

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

ISSN 1853-6700

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

NOTA BREVE

Aniversarios IBIGEO y TEMAS BGNOA

FICHAS TB&G NOA

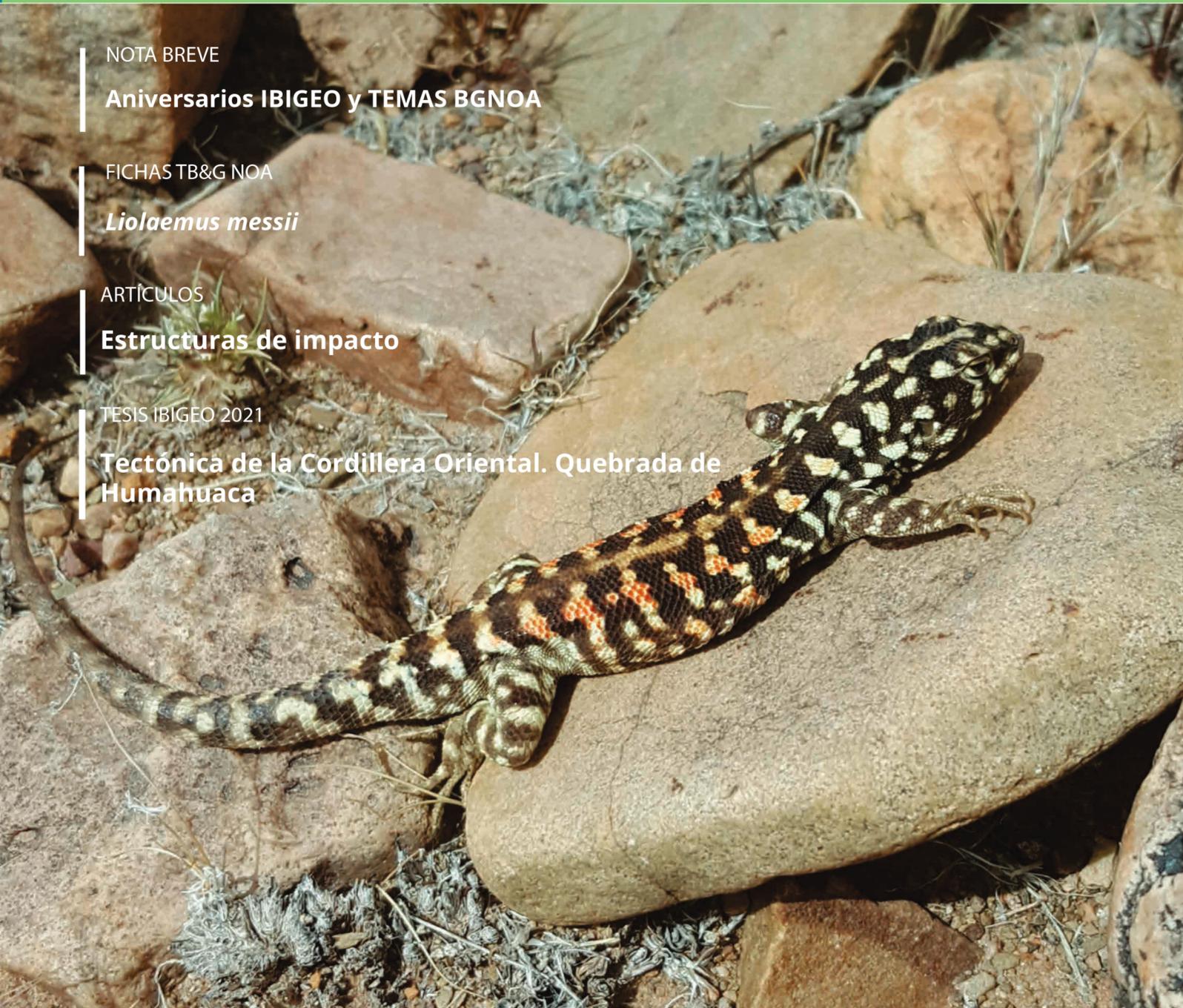
Liolaemus messii

ARTÍCULOS

Estructuras de impacto

TESIS IBIGEO 2021

Tectónica de la Cordillera Oriental. Quebrada de Humahuaca



CONICET



I B I G E O

Volumen 11, Número 1, Abril 2021

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 11, Número 1 Abril 2021

ISSN 1853-6700

Comité Editorial

Silvana Geuna. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Carolina Montero. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Natalia Zimicz. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

Editora invitada: **Silvia Quinzio.** IDEA, CCT CÓRDOBA.

EDITORIAL

Pág. 1. Editorial

NOTA BREVE

Pág. 3- Aniversarios en el IBIGEO -a pesar del COVID
M Fabrezi

FICHAS DE TB&G NOA

Pág. 8 - *Liolaemus messii*

S Ruiz, M Quipildor, MR Ruiz Monachesi, L Escalante, S Valdecantos, F Lobo

ARTÍCULOS

Pág. 9 - La mayor estructura de impacto de América del Sur: El Domo de Araguainha (Brasil)
N Hauser

TESIS IBIGEO 2021

Pág. 20- Tectónica de la Cordillera Oriental entre el valle de Alfarcito y Abra de Lipán. Quebrada de Humahuaca
Geol. E Barrabino

Foto de tapa: imagen de un ejemplar macho adulto de *Liolaemus messii*. Soledad Ruiz.

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina

Es una Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-Universidad Nacional de Salta.

El *IBIGEO* tiene entre sus objetivos principales: 1) planificar y ejecutar investigaciones en diversos temas relacionados con los recursos naturales de la región; 2) promover la difusión de los resultados de las investigaciones en el ámbito científico; 3) participar en la formación de recursos humanos universitarios de grado y postgrado; 4) colaborar en la organización de conferencias, reuniones y cursos; 5) asesorar en ámbitos públicos y/o privados para la planificación y/o resolución de problemas; y 6) estimular el interés del público por las ciencias y difundir el conocimiento generado por el estudio de temas específicos de la región.

CONICET



I B I G E O

Editorial

Estimados lectores,

Comenzamos el 2021, declarado **“Año de homenaje al Premio Nobel de Medicina Dr. César Milstein”** dedicando este primer número de Temas a este gigante de la Ciencia global nacido en nuestro país. La historia profesional de César Milstein es un ejemplo concreto de la potencialidad de nuestro sistema científico y tecnológico y de cuánto impactan en esta potencialidad los vaivenes de nuestra historia como país.

César Milstein, nació en la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires el 8 de octubre de 1927. En el año 1945, comenzó a estudiar la Licenciatura y luego el Doctorado en Química en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Corría el año 1957, cuando fue seleccionado por concurso para trabajar como investigador en el Instituto Nacional de Microbiología Carlos Malbrán, instituto hoy mencionado con frecuencia en los medios de comunicación, a causa de su rol fundamental en la detección del COVID19. Durante un año trabajó en el Malbrán para luego viajar con una beca de estudio al *Medical Center Research* de Cambridge, Inglaterra. En 1961, casualmente declarado por la ONU como el Año Internacional de la Investigación Médica y la Salud, retornó a nuestro país para hacerse cargo de la Jefatura del Departamento de Biología Molecular del Instituto Malbrán. Allí continuó con sus investigaciones de avanzada a nivel nacional y mundial y formó un equipo de trabajo. Sin embargo, un año más tarde, en 1962, tuvo lugar el Golpe de Estado que derrocó al Presidente Constitucional Arturo Frondizi. Tras la caída de Frondizi, el Malbrán fue intervenido y el trabajo de Milstein se tornó insostenible por lo que retornó a Inglaterra para radicarse definitivamente allí. Volvió al país en varias oportunidades, a recibir premios, por cuestiones familiares e incluso laborales, pero el resto de sus investigaciones –las más trascendentes- fueron realizadas en el extranjero.

Hasta aquí la historia de Milstein es la de un científico argentino, formado en nuestro país en una Universidad Pública que tuvo que emigrar para continuar con sus investigaciones. Pero ¿cuáles fueron esas investigaciones que en el año 1984 lo llevaron a recibir el Premio Nobel de Medicina? Milstein estaba interesado en la fabricación de inmunosueros capaces de detectar y enfrentarse a una parte específica del antígeno con la idea de poder vencer diferentes enfermedades. Durante años trabajó con sus colaboradores en la formulación de hipótesis, luego en el diseño y puesta a punto de una metodología y finalmente en alcanzar el objetivo. Nada más ni nada menos, que el método científico aplicado a solucionar los grandes problemas de la humanidad. El trabajo de Milstein consistió en el desarrollo de una técnica para producir sustancias llamadas anticuerpos monoclonales (idénticos entre sí). El trabajo de Milstein significó un antes y un después en la Inmunología y la biotecnología, aportando el conocimiento de cómo el sistema inmunológico reacciona ante las enfermedades. Sus investigaciones permitieron el desarrollo de técnicas de reconocimiento y lectura de las células y de moléculas extrañas (patógenos) al sistema inmunológico. Los anticuerpos monoclonales pueden dirigirse contra un blanco específico y por lo tanto se aplican a una enorme diversidad de diagnósticos, tratamientos, y métodos de prevención. Los anticuerpos monoclonales de Milstein, entre otras cosas se aplican al diagnóstico y tratamiento de diversos tipos de cáncer, a los estudios de rechazo de órganos en las cirugías de transplantes y a la producción de Vacunas.

