

Las montañas que rodean el valle de Lerma (Salta)

Leonardo Elías¹, Carolina Montero-López¹

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa – CONICET). e-mails: leoelias9008@gmail.com, cmontero@conicet.gov.ar

El valle de Lerma, donde se sitúan la capital de la provincia de Salta y otras ciudades aledañas con menor densidad de población (Figura 1), es una depresión intermontana es decir, rodeada de montañas que alcanzan elevaciones por encima de los 3.000 m s.n.m., siendo los más altos los cerros Manzano y Malcante (con 4.358 m s.n.m. y 5.226 m s.n.m. respectivamente) ubicados hacia el oeste del valle (Figura 1). Es muy común preguntarnos: *¿Cuándo se formaron y elevaron estas montañas?* Para responder a ese cuestionamiento, primero hay que remontarse en el pasado geológico por varios millones de años para hablar de la formación de la cadena de Los Andes y finalmente del valle de Lerma...

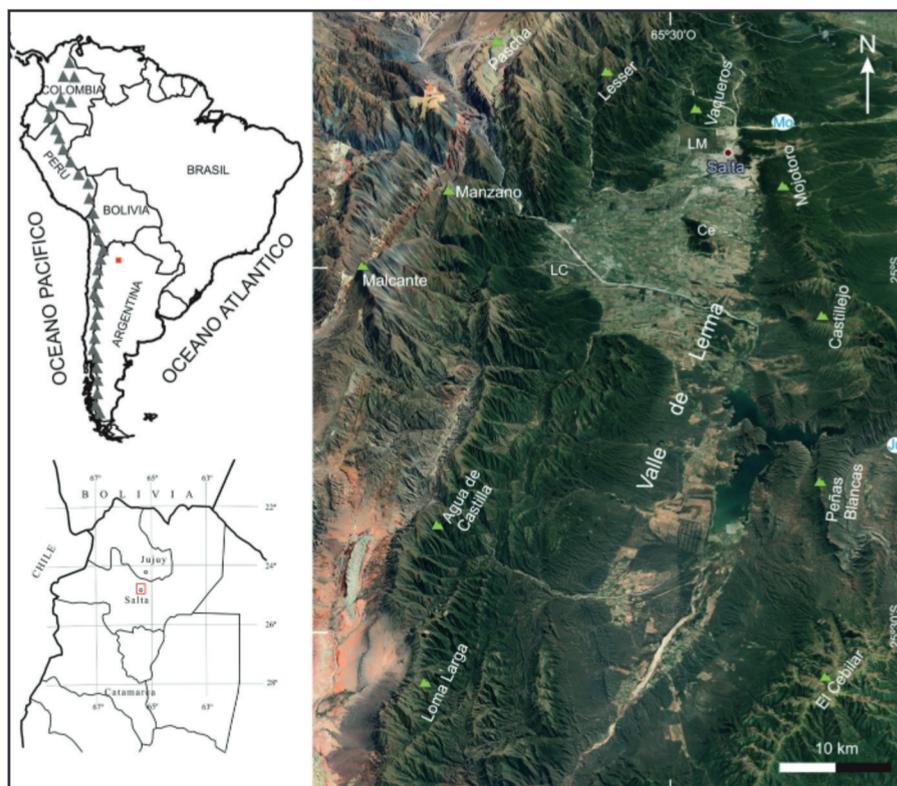


Figura 1. Ubicación del valle de Lerma (provincia de Salta) y sierras circundantes. LM: Lomas de Medeiros; LC: Lomas de Carabaja; Ce: San Miguel de Cerrillos; Mo: río Mojotoro; Ju: río Juramento. A la izquierda mapas de ubicación donde el recuadro rojo indica la ubicación del valle de Lerma.

