Montevideo, 346 pp.
- Ubilla, M. (2004). La Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío) y los mamíferos más antiguos de Uruguay. En: G. Veroslavsky, M. Ubilla, M. y S. Martínez. (Eds.), Cuencas sedimentarias de Uruguay. Cenozoico Cap IV. DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo, p. 83–104.
- Ubilla, M. & Perea, D. (1994), La fauna local Paso del Cuello, Frn. Fray Bentos (Oligoceno), Uruguay, 4° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Resúmenes:44, Trelew.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 15	Denominación: <i>localidad megafaunística de Arroyo del Vizcaino</i>		
Ubicación (coordenadas decimales): -34.617506°; -56.042506°		Departamento: Canelones	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Paleontológico		Interés secundario: Estratigráfico	
Protección legal: Monumento Histórico Nacional (Ley de Patrimonio)			
Descripción geológica: En el yacimiento paleontológico de Arroyo del Vizcaino se han encontrado más de 1000 huesos de mamíferos gigantes, pertenecientes a por lo menos 27 individuos, en su mayoría del perezoso terrestre Lestodon, además de tres géneros de gliptodontes: Glyptodon, Doedicurus y Panochthus. Estos fósiles, representantes de la megafauna pleistocena de Sudamérica, se hallaron en sedimentos asignados a la Formación Dolores del Pleistoceno tardío, compuestos por depósitos de color marrón rojizo de loess. Desde una perspectiva geomorfológica, el sitio es un lugar donde el arroyo se hace más profundo, formando un estanque natural en un sustrato de rocas cretácicas de la Formación Mercedes.			

Foto:



Referencias bibliográficas:

Fariña, R. A., & Castilla R. (2007). Earliest evidence for human megafauna interaction in the Americas. In Human and faunal relationships reviewed: an archaeozoological approach (eds E Corona-M, J Arroyo-Cabral), pp. 31–34. Oxford, UK: Archaeopress.

Fariña, R. A., Tambusso, P. S., Varela, L., Czerwogora, A., Di Giacomo, M., Musso, M. & Gascue, A. (2014). Arroyo del Vizcaino, Uruguay: a fossil-rich 30-ka-old megafaunal locality with cut-marked bones. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 281(1774), 20132211.

Perea, D. (2011), Fósiles de Uruguay, segunda edición (con actualizaciones), DIRAC-FC, Montevideo, 346 pp

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLOGICO			
N: 16		Denominación: <i>moluscos marinos del Pleistoceno de la Coronilla</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -33.894908°; -53.507325°		Departamento: Rocha	Propiedad: Pública
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Paleontológico		Interés secundario: Sedimentológico	
Protección legal: Faja de defensa de costas			
Descripción geológica: El conjunto de moluscos marinos del Pleistoceno de la Coronilla, en la costa atlántica, es uno de los depósitos marino-litorales más ricos del Cuaternario de Uruguay. Este depósito representa una composición de especies de bivalvos y gasterópodos. Las preferencias ecológicas de las especies registradas en estos depósitos, permitieron reconstruir las condiciones paleoambientales de la costa oriental uruguaya y el escenario paleobiogeográfico de la zona durante el Pleistoceno tardío. La playa de La Coronilla, del tipo disipativa, conforma una plataforma de abrasión donde se exponen sedimentos holocénicos litorales, registro de las variaciones en el nivel del mar durante el Holoceno.			
Foto:			

Referencias bibliográficas:

- Goso, C.; Mesa, V.; Alvez, M.C. (2011). Sinopsis geológico-ambiental de la costa platense y atlántica de Uruguay. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina, Croquis, Buenos Aires. p. 59-76.
- Martínez, S. & Rojas, A. (2011). Asociaciones de moluscos marinos y estuarinos del Holoceno de Uruguay. En: El Holoceno en la zona costera del Uruguay. García-Rodríguez, F (Ed) 1: 263 pp.
- Goso, C.; Mesa, V.; Alvez, M.C. (2011). Sinopsis geológico-ambiental de la costa platense y atlántica de Uruguay. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina, Croquis, Buenos Aires. p. 59-76.
- Martínez, S., Ubilla, M., Verde, M., Perea, D., Rojas, A., Guérez, R. & Piñero, G. (2001). Paleogeology and Geochronology of Uruguayan coastal marine Pleistocene deposits. Quaternary Research 55, 246-254.
- Perea, D. (2011), Fósiles de Uruguay, segunda edición (con actualizaciones), DIRAC-FC, Montevideo, 346 pp.
- Rojas, A., Zaffaroni, J.C. & Martínez, S. (2018). New molluscan records and palaeoecology of the Late Pleistocene marine assemblage from La Coronilla (Rocha, Uruguay). Journal of Sedimentary Environments 3(4): 220–233.