Llegados a este punto nos preguntamos, ¿cómo hubiera enfrentado la humanidad la pandemia de

COVID19 sin las investigaciones de César Milstein? Estaríamos probablemente frente a una mortandad comparable a la de la Gripe Española o la Peste Negra. Y entonces reflexionamos, cuál es y cuál fue el rol de la Ciencia Argentina en la formación académica de Milstein y cuántos científicos podemos generar si nos planteamos como sociedad un plan de financiamiento a largo plazo del Sistema Científico y Tecnológico. La reflexión final es que la **Ciencia debe necesariamente ser una Política de Estado**. César Milstein falleció el 24 de marzo de 2002 en Cambridge, Inglaterra.

Comité Editorial

Temas de Biología y Geología del NOA

Silvana Geuna

Carolina Montero

Natalia Zimicz

Aniversarios en el IBIGEO -a pesar del COVID19-

Marissa Fabrezi¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa-CONICET)

A fines de 2019, agendamos que durante 2020 se cumplieran los 15 años del nacimiento del IBIGEO como Instituto de investigaciones de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta, los 10 años del IBIGEO como Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-UNSa y los 10 años del primer número de la revista Temas de Biología y Geología del NOA. Pero con 2020 llegó a nuestras vidas el virus SARS-CoV-2 y postergamos los recordatorios hasta que llegara la calma.

Y estamos en abril de 2021 sin calma y decidimos hablar de estos aniversarios cumplidos entre todas y todos: los que formamos parte del IBIGEO, y los que nos embarcamos en el proyecto de la revista, para recordar buenos momentos. Pero también, para recordar esas circunstancias que nos obligaron a repensar y/o disminuir las expectativas en este proceso de construcción colectiva, que a veces nos desgasta y en otros nos potencia y enorgullece.

La idea del IBIGEO y quizás de la revista, nació en 2003, allí empezamos a interactuar geólogos y biólogos que compartíamos lugar de trabajo en el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. En ese tiempo preparamos unos folletos (Figura 1) en formato tabloide sobre las ecorregiones y los volcanes que se distribuían a los visitantes de las exposiciones de aquel Museo. El folleto era nuestro orgullo, pero tenía demasiado texto, estaba impreso en blanco y negro y por su tamaño, era incómodo y terminaba plegado como una servilleta.

Unos años después, mientras preparábamos las formalidades para presentar el proyecto de IBIGEO a CONICET, elaboramos una "cartilla" de divulgación sobre las características integrales que definen las Ecorregiones del NOA. En esa "cartilla" intentamos poner en un lenguaje sencillo pero preciso, todos los elementos que se deben tener en cuenta al hablar de las ecorregiones. Para eso, tratamos de reducir textos, aumentar ilustraciones, usar color y un diseño para una página normal. Esa cartilla quedó en nuestros archivos, pero fue una base que nunca olvidamos.



Figura 1. El primer proyecto de divulgación fueron dos publicaciones “Ecorregiones del NOA” (que describía las exposiciones del Museo) y “Sismos y volcanes del NOA” que recibían los visitantes de las exposiciones del Museo. Trabajamos intensamente en ambos documentos, pero costaba leerlos.

Cuando a fines de 2010 fue aprobado el proyecto de IBIGEO como Unidad Ejecutora de CONICET ya teníamos en claro cómo sería la revista **Temas de Biología y Geología del NOA**. En el primer año, se publicaron 14 artículos donde participamos casi todos los miembros del primer IBIGEO. La revista fue pensada como un instrumento de divulgación científica, ameno y riguroso destinado a un público no especialista, pero con determinado interés sobre temas científicos (docentes de ciencias, estudiantes universitarios y colegas de otras disciplinas).

Teníamos una serie de “reglas” que respetar que no siempre fue fácil de cumplir. Por ejemplo, las tapas temáticas (Figura 2): en 2011 libélulas; 2012 paisajes sedimentarios, 2013 aves nocturnas, 2014 cristales, 2015 suelos, siempre del NOA. Pero a partir de 2016, pensamos que era importante que nuestras tapas reflejaran también, situaciones que nos preocupaban como los incendios en el Amazonas o la pandemia de COVID19, o el tema que la ONU propusiera para el año (año Internacional de las legumbres, de las lenguas originarias, etc.).

La revista en un principio tuvo tres o cuatro secciones; editorial, reportajes, artículos y notas. Las

editoriales reflejaron posiciones sobre algunos temas que no siempre fueron compartidas por los miembros del instituto y los reportajes intentaron acercar diferentes puntos de vista sobre aspectos que tienen que ver con la vida académica (unidades ejecutoras, perspectiva de género en ciencia, enseñanza de las ciencias, etc.). Nunca funcionó el Correo de lectores.

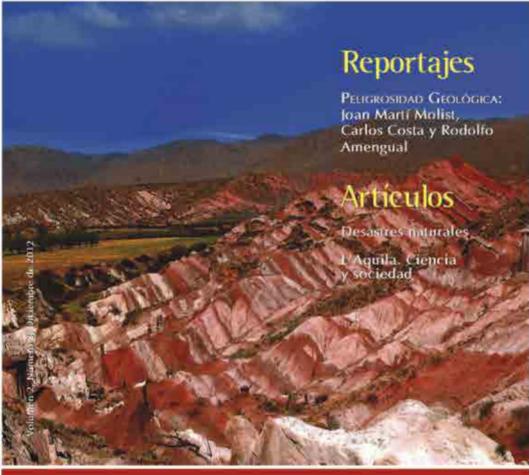
En el último año 2020, la revista ha sumado secciones nuevas que incrementan la visibilidad de las producciones de los miembros del Instituto (reseñas de las tesis defendidas, bitácora -algo así como apuntes de campo- y fichas temáticas), también la sección homenajes. Hubo números que intentaron plantear una mirada integral del conocimiento científico en la sociedad y reflejar que lo científico también es político,



Figura 2. Las tapas de la revista Temas BGNOA tuvieron un significado especial, tuvimos años con tapas muy bellas, muy llamativas, pero también otras con una relación directa con los contenidos o situaciones que reflejaban la preocupación del momento.

o, que al escribir este texto, se puede considerar vanguardia (ver Recuadro).

El número de VANGUARDIA



ISSN 1853-6700

Temas de Biología y Geología del Noa

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bío y Geociencias

Reportajes
PELIGROSIDAD GEOLÓGICA:
Joan Martí Molist,
Carlos Costa y Rodolfo Amengual

Artículos
Desastres naturales
L'Aquila. Ciencia
y sociedad

IBIGEO

El sismo de L'Aquila, 6 de abril de 2009, sus repercusiones.

*Silvina Guzman
†IBIGEO-CONICET, Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta

Reportajes

En este número de **Temas BGNOA**, la sección de especialistas que siempre active han estado. Los agradecemos el tiempo que han dedicado para la responsabilidad de los científicos ante

DR. CARLOS COSTA

Temas BGNOA ¿Qué acciones usted considera deberían contemplarse para mejorar la caracterización del riesgo sísmico en Argentina?

CC El problema sísmico presenta muchas variables. En esto trabajan colegas de diversas disciplinas que sin duda tienen visiones diferentes o parciales y complementarias respecto al mismo. Como acciones importantes no excluyentes

JOAN MARTI MOLIST

Temas BGNOA ¿Qué acciones considera usted que deberían contemplarse para mejorar la caracterización del riesgo de desastres geológicos en Argentina?

JMM De un modo general, las acciones que se realizan para reducir el riesgo volcánico de cualquier actividad son cuatro: Conocimiento de la actividad pasada mediante estudios geológicos y vulcanológicos; registro geológico, monitorización geofísica y geodésica de la actividad actual, elaboración de planes de emergencia y gestión de crisis volcánicas; y desarrollo y aplicación de programas de educación a todos los niveles de la sociedad afectada. Estas acciones deben realizarse con anticipación a una posible crisis o quereamos que la gestión de la crisis sea efectiva, pero también considerando la prevención a largo plazo con el fin de realizar una adaptación territorial de la zona y una concientización de la población y de sus gestores sobre este posible peligro basándose en un buen conocimiento del mismo.