La cordillera de los Andes es un cordón montañoso que se extiende a lo largo de América del Sur desde Colombia hasta la Patagonia de Chile y Argentina (Figura 1). Su origen es tectónico, es decir está vinculado al movimiento de las placas tectónicas de Nazca-Farallón y Sudamericana. La placa oceánica de Nazca-Farallón se mueve hacia el este y al encontrarse en su camino con la placa continental Sudamericana –la cual se mueve hacia el oeste–, se hunde (o “subducta” en términos geológicos) por debajo de ésta (Figura 2), debido a la diferencia de densidad (ver [Hongn y García, 2011: TBGNoa, Vol. 1 \(1\): 21-31](#)). En este proceso, las fuerzas actuantes generan compresión, lo que deriva en la formación de una cadena de montañas, como es el caso de Los Andes.

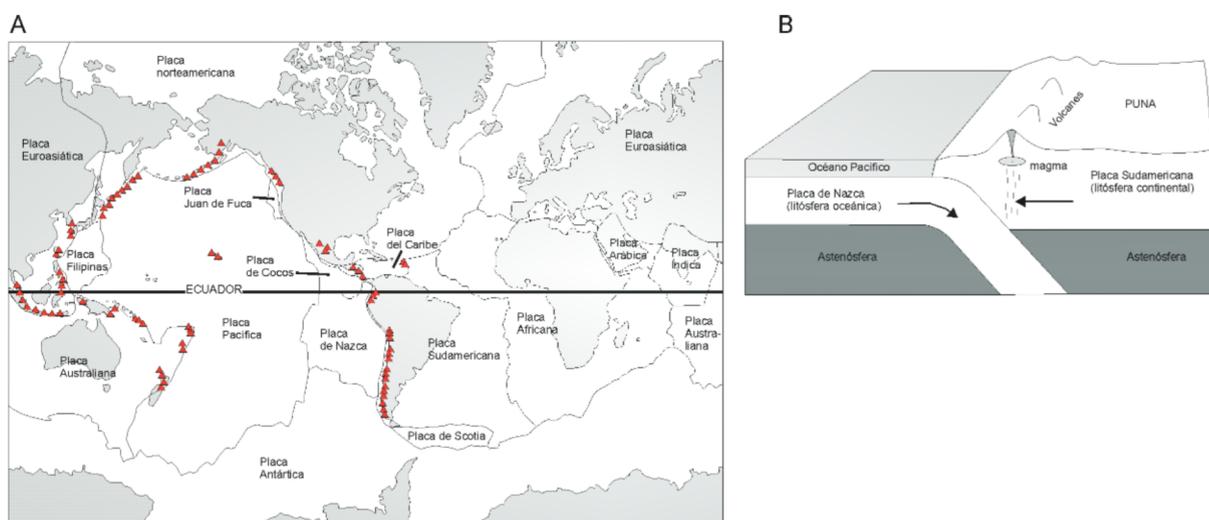


Figura 2. a) Mapa de distribución de las placas tectónicas. b) Bloque diagrama del proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana y formación de la cordillera de Los Andes. Tomado de Guzmán y Montero ([2011: TBGNoa, Vol. 1 \(1\): 32-39](#))

¿Cómo estudian los geólogos/as esta evolución?

Para llegar a entender cómo evolucionó el relieve en el pasado geológico, los geólogos/as se apoyan en diferentes ramas de la geología u otras ciencias como la paleontología, cuya integración ayuda a interpretar y reconstruir la historia del paisaje (Figura 3). Algunas de estas ramas son la petrología, la geología estructural, la geoquímica (ver Cuadro). En una primera etapa, el geólogo/a va al campo y estudia las rocas, es decir determina, observando su textura y minerales que las componen, si son de origen ígneo, metamórfico o sedimentario (ver Cuadro y figura 3); en el caso de que sean de origen sedimentario, estudia sus características para determinar si los sedimentos fueron depositados en un ambiente de tipo marino o continental. Realizada esa primera distinción, existen características específicas para asignar su origen a un ambiente de depositación, por ejemplo, en el caso de los sedimentos continentales,

a lagos, ríos o abanicos aluviales. La geoquímica a su vez provee herramientas para entender y caracterizar las condiciones del ambiente de formación de las rocas además de ayudar en la interpretación de las áreas fuente, es decir de las áreas que aportan los sedimentos que posteriormente se depositan para formar las rocas sedimentarias.