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO			
N: 17		Denominación: <i>mar de piedras de Sierra Mahoma</i>	
Ubicación (coordenadas decimales): -34.119630°; -56.963857°		Departamento: San José	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional			
Interés geológico principal: Geomorfológico		Interés secundario: Petrológico	
Protección legal: Ninguna. Excepto sitios arqueológicos (Ley de Patrimonio)			
Descripción geológica: El paisaje granítico de Sierra Mahoma es parte de la Región Centro Sur, unidad geomorfológica, ocupada por rocas pertenecientes al Escudo Brasileiro (Uruguayo) precámbrico. La Sierra Mahoma debió tener rasgos topográficos más positivos, pero estos fueron intensamente transformados por la acción fluvial, dándole el carácter de un “mar de piedra” o caos de bloques (berrocal). Este consiste en vastas acumulaciones de bloques graníticos, a menudo de grandes dimensiones, generalmente redondeados por meteorización y erosión, apoyados sobre afloramientos del granito de Mahoma (Paleoproterozoico).			
Foto:			
Referencias bibliográficas: Chebataroff, J. (1944). La Sierra Mahoma. Instituto de Estudios Superiores de Montevideo. Boletín de la Sección Investigaciones Botánicas, 1(1), 1-119. Chebataroff J (1955). Evolución del relieve del Uruguay y de Río Grande del Sur. Revista Uruguaya de Geografía, 39-96. Chebataroff, J. (1969). Relieve y costas. In: Aljanati et al (eds) Nuestra Tierra. N° 3. 69 pp. Montevideo. Spoturno, J., Oyhanctabal, P., Aubet, N., & Casaux, S. (2004). Mapa geológico y de recursos minerales del Departamento de San José a escala 1:100.000. Memoria explicativa. DINAMIGE. Montevideo.			

CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE INTERÉS GEOLÓGICO	
N: 18	Denominación: <i>escharpa de la cuesta basáltica en la Subida de Pena</i>

Ubicación (coordenadas decimales): -31.142110°; -55.904255°	Departamento: Rivera	Propiedad: Privada
Relevancia: Nacional		
Interés geológico principal: Geomorfológico	Interés secundario: Estratigráfico	
Protección legal: Paisaje Protegido (SNAP – Sistema Nacional de Áreas Protegidas)		
Descripción geológica: El sitio se ubica sobre la Subida de Pena conforma un mirador, desde el cual se pueden observar los cambios morfológicos entre dos unidades: la Cuesta Basáltica y la Cuenca Sedimentaria Noreste. Este lugar representa el frente erosivo de la Cuesta Basáltica, donde se encuentra el contacto entre los basaltos cretácicos de Formación Arapey y las areniscas jurásicas de la Formación Tacuarembó. El frente erosivo de la cuesta presenta una potencia superior a los 100 metros y se extiende por decenas de kilómetros dominando el paisaje.		
Foto: 		
Referencias bibliográficas: Chebataroff, J. (1951). Las regiones naturales de Río Grande del Sur y de la República Oriental del Uruguay. Revista Geográfica, 11(31/36), 59-95. Panario D (1988) Geomorfología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, 32 pp. Panario, D., Gutiérrez, O., Sánchez Bettucci, L., Peel, E., Oyhançabal, P., & Rabassa, J. (2014). Ancient landscapes of Uruguay. Gondwana Landscapes in southern South America: Argentina, Uruguay and southern Brazil, p. 161-199.		