DR. RODOLFO AMENGUAL

Temas BGNOA ¿Qué acciones usted considera deberían contemplarse para mejorar la caracterización del riesgo de deslizamientos en el noroeste de Argentina?

RA El riesgo por fenómenos de remoción en masa y por deslizamientos en especial, ha sido hasta el presente motivo de estudio en forma generalizada en la región; en líneas generales, no es abordado en los estudios de detalle ni en estudios de impacto ambiental, aún para el caso de loteos para viviendas en áreas montañosas; es por esto que considero que se debería comenzar con la realización de estudios de reconocimiento de estabilidad de laderas y taludes para, determinar las zonas más riesgosas en función de la cantidad de ocurrencias y tratar de determinar los factores desencadenantes y de esta manera comenzar por una caracterización macro del territorio. Esto se debería desarrollar mediante un SIG que permita integrar información topográfica, geológica, meteorológica y sísmica.

Artículos

Desastres Naturales ¿Se pueden predecir y prevenir los eventos geológicos destructivos?

*Carolina Montero, **Victor Garcia y *Silvina Guzman
†IBIGEO-CONICET, Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta
**Instituto de Investigación en Paleontología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro

Nunca imaginamos que íbamos a vivir lo que hoy nos toca, pero en 2012 Temas BGNOA dedicó un número completo al tema desastres naturales (https://ibigeo.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/27/2015/09/TBGN0a06_baja.pdf). En este número se describieron eventos geológicos como desastres naturales, el papel que juega el conocimiento, la prevención, la emergencia ante el desastre, las opiniones/datos de los científicos, las decisiones de los gobiernos, el balance entre vidas humanas y pérdidas económicas, y la influencia de los medios de comunicación en la opinión pública. Como en estos tiempos de pandemia de COVID 19, en el triángulo que se forma con vértices en la ciencia, gobernantes y políticos, y los medios de comunicación queda atrapada una sociedad que necesita saber, conocer y no creer.

Hubo un período de fuerte discusión en el IBIGEO, en el que la revista fue el epicentro. Entre 2015 y 2017 algunos miembros plantearon la inutilidad de hacer un esfuerzo importante para mantener la revista si no había rédito alguno. El argumento se sostenía en la realidad, las evaluaciones académicas no tienen en cuenta publicaciones de este tipo y por lo tanto no vale la pena perder tiempo en escribir para la revista (algunos al ser evaluados recibimos cuestionamientos por invertir nuestro tiempo en estos proyectos). Esta discusión, que refleja posicionamientos muy claros en todo el quehacer de nuestra cotidianeidad académica, tuvo intensidad y se vio reflejada en volúmenes “flacos” de la revista. La renovación del Comité Editorial le dio el impulso que revirtió la tendencia negativa y desde el 2018 se ha recuperado la iniciativa, la periodicidad y el interés.

¿Por qué recordar en un mismo escrito aniversarios del IBIGEO y de la revista Temas BGNOA? Porque ambos se retroalimentan y en ellos confluyen aspectos de la labor cotidiana de un grupo de gente que sostiene en el tiempo un proyecto institucional que tiene como eje generar conocimientos que lleguen no solo a los ámbitos académicos sino también a las personas que necesitan pensar y entender antes que creer o imaginar.

Si la sinergia entre el Instituto y su publicación se mantiene en el tiempo, con aniversarios más o menos celebrados, podremos decir que no nos equivocamos. Queremos que al IBIGEO se lo conozca a través de la Revista Temas BGNOA, porque cuenta muy bien todo lo que hacemos.

Soledad Ruiz¹, Matías Quipildor¹, Mario R. Ruiz Monachesi¹, Leonardo Escalante¹, Soledad Valdecantos¹, Fernando Lobo¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa-CONICET)

Liolaemus messii

Especie nombrada en honor a Lionel Andrés Messi, reconocido futbolista argentino consagrado a nivel mundial, pero sobre todo un ejemplo mundial de humildad y caballerosidad.

Clasificación: Orden Squamata; Familia Liolaemidae

Procedencia geográfica: Entre San Bernardo de las Zorras y El Rosal, Departamento Rosario de Lerma, Provincia de Salta, Argentina.

Link a la publicación: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044523121000322>

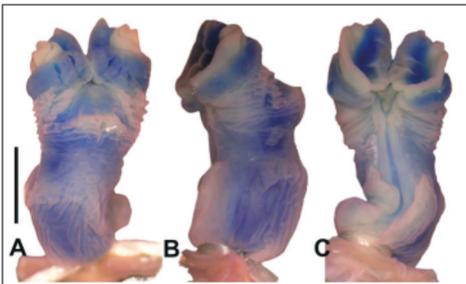
La elevación de la cadena montañosa de los Andes es uno de los principales factores promotores de la diversificación de muchos grupos de animales. Entre ellos se encuentran los lagartos de la familia Liolaemidae, dentro de este, ***Liolaemus*** es el género con más especies descritas hasta la fecha, aproximadamente 277 especies. Uno de los grupos dentro del género es el grupo de *L. ornatus*, distribuido en el sur de la cordillera de los Andes Centrales. Este clado está compuesto por seis especies que habitan en la Puna y Cordillera Oriental de Argentina, a altitudes elevadas. Las especies de este grupo son vivíparas, en su mayoría herbívoras, y a diferencia de la mayoría de las otras especies en el grupo, ambos sexos, presentan varios poros precloacales (glándulas coloridas ubicadas al borde de la cloaca que intervienen en la comunicación química).



L. messii macho adulto



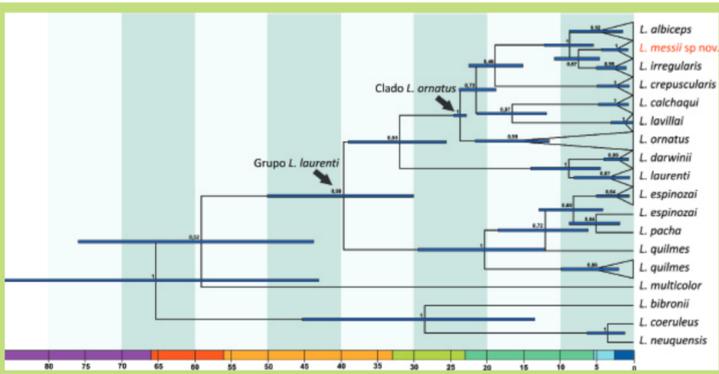
L. messii hembra adulta



Morfología del hemipene de *Liolaemus messii*. A: cara asulcada. B: cara lateral. C: cara sulcada. Escala = 2 mm.

Liolaemus messii es un miembro del grupo de *L. ornatus* pero al mismo tiempo, se diferencia del resto de las especies del grupo por características morfológicas típicamente utilizadas en lagartos como longitud hocico-cloaca, longitud de las extremidades, longitud de la cola y el número de poros precloacales. Además, presenta caracteres novedosos relacionados con la morfología y morfometría de la genitalia masculina (hemipenes), que relacionan a *L. messii* con el grupo de *L. ornatus* pero lo diferencian de las demás especies del grupo. En cuanto a la coloración, *Liolaemus messii* presenta machos y hembras con patrones y coloración diferencial (dicromatismo sexual). En los machos, la cabeza es beige a ocre con reticulado melánico. El color del cuerpo es hueso a marrón claro, con reticulado melánico, algunos con coloración rojiza en la región paravertebral. La cola es gris, marrón claro o amarillenta con rayas o manchas melánicas.

Ventralmente es gris con reticulado negro, amarillento o gris con manchas oscuras. En las hembras, la cabeza es de color marrón claro. El cuerpo es marrón claro, con variaciones de patrones que van desde líneas dorsolaterales amarillas hasta pequeñas manchas oscuras. La cola es marrón claro con líneas o puntos melánicos. Ventralmente son color gris o amarillento.



Cuadro sobre estimaciones de los tiempos de divergencias para el grupo de *Liolaemus laurenti*, bajo Inferencia Bayesiana árbol ultramétrico escalado en Ma. Los números y las barras horizontales en los nodos representan valores de probabilidades posteriores e intervalos de credibilidad del 95%. Los diferentes colores de la barra representan las diferentes épocas: Azul: Pleistoceno. Azul claro: Plioceno. Verde oscuro: Mioceno. Verde claro: Oligoceno. Naranja: Eoceno. Rojo: Paleoceno. Violeta: más antiguo.