Por otro lado, los movimientos tectónicos que ocurren en el interior de la tierra, quedan plasmados en las rocas, y generan deformaciones de dos tipos (Figura 3): 1- deformación dúctil, donde la roca se deforma generando pliegues, o bien 2-deformación frágil, donde la roca se fractura. El geólogo/a en el campo, presta atención a estos indicadores y toma datos estructurales para después interpretar la historia tectónica; por ejemplo, la orientación de estructuras formadas en la roca por los movimientos tectónicos como plegamientos o fracturas, arroja una idea de cuál era la orientación de los esfuerzos que generaron la deformación.

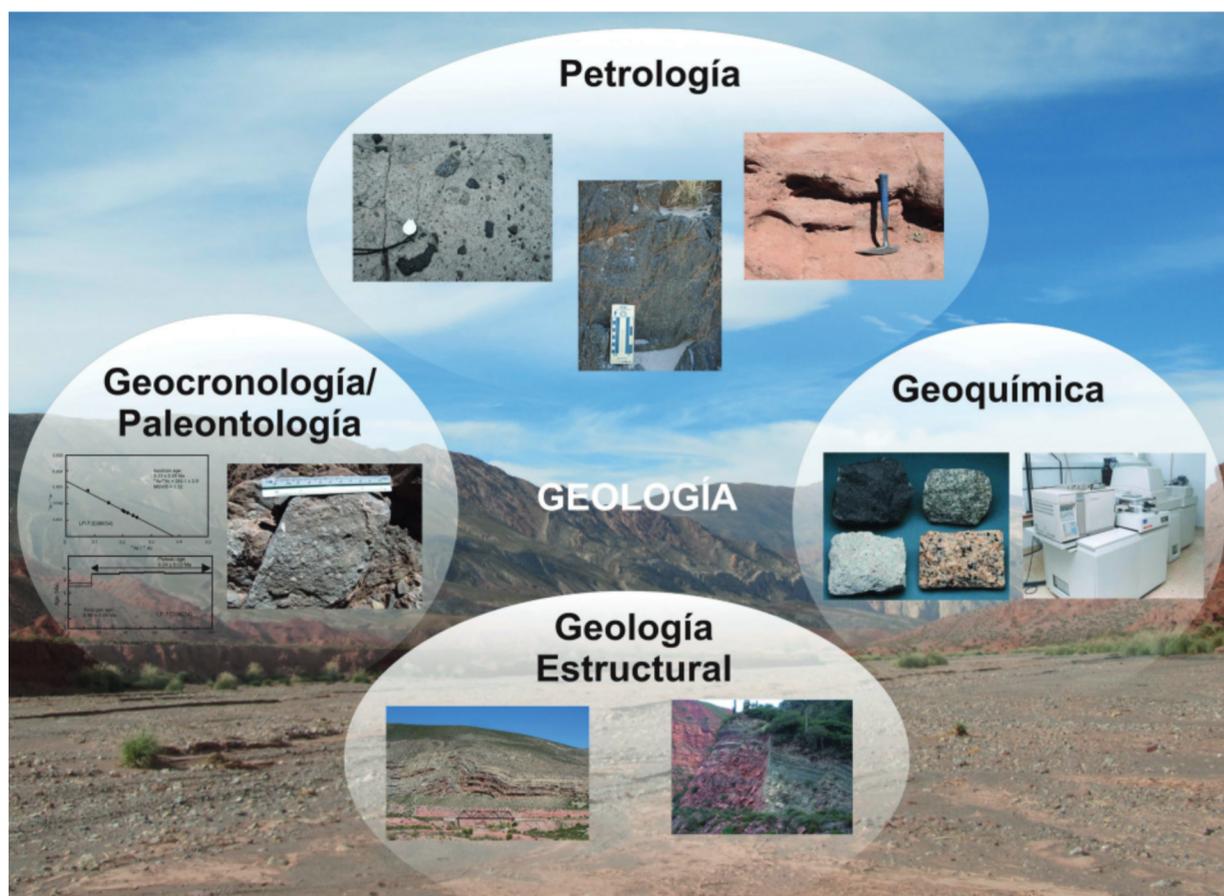


Figura 3. Paleontología y ramas de la Geología que se integran para el estudio de la evolución del relieve. Petrología: roca volcánica (izquierda), roca metamórfica (centro) y sedimentaria (derecha); Geocronología/Paleontología: gráficos de edades absolutas (izquierda) y fósil de gasterópodo en rocas de aproximadamente 65 Ma (derecha); Geología estructural: pliegue (izquierda) y falla (derecha); Geoquímica: muestras de rocas para analizar su composición química (izquierda) y equipo para efectuar el análisis (derecha).