Liolaemus messii se encuentra en la cuenca de la Quebrada del Toro, al oeste del valle de Lerma, en la región de San Bernardo de las Zorras. El tiempo de divergencia (momento de diferenciación de poblaciones que lleva a detener el intercambio de genes entre ellas) de *L. messii* es de 2,5 Ma, durante el Pleistoceno inferior. Estudios geológicos muestran que la cuenca estuvo tectónicamente activa desde hace aproximadamente 5-7 Ma; la tectónica cuaternaria evidencia que el límite oriental de esta región sigue elevándose. A partir de estos datos se puede inferir que la divergencia de esta nueva especie estaría relacionada con el levantamiento de las sierras del borde oriental de la cuenca, actuando como barrera física en la distribución de *L. messii*, restringiéndolo al norte de la cuenca de la Quebrada del Toro.



Hábitat y localidad tipo de *Liolaemus messii* en San Bernardo de las Zorras (quebrada del Toro, provincia de Salta)

La mayor estructura de impacto de América del Sur: el Domo de Araguainha (Brasil)

Natalia Hauser¹

¹Laboratorio de Geocronología e Geoquímica Isotópica, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Asa Norte, Brasília, DF, Brasil, 70910-900. E-mail: nataliah@unb.br

Los procesos de craterización por impacto, es decir todos aquellos procesos relacionados al impacto de un meteorito en una superficie y consecuente generación de un cráter, son los procesos más comunes que modifican la superficie de planetas y satélites en nuestro sistema solar y más allá. Fueron relacionados con los procesos que dieron lugar a la formación y evolución de los planetas, como así también al origen, evolución y extinción de la vida. El ejemplo más claro que tenemos es aquel relacionado a la extinción de los dinosaurios, hace aproximadamente 66 Ma (Ma: millones de años). De hecho, la madre de las extinciones en masa del registro bio-estratigráfico de nuestro planeta, el llamado evento de extinción Pérmico - Triásico está directamente relacionado con el tópico aquí tratado, el impacto de Araguainha, cuya edad coincide exactamente con esta extinción.

Fueron confirmadas en nuestro planeta, hasta el año pasado, un total de aprox. 200 estructuras de impacto (Figura1). Cuando comparamos la cantidad de estructuras de impacto confirmadas en América del Sur, un total de 11 (Crósta et al., 2019), con aquellas confirmadas en Oceanía, un total de 27 (de acuerdo al EarthImpact Database), entendemos la necesidad de que más científicos en América del Sur se dediquen al estudio de estructuras de impacto.

Cómo reconocer/diagnosticar una estructura de impacto. ¿Y después?

Existen muchas estructuras circulares que pueden ser fácilmente vistas en una imagen de satélite, como aquella de Google Earth, pero ¿cómo reconocer si estas estructuras circulares fueron producidas por el impacto de un cuerpo celeste o por algún otro proceso común en nuestro planeta? Existen métodos geofísicos¹ de tipo magnéticos, gravimétricos o sísmicos que auxilian en la identificación

¹Modelos geofísicos: son aquellos relacionados con la medición de alguna propiedad física como la velocidad de las ondas sísmicas, variaciones del campo gravitacional o del campo magnético en la superficie terrestre, para detectar anomalías que indiquen cambios en el material que está en subsuelo.

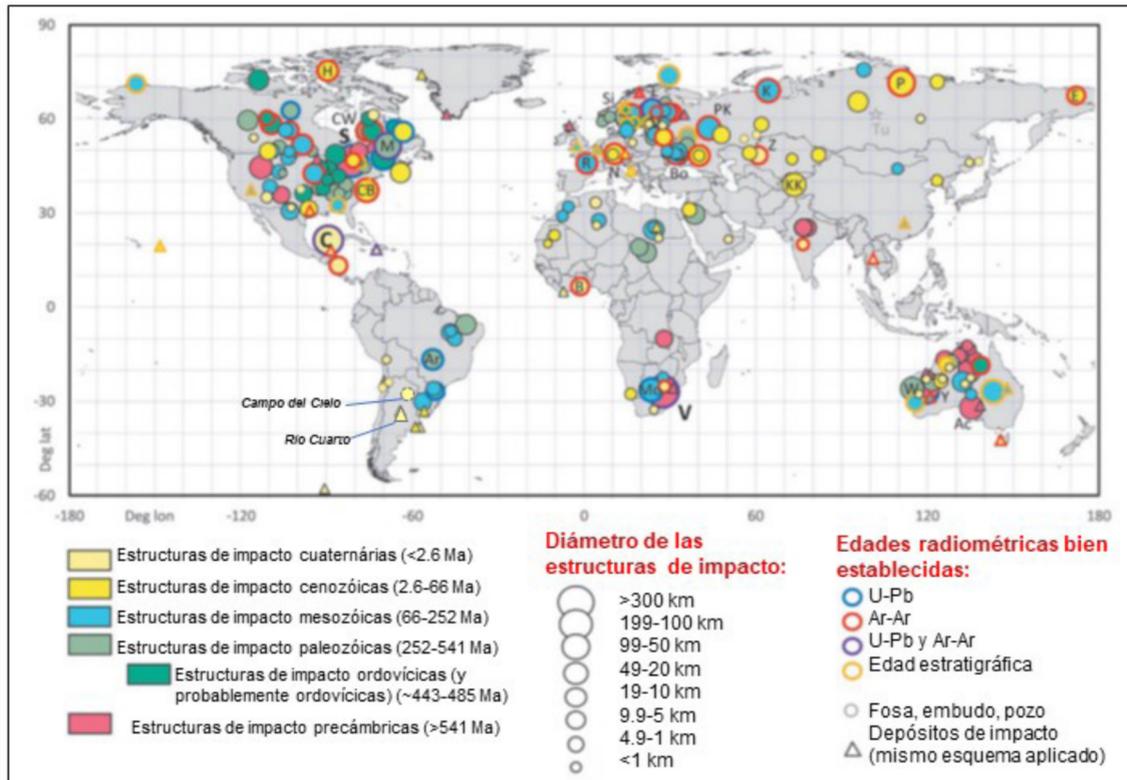


Figura 1. En este mapamundi se resume la cantidad de estructuras de impacto, un total de 200 estructuras de impacto confirmadas hasta el año pasado en nuestro planeta (adaptada de Schmieder y Kring, 2020). En la leyenda, a la izquierda, la edad de las mismas está especificada en colores, en el centro está indicado el diámetro y a la derecha está especificado el método de datación radiométrico utilizado para estimar la edad de las mismas.

de anomalías magnéticas o gravimétricas circulares a escala regional. Sin embargo, estas estructuras circulares podrían estar relacionadas con otros procesos geológicos comunes en nuestro planeta, por lo que el descubrimiento de estas anomalías solo indica la posible existencia de una estructura de impacto, pero no la diagnóstica.

Así, una anomalía geofísica sin explicación aparente, nos obligará a movernos hasta el lugar para ahondar en nuestra búsqueda, como detectives planetarios. Si bien la forma circular, ya es un indicio de que pueda tratarse de una estructura de impacto, algunas características de las mismas, llamarán la atención de cualquier científico que se encuentre en el lugar. Por ejemplo, el científico se preguntaría: ¿los bordes o la parte central de esta estructura circular están sobreelevados?, ¿se encuentran rocas “extrañas” (rocas fuertemente deformadas, por ejemplo) en el sentido de no ser comunes en ese lugar? Pues bien, si la respuesta es afirmativa, evidentemente deberemos buscar las llamadas **evidencias diagnósticas**, es decir, aquellas características producidas solo por un proceso de craterización por impacto. Estas evidencias son de escala macroscópica o deben ser buscadas en el microscopio o a través de análisis químicos. Las mismas serán explicadas, usando como caso de estudio El Domo de Araguinha. Así,

las aproximadamente 200 estructuras de impacto mostradas en la Figura 1, sin excepción, presentan alguna de las evidencias diagnósticas que nos permiten decir con total seguridad, que la estructura de impacto fue confirmada.

¿Y después? Una vez que la misma fue diagnosticada, partimos hacia el próximo conjunto de preguntas: ¿Cuándo ocurrió el impacto?, ¿qué tamaño tiene la estructura de impacto? ¿qué tamaño tenía el meteorito? ¿cuál fue la máxima temperatura y presión alcanzada?, ¿cuáles fueron las consecuencias ambientales? ¿este evento de impacto estuvo relacionado con alguna extinción en masa?

El Domo de Araguainha

A aproximadamente 760 km de la capital de Brasil, Brasilia, hacia el suroeste, se llega a la mayor estructura de impacto de América del Sur, conocida como “*O Domo de Araguainha*”. La estructura tiene 40 km de diámetro (Figura 2A), ocupa un área de 1.300 km² y es clasificada como una **estructura de impacto compleja**, es decir se caracteriza por una parte central sobreelevada estratigráficamente (*central uplift*), de aproximadamente 12 km de diámetro. Esta estructura tiene como coordenadas centrales 16°45’S y 52°59’O y es dividida por el río Araguaia, por lo que una porción de la misma está en el estado de Mato Grosso (O) y la otra porción está del lado del estado de Goiás (E). Una de las dos ciudades más pequeñas de Brasil, Araguainha, con aproximadamente 1.000 habitantes ubicada en el *central uplift*, le cede el nombre.

El Domo de Araguainha fue confirmado como una estructura de impacto en la década del 70 cuando Dietz y French (1973) publicaron un trabajo corto en Nature sobre dos estructuras de impacto erosionadas en América del Sur, reconocidas a partir de las recién salidas imágenes de satélite LandSat. Anteriormente Dietz et al. (1973) publicaron un trabajo en el que describieron la existencia de evidencias diagnósticas de un impacto meteorítico para el Domo de Araguainha, los llamados *shatter cones* (en español podría traducirse como “conos rotos”) y estructuras planares en el mineral cuarzo (SiO₂).

Geología y división estructural

El impacto ocurrió hace aproximadamente 252 Ma atrás (Hauser et al., 2019), en la parte nordeste de lo que entonces era la cuenca de Paraná. Las **rocas afectadas** por el impacto, fueron la secuencia paleozoica (rocas entre 415 y 250 Ma) de la cuenca y probablemente el basamento cristalino (de aproximadamente >480 Ma) de la misma (Figura 2A). Estas rocas afectadas por el impacto corresponden a rocas graníticas intruidas en rocas metamórficas muy antiguas, y también la columna sedimentaria que cubre a estas rocas, y que se depositó durante prácticamente todo el Paleozoico.

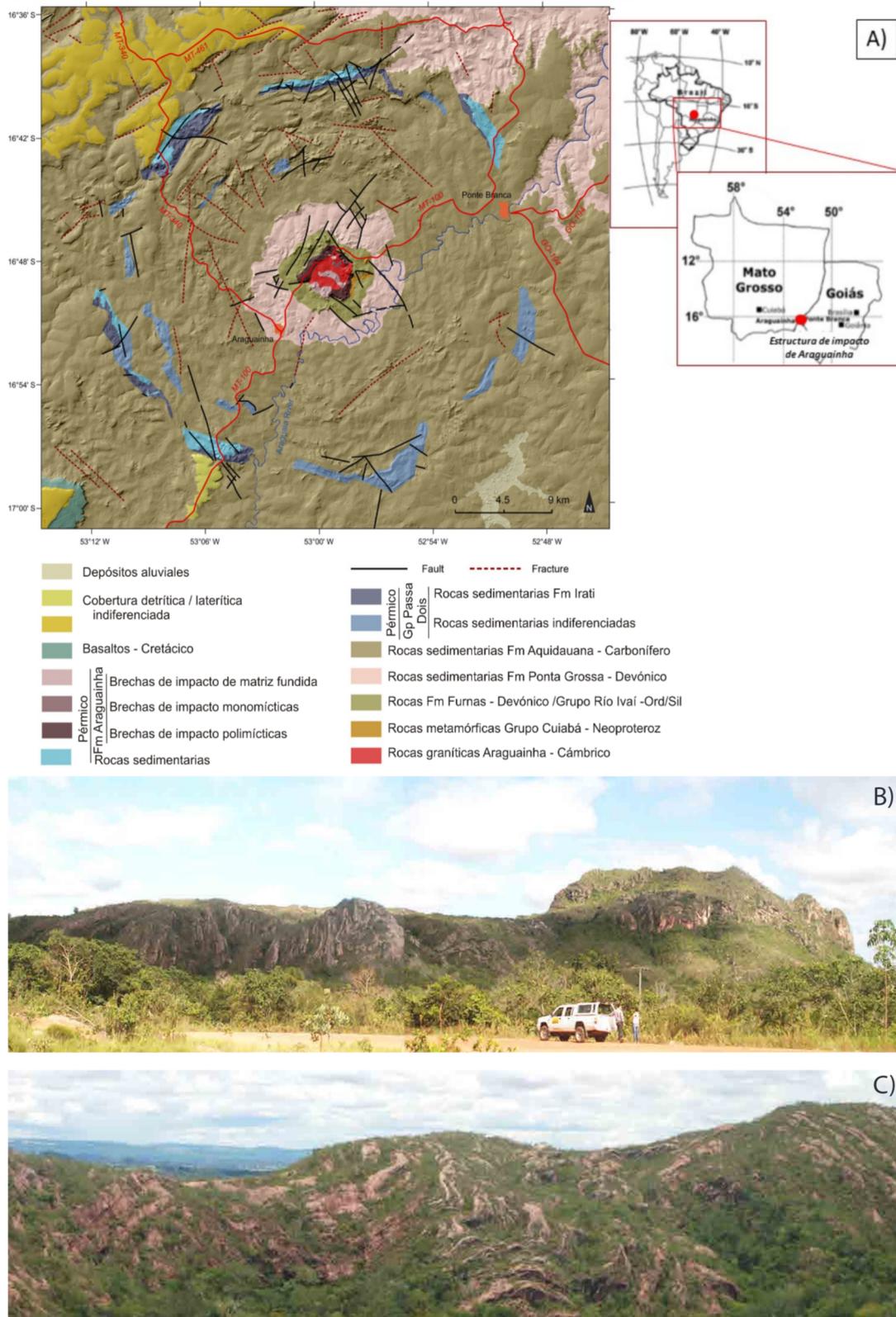


Figura 2. A) Localización de la estructura de impacto de Araguaiha en la parte central de Brasil y mapa geológico sobrepuesto a TanDEM-X DEM (Crósta et al., 2019 y Gottwald et al., 2020). Aspecto de la deformación en el anillo interno: B) Sierra de La Arnica y C) Morro Pelado. Los estratos de la Formación Furnas están fuertemente verticalizados y deformados.

Estructuralmente, Araguainha puede ser dividida en una parte central, “*central uplift*”, de aproximadamente 12 km de diámetro, en una cuenca anular y en una zona de dos anillos externos.

El central uplift está formado por un **pico central** de entre 4-5 km de afloramientos del granito alcalino feldespático y por las rocas de caja del Grupo Cuiabá. Las rocas que caracterizan el central uplift son las más antiguas y muestran indicios de haber experimentado diferentes metamorfismos², de los cuales el último ocurrió en el Pérmico (es una de las divisiones del tiempo geológico y que corresponde al último periodo de la Era Paleozoica).

Este pico central está rodeado por un cinturón discontinuo de brechas polimícticas (rocas sedimentarias compuestas por fragmentos de rocas impactadas de diferente origen), seguido por 1-2 km de un **anillo interno** (*inner collar*) de rocas altamente deformadas correspondientes de la Formación Furnas. El anillo interno está segmentado por fallas en varios megabloques que se expresan topográficamente como la Sierra de Árnica, localizada en el sector nordeste (Figura 2B) y el Morro Pelado (Figura 2C) localizado al sur y que alcanzan de decenas a centenas de metros y representan una de las evidencias más impactantes de deformación por impacto en esta área. Los procesos geológicos internos pueden producir pliegues de las mismas dimensiones o quizás mayores, pero la formación de los mismos demorará mucho tiempo, de cientos a millones de años.

La **cuenca anular** se encuentra entre el central uplift y los anillos externos. El límite entre el central uplift y la cuenca anular estaría localizado en el último afloramiento (exposición de roca en la superficie) en el cual se observa la inversión estratigráfica debida al impacto, es decir, donde las rocas más antiguas (filitas del Grupo Cuiabá, Neoproterozoico) fueron superpuestas sobre aquellas más jóvenes (pelitas de la Formación Ponta Grossa, Devónico). Como Araguainha es una estructura erosionada, esta inversión estratigráfica no llega a ser observada. Las principales unidades que se encuentran en la cuenca anular son los estratos de las formaciones Ponta Grossa y la parte inferior de la Formación Aquidauana (Carbonífero).

Existen dos anillos externos, uno a 10-12 km y el otro a 14-18 km desde el centro de la estructura. El colapso del central uplift, unos minutos después del impacto, generó un movimiento de las capas de rocas hacia afuera y su deformación, lo cual se observa muy bien en estos anillos. Los anillos externos se presentan segmentados por fallas normales. En los mismos se observa en contacto la Formación

³Metamorfismo: proceso geológico que genera la recristalización de una roca por aumento de la presión y temperatura, en estado sólido. Las rocas resultantes se denominan rocas metamórficas.