PETROLOGÍA: Ciencia encargada del estudio de las rocas –ígneas, metamórficas y sedimentarias-, los procesos involucrados en su origen, su evolución y transformaciones.

Rocas ígneas: Se forman por la cristalización de material fundido o parcialmente fundido (magma). Cuando la cristalización ocurre debajo de la superficie terrestre la roca se denomina Intrusiva o plutónica, mientras que cuando lo hace sobre la superficie se denomina extrusiva o volcánica.

Rocas metamórficas: Se forman por cambios mineralógicos y/o morfológicos de rocas (ígneas, sedimentarias o metamórficas) que fueron sometidas a presiones, temperaturas y/o fluidos químicamente activos que cambian las condiciones bajo las cuales las rocas se habían originado.

Rocas sedimentarias: Se forman a partir del depósito en la superficie terrestre de fragmentos de otras rocas y/o materiales preexistentes. Estos pueden ser clastos detríticos (fragmentos de roca o minerales de diferentes tamaños), precipitados químicos y/o material biológico (e.g. conchillas, microbialitos).

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL: Es la rama de la geología que se ocupa del estudio de la arquitectura de la corteza terrestre. Estudia la forma, distribución y estructura interna de las rocas, haciendo especial énfasis en los procesos y fuerzas que intervienen en su deformación (plegamientos o fracturamientos) a diferentes escalas.

GEOQUÍMICA: Rama de la geología que utiliza los principios de la química para explicar los mecanismos que regulan los procesos –pasados y actuales- de los grandes sistemas geológicos, como el manto y la corteza terrestre, sus océanos y su atmósfera. Se basa en el estudio de los elementos químicos: su distribución, proporción y asociación.

Y ¿cómo se puede saber en qué tiempo/edad ocurrió la deformación o depositación de sedimentos o la formación del relieve?

Para ello existen dos disciplinas diferentes que ayudan a establecer las edades a lo largo de la historia geológica. Una de ellas, bien conocida por la mayoría de las personas, es la Paleontología. A través del estudio de los fósiles (ya sea restos, impresiones en roca o cualquier otra evidencia de la existencia de un organismo que vivió en el pasado), los paleontólogos/as logran determinar la edad en que vivieron las especies y hacer una inferencia del paleoambiente, es decir, el tipo de paisaje y clima en que vivían (por ejemplo, restos fósiles de tortugas hallados en rocas sedimentarias del norte de Argentina permitieron asignar una edad a estas rocas de aproximadamente 55-50 Ma y caracterizar el ambiente en el que vivían como de agua dulce y clima templado, del Papa 1999). Los fósiles al estar albergados en rocas, mayormente del tipo sedimentario, indican la edad de éstas.

Por otro lado, está la Geocronología, disciplina mediante la cual se analizan determinados minerales contenidos en las rocas para obtener su edad en base al decaimiento de isótopos radiactivos¹ (ver [Ortiz, 2021: TBGNoa, Vol. 11 \(3\): 11-20](#)). Existen variados métodos de datación y el uso de uno u otro dependerá del tipo de roca y de la edad que se espera obtener (i.e. límite de detección del método). Para un mejor entendimiento se puede consultar a Arzadún ([2020, TBGNoa, Vol. 10 \(3\): 7-15](#)).

Entonces ¿cuándo se empezaron a elevar las montañas del noroeste de Argentina?