Formación de una estructura de impacto compleja

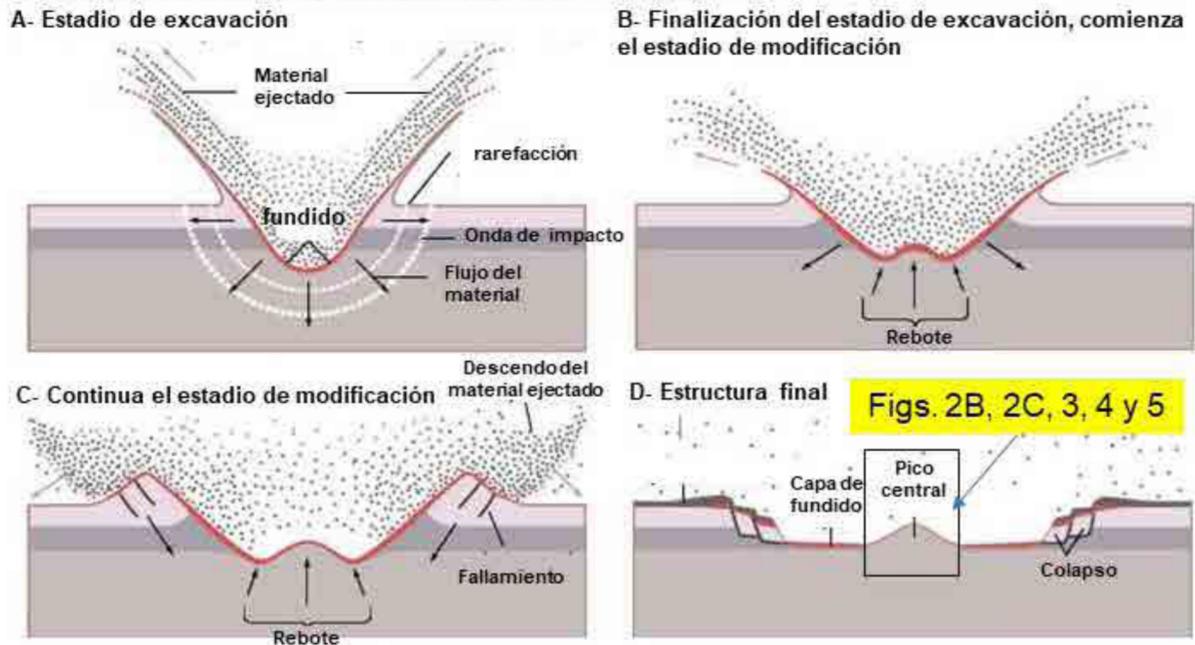


Figura 3: Las cuatro etapas principales en la formación de una estructura de impacto compleja. La misma se caracteriza por la elevación central e por una serie de anillos concéntricos. Modificada de la Enciclopedia Británica (<https://www.britannica.com/science/meteorite-crater/The-impact-cratering-process>).

Aquidauana (Carbonífero) con el Grupo Passa Dois (Pérmico).

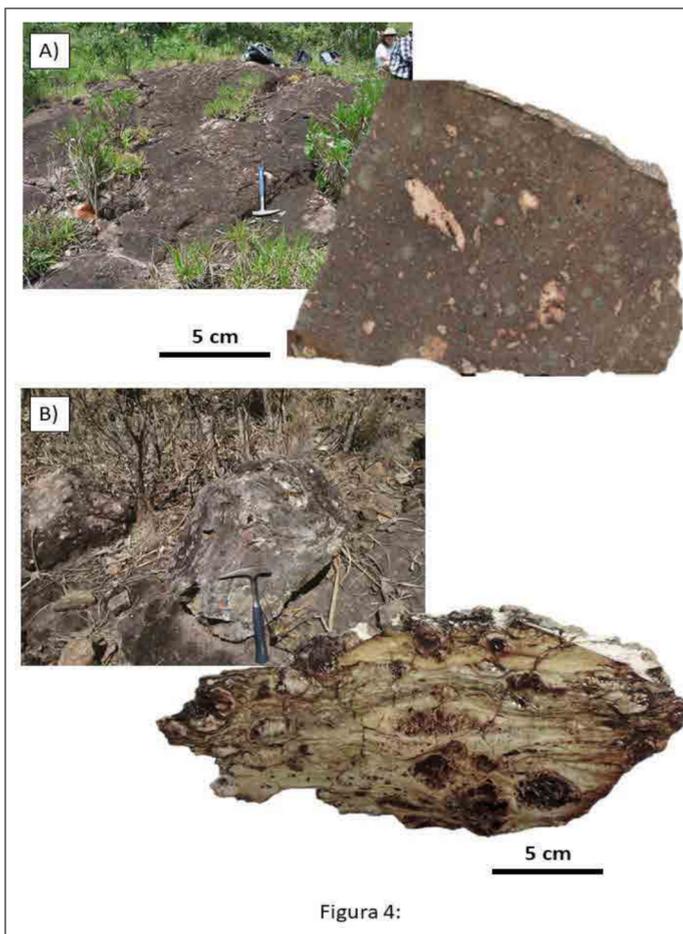
En la Figura 3, se muestra de forma esquemática las cuatro etapas en la generación de una estructura de impacto compleja: A) Estadio de excavación y generación de fundido, B) Finalización del estadio de excavación y comienzo del estadio de modificación, C) Continúa el estadio de modificación con la caída del material eyectado y D) Estructura final, en la que se observa la formación del pico central y los anillos concéntricos.

Impactitas

Las **impactitas** son todas aquellas rocas producidas o modificadas durante un evento de impacto meteorítico. En el caso de la estructura de impacto de Araguinha, fueron reconocidas brechas de impacto con matriz fundida (*impact melt rock*), depósitos de brechas polimícticas de impacto, suevitas (*suevite*) y brechas monomícticas.

En función de la composición y modo de ocurrencia fueron reconocidas dos tipos de brechas de impacto con matriz fundida: las denominadas de **tipo-I** (Figura 4A), que tienen como precursor al granito

alcalino feldespático y son por lo tanto de composición granítica, afloran como diques rojos intruidos en el granito o como mantos; y las de **tipo-II** (Figura 4B), que tiene como precursor areniscas y conglomerados y son de composición silícica y se encuentran donde las de tipo-I están en contacto con el basamento o como blobs (porciones redondeadas) de fundido dentro de la brecha polimíctica de impacto (suevitas). Los diques³ tienen orientación errática y son subverticales, normalmente tienen una extensión de entre 10-100 cm y siempre intruyen (es decir se introducen dentro) al granito. Contienen una mezcla cataclástica (tipo de roca fracturada por deformación), porciones angulosas de material granítico con metamorfismo de impacto y material granítico sin metamorfismo en una matriz fundida. Las de tipo II, se presentan en campo con estructuras de bandeamiento por flujo y en el microscopio, se observa que está compuesta por más de 90% de cuarzo, recrystalizado desde un vidrio.



Visto que **brechas polimícticas de impacto** se forman en la etapa de excavación y eyección de las unidades afectadas por el impacto, las mismas pueden tener clastos de las diferentes unidades de la cuenca de Paraná. Afloran como un cinturón alrededor del granito alcalino feldespático, las flitas del Grupo Cuiabá y los diques rojos que lo intruyen. En el caso de que en la misma también se encuentre material fundido (normalmente de tipo-II) reciben el nombre de **suevita**.

Las evidencias del metamorfismo de impacto en el Domo de Araguainha

Existen algunas características comunes a todas las estructuras de impacto confirmadas en nuestro planeta. Las mismas pueden ser de escala mesoscópica hasta escala microscópica.

Figura 4: Características en campo y en muestra de mano de las brechas de impacto con matriz fundida que afloran en el central uplift.

A) de tipo-I, en la muestra de mano se observa que son rocas porfíricas, con cristales de cuarzo y de feldespato potásico estirados y parcialmente fundidos (*schlieren*) inmersos en una matriz afanítica rica en hematita (Fe_2O_3). Tienen como precursor al granito. B) de tipo-II, en la muestra de mano todavía es posible distinguir los clastos de cuarzo en el medio de una matriz fundida con bandeamiento por flujo. En este caso el precursor probablemente fue un conglomerado.

³Dique: cuerpo tabular compuesto por roca fundida por el impacto.

A seguir serán descriptas estas evidencias tomando como caso de estudio El Domo de Araguainha.

Los **Conos rotos** (*Shatter cones*) son estructuras cónicas que ocurren como agregados de conos en las rocas (Figura 5B). Se caracterizan por la presencia de estrías en la superficie que nacen en el ápice del cono y terminan en la base de cada cono. Estas estructuras nunca fueron encontradas asociadas a procesos volcánicos, tectónicos o sísmicos. Como siempre fueron asociados a fenómenos de impacto, la presencia de *shatter cones*, es considerada una evidencia diagnóstica en la confirmación de estructuras de impacto antiguas. En la estructura de impacto de Araguainha, la mejor exposición de los *shatter cones* es en el sector noroeste del central uplift. Se trata de un afloramiento de filitas (roca metamórfica de bajo grado) asignados al Grupo Cuiabá cortado por la ruta MT-100, que une las ciudades de Araguainha y Ponte Branca. Pueden ser reconocidos de forma aislada en áreas donde la brecha polimíctica está en contacto con el basamento de filitas.

Las **Microestructuras planares** (*Planar Deformation Features - PDFs*), reconocidas en el microscopio, son simplemente conjuntos de planos estructurales controlados cristalográficamente, que tienen un espesor de entre 1-2 μm y una distancia de 10 μm entre un plano y otro. Estos planos pueden llegar a penetrar todo el cristal o a menudo, como ocurre en areniscas, ocurren solo en la superficie del cristal. Como solo son producidos por metamorfismo de impacto, entran en la clasificación de las evidencias diagnósticas e indican presiones de entre 10 y 30 GPa (que equivalen a 100 - 300 kbar). El mineral más común que presenta estas microestructuras planares es el cuarzo, en él pueden ser observado conjuntos de dos, tres o más sets de PDFs. En Araguainha, fue observado tanto en las muestras de granito como en las de brechas polimícticas (Figura 5A, detalle) y brechas de impacto con matriz fundida. Fueron también identificados en feldespatos potásico y circón.

Circón (ZrSiO_4) con textura granular (*granular zircon*), se usa para indicar agregados policristalinos del mismo mineral circón de aproximadamente 5-10 μm que se forman en la superficie del mineral circón (Figura 5C). Son interpretados como producto de la recrystalización de un vidrio diaplético (de la palabra griega diaplesso = destruir golpeando), producido por las altas temperaturas y presiones alcanzadas durante el metamorfismo de impacto. El término vidrio diaplético fue introducido para describir una fase amorfa sin vesículas ni estructuras de flujo. Los límites del mineral primario, su composición química y zonificación se conservan.

Presencia de **material meteorítico**; normalmente se realizan análisis químicos e isotópicos, con el objetivo de investigar la presencia de material meteorítico en las brechas de impacto con matriz fundida. Los análisis químicos podrán ayudar a identificar la presencia de elementos no comunes en las rocas de

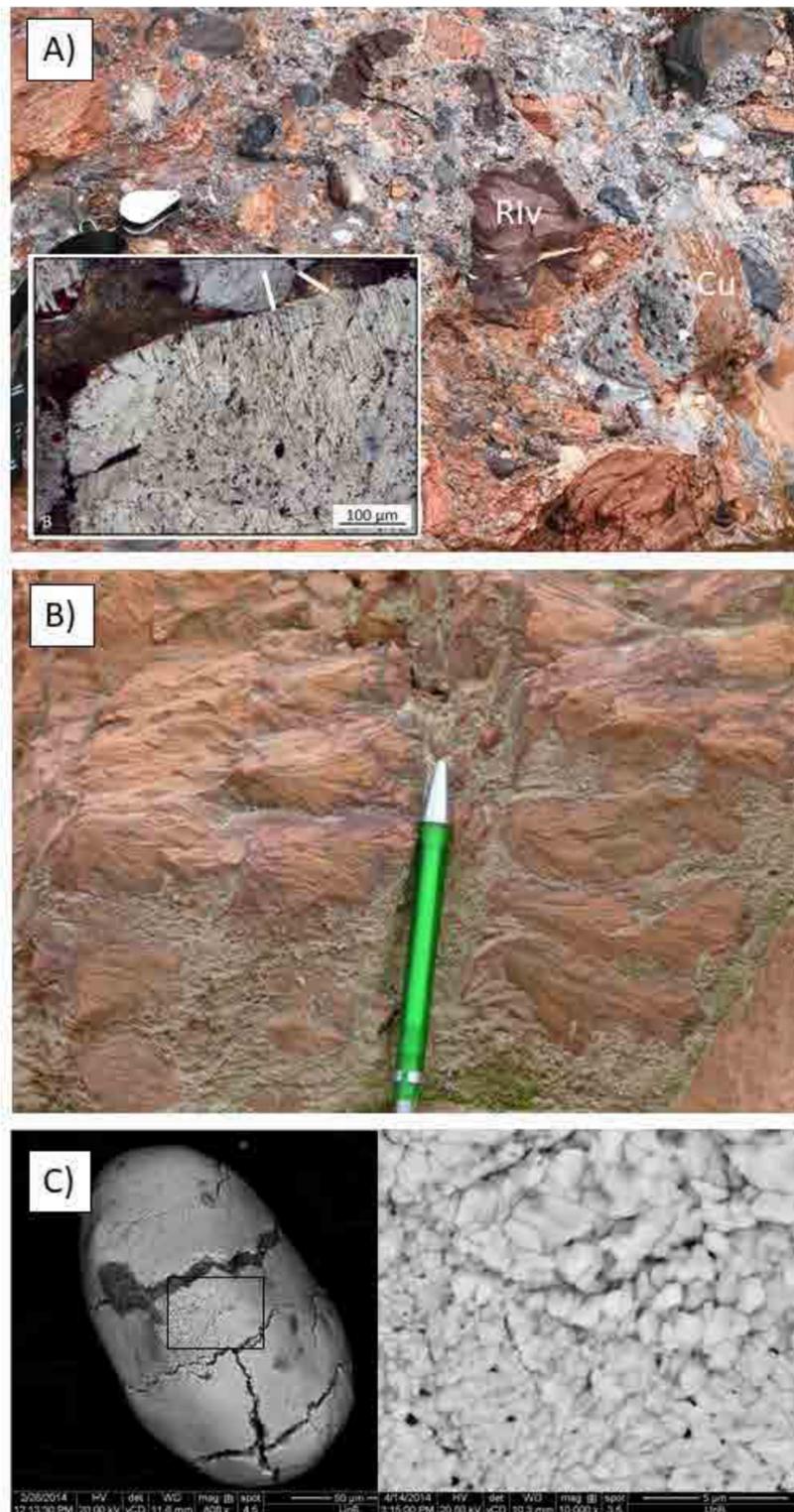


Figura 5: A) Aspecto de la brecha polimíctica que aflora en el sector norte del central uplift. Clastos del Grupo Rio Iváí (Riv) y del Grupo Cuiabá (Cu) son observados. En detalle se observa un cristal de cuarzo de la brecha polimíctica al microscopio. En él es posible apreciar los planos de PDFs en por lo menos dos sets. B) *Shatter cones* en las filitas del Grupo Cuiabá. C) Imagen de un cristal de circón, tomada en el microscopio electrónico de barrido. A la derecha se muestra un detalle de estos agregados policristalinos desarrollados en la superficie de este cristal de circón.

nuestro planeta, como el Iridio (Ir) que forma parte del Grupo de los elementos del platino. Para poder investigar cuál fue la composición del meteorito (¿rocoso, férrico?) se utiliza el par isotópico Re-Os. En Araguainha, fueron realizados estudios de este tipo, pero hasta la fecha, no fue encontrado ningún resquicio del meteorito en términos de Ir o razones isotópicas que permitan concluir sobre el tipo de meteorito.

Edad del impacto y consecuencias ambientales para el final del Pérmico

Varias edades radiométricas fueron obtenidas en las brechas de matriz fundida del Domo de Araguainha. El principal método utilizado fue el de U-Pb en circón y en monacita (ver [Arzadún, 2020. Temas B&GNOA, vol. 10, nº 3](#)), dos minerales accesorios comunes en estas brechas. Las edades obtenidas oscilan entre 251 y 259 Ma. Teniendo en cuenta el error analítico de las mismas, el evento de impacto habría ocurrido al final del Pérmico (aprox. 251,9 Ma, *International chronostratigraphic chart*, <https://stratigraphy.org/timescale/>). Al final del Pérmico, la mayor extinción en masa habría terminado con prácticamente el 90% de las especies marinas y 70% de los vertebrados terrestres. Algunos autores como Tohver et al. (2013) habrían relacionado este evento de impacto con esta extinción. Según ellos, la actividad sísmica asociada habría permitido la liberación del gas metano desde las rocas ricas en materia orgánica de la Formación Irati (Grupo Passa Dois), con el subsiguiente efecto invernadero.

No son muy claras las causas que habrían producido esta gran extinción en masa, pero la configuración del supercontinente de Pangea, las condiciones climáticas y el extenso vulcanismo de las *Siberian Traps*, seguramente influyeron en conjunto. Así probablemente el impacto de Araguainha, con la generación de una estructura de impacto de solo 40 km de diámetro, con la liberación de gas metano a la atmósfera, podría entrar en la lista de los causantes de la gran extinción en masa del final del Pérmico.

Conclusiones

El Domo de Araguainha ha sido investigado significativamente, sin embargo, todavía existen varias preguntas no resueltas, como ser: ¿cuál fue la penetración del proyectil en las rocas afectadas?, ¿cuál fue la máxima temperatura y presión alcanzada durante el impacto?, ¿cuál fue el verdadero diámetro de la estructura de impacto, fue un impacto oblicuo o vertical?, ¿cuál es el verdadero nivel de erosión actual de la estructura?, ¿cuál sección de la columna estratigráfica mostrada habría contribuido significativamente en la formación de las brechas de matriz fundida? Y la lista continúa. Debido a la preservación de las impactitas, la estructura de impacto de Araguainha es un excelente laboratorio natural no solo para entender los procesos de craterización por impacto, sino también una herramienta pedagógica natural.

En Argentina, existen dos lugares relacionados con eventos de impacto, Campo del Cielo (Chaco) y Río Cuarto (Córdoba). El primero reúne pequeños cráteres y "*penetration funnels*" de indiscutido origen por impacto, debido a la asociación con fragmentos de meteoritos de hasta 37 toneladas. Por el contrario, el origen de las numerosas estructuras alargadas en Río Cuarto, es alternativamente relacionado con impacto oblicuo o a estructuras de ablación por viento. Seguramente hay varias estructuras de impacto esperando ser descubiertas en Argentina y en América del Sur. Para eso, la comunidad científica sudamericana necesita de más personas abocadas al estudio de estructuras de impactos, el resultado de un proceso planetario.

REFERENCIAS

- ARZADÚN G. 2020. La edad de las rocas. Temas de B&G NOA, 10 (3): 7-15.
- CRÓSTA AP, WU REIMOLD, MAR VASCONCELOS, N HAUSER, GJG OLIVEIRA, MV MAZIVIERO, AM GÓES. 2019. Impact cratering: The South American record – Part I. *Chemie der Erde-Geochemistry*, online first, <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2018.06.001>
- DIETZ RS., 1972. Shatter cones (shock fracturs) in astroblemes, in *Terrestrial Cryptoexplosion Features*. XXIV International Geol. Cong., Montreal, Sec 15, pp. 112-118.
- DIETZ RS., BM FRENCH. 1973. Two probable astroblemes in Brazil. *Nature* 244:561-562.
- GOTTWALD M, T KENKMANN, WU REIMOLD. 2020. *Terrestrial Impact Structures, The TanDEM-X Atlas, Part 1 and 2*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 608 pp. (ISBN 978-3-89937-261-8).
- HAUSER, N., WU REIMOLD, A CAVOSIE, AP CRÓSTA, WH SCHWARZ, M TRIELOFF, C DA SILVA MAIA DE SOUZA, L PEREIRA, EN RODRIGUES, M BROWN. 2019. Linking shock textures revealed by BSE, CL and EBSD with U-Pb data (LA-ICP-MS and SIMS) in zircon from the Araguinha impact structure, Brazil. *Meteoritics & Planetary Science* 54, 10, 2286–2311, doi: 10.1111/maps.13371
- SCHMIEDER M., DA KRING. 2020 Earth's Impact Events Through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits. *Astrobiology*, vol. 20, 1. doi.org/10.1089/ast.2019.2085
- TOHVER E., C CAWOOD, C RICCOMINI, C LANA, RIF TRINDADE. 2013. Shaking a methane fizz: Seismicity from the Araguinha impact event and the Permian–Triassic global carbon isotope record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 387:66–75.



Emilio Barrabino

Geólogo

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado en Ciencias Geológicas

en la escuela de postgrado de la Facultad de Ciencias

Naturales de la Universidad Nacional de Salta

Dirección: Dr. Raúl E. Seggiaro (IBIGEO, UNSa-CONICET)

Codirección: Dr. Juan L. Alonso (Universidad de Oviedo,

España)

Tectónica de la Cordillera Oriental entre el valle de Alfarcito y Abra de Lipán. Quebrada de Humahuaca

La Cordillera Oriental se caracteriza por la exposición de un sustrato compuesto por un basamento precámbrico y paleozoico, deformado por los ciclos orogénicos Pampeano y Famatiniano con una cobertura mesozoica – cenozoica deformada durante el ciclo Andino.

Por un lado, la tectónica paleozoica en el Noroeste argentino ha sido objeto de estudio durante los últimos 50 años sin llegar consenso general en cuanto al carácter y edades de deformación. Por otro lado, numerosos estudios han tratado sobre la influencia de las estructuras del rift cretácico en la localización de fallas inversas durante el desarrollo de la faja plegada y corrida andina de doble vergencia. Sin embargo, son escasos los trabajos que vinculan estructuras paleozoicas y su rol en la construcción del edificio de Los Andes.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es analizar la evolución tectónica desde el Paleozoico al Cenozoico de la Cordillera Oriental en la región comprendida entre el Valle de Alfarcito-Punta Corral (~23°39'S – 65°22'O) y el Abra de Lipán-San Miguel de Los Colorados (~23°39'S - 65°41'O). La metodología empleada consistió en el levantamiento de detalle de datos estructurales, estratigráficos y paleontológicos en el terreno que dieron como resultado un mapa geológico a escala 1:50.000.

El análisis estructural se realizó mediante la confección de secciones geológicas balanceadas, restauraciones palinspásticas, modelados cinemáticos con software 2D (forward-modelling) y modelos analógicos experimentales. La restauración de secciones geológicas a la base de los depósitos de postrift del Subgrupo Balbuena, fue uno de los elementos esenciales para el reconocimiento de las estructuras paleozoicas.

El procesamiento integral de los datos permitió diferenciar dos grandes ciclos de inversión tectónica parcial positiva, uno en el Paleozoico y otro en el Cretácico-Cenozoico.



Vista del Subgrupo Balbuena en el borde oriental del valle de Alfarcito - Punta Corral (Jujuy)

El primer ciclo se inicia con la expansión de la cuenca ordovícica, la cual se encuentra bien documentada en la falla normal Chalala-Lagunitas con orientación meridiana e inclinación hacia el oeste, vinculada a la fase extensional Tumbaya. La inversión tectónica paleozoica se produce con las sucesivas fases compresivas Guandacol, Oclóyica y Chánica. Las típicas geometría en arpón y plegamiento tipo *buttressing* contra el plano preexistente de la falla Chalala-Lagunitas constituyen evidencias de reactivación tectónica, sumado a la generación del retrocorrimiento Lipán de vergencia occidental y el corrimiento en atajo Alfarcito de vergencia oriental.

El segundo ciclo de inversión se produce durante la implantación del rift intracontinental en el Cretácico y la posterior compresión andina. Durante la etapa de sinrift, las estructuras paleozoicas Lipán y Chalala-Lagunitas fueron reutilizadas para la localización de fallas normales de rift y hemigrabenés,

ubicados en una posición marginal de la Dorsal Salto-Jujeña. Posteriormente, en la compresión andina se produce el plegamiento del Subgrupo Balbuena, y la reactivación tectónica positiva de fallas normales de rift.

La deformación bajo los afloramientos sintectónicos de la Formación Casa Grande indica un acortamiento pre Eoceno en el margen de la Puna con la Cordillera Oriental, producto de corrimientos con vergencia occidental a una profundidad de despegue de 12 km. Con el avance del frente orogénico hacia el este se producen fallas inversas de alto ángulo con vergencia oriental que elevan la Cordillera Oriental sobre las Sierras Subandinas a los 9 Ma. Por último, se desarrollan corrimientos fuera de secuencia en el interior de la cuenca de piggy back de la Quebrada de Humahuaca, que afectan los sedimentos cuaternarios.

Finalmente, los resultados de esta tesis contribuirían a entender las edades de deformación de la tectónica paleozoica y las estructuras generadas en ese periodo. Ya que estas ejercen un control de primer orden en el estilo estructural andino, e imponen la doble vergencia a partir de la inversión tectónica positiva de una falla normal datada para el Ordovícico.

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 11, Número 1 Abril 2021

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Tel: 54 (0) 387 4931755
ibigeotemas@gmail.com