Durante gran parte de su pasado geológico, el norte argentino formaba parte de cuencas sedimentarias marinas, encontrándose grandes extensiones del actual territorio cubiertas por agua en aquel entonces. Alternaron con estos períodos una serie de eventos de deformación que llevaron al cierre de esos mares. El último de estos eventos que precede a la deformación andina, es el que registran rocas distribuidas ampliamente en las provincias de Salta y Jujuy, que integran depósitos sedimentarios de gran espesor que dan cuenta de la existencia de una gran cuenca extensional (en geología denominada “rift”) que se propagó por el noroeste de Argentina (NOA) desde aproximadamente los 150 millones de años (Ma) y que estuvo activa por unos 80 Ma. Excelentes exposiciones de estas rocas de amplia variedad de colores (amarillo, verde, gris, rojo) se observan en los alrededores del dique Cabra Corral, camino a Cafayate, valles Calchaquíes y Quebrada de Humahuaca, entre otros lugares. Su origen está directamente relacionado con la fragmentación del supercontinente de Pangea y la apertura del océano Atlántico Sur. Este último evento desencadenó hacia los aproximadamente 40 Ma un incremento en la velocidad del desplazamiento de la placa Sudamericana hacia el oeste y un cambio de la dirección y velocidad de la placa de Nazca-Farallón (que se hunde por debajo de la Sudamericana) y la consecuente orogenia² andina (Benedetto, 2019). Es así, que debido a los esfuerzos de compresión (i.e. movimientos tectónicos de acortamiento) se comienzan a elevar pequeñas proto-sierras que encierran depresiones, que denominamos “cuencas sedimentarias de tipo intermontanas”. El régimen que se impuso a partir de los ~40 Ma fue de tipo continental, es decir en estas cuencas se acumulaban sedimentos depositados tanto en el fondo de lagos como por ríos de agua dulce. A medida que continuó el acortamiento que ejerce el movimiento de la placa de Nazca-Farallón sobre la Sudamericana, a lo largo de millones de años, se fue conformando el paisaje hasta llegar a la configuración actual de valles rodeados de montañas.

¹ Isótopos radiactivos: un isótopo es un mismo elemento químico con igual número de protones pero distinto número de neutrones. Cuando este isótopo es inestable, emite energía y partículas es decir “radiactividad”, y se transforma en otro isótopo estable. Todo este proceso ocurre a un tiempo determinado que es diferente en cada isótopo radiactivo.

²Orogenia: proceso geológico que implica la formación de montañas debido al acortamiento y engrosamiento de la corteza terrestre, como consecuencia del movimiento de placas tectónicas.

Ahora bien, ¿cuándo alcanzaron su configuración actual el valle de Lerma y las montañas que lo rodean?

El paisaje actual que se observa en el valle de Lerma es el resultado de una larga historia de millones de años que comprende aperturas y cierres de cuencas tanto de origen marino como continental, movimientos tectónicos que elevan proto-sierras a tasas tan pequeñas que llegan a 1 m de levantamiento cada mil años, pero que en un período de tiempo que abarca cerca de 40-35 Ma logra alcanzar las elevaciones que vemos hoy en día, superando incluso los 5.000 m s.n.m. como en el caso del cerro Malcante. En el pasado geológico existían grandes cuencas y ríos que drenaban sus aguas desde el borde entre la Puna y los valles Calchaquíes hacia el este en la llanura Chaqueña (Figura 4a). En ese entonces todas estas regiones se hallaban conectadas -ya sea de forma parcial o total-, sin límites orográficos que permitieran separar a uno del otro. Sin embargo, esta situación cambió entre los 15-10 Ma con el levantamiento de las sierras de Pascha (Pa), Lesser (Le), Malcante (Ma), Aguas de Castilla (Ac) y Loma Larga (LI) (Figuras 1 y 4b) que delimitaron el contrafuerte occidental del valle de Lerma, separándolo de los valles Calchaquíes, y como consecuencia, los grandes ríos existentes fueron cambiando su configuración y se generaron nuevos ríos más pequeños con áreas de aporte en las altas cumbres de estas cadenas montañosas. Hacia el este, a los ~10 Ma se empezaba a esbozar una protosierra de Mojotoro (Mo) (Figura 4c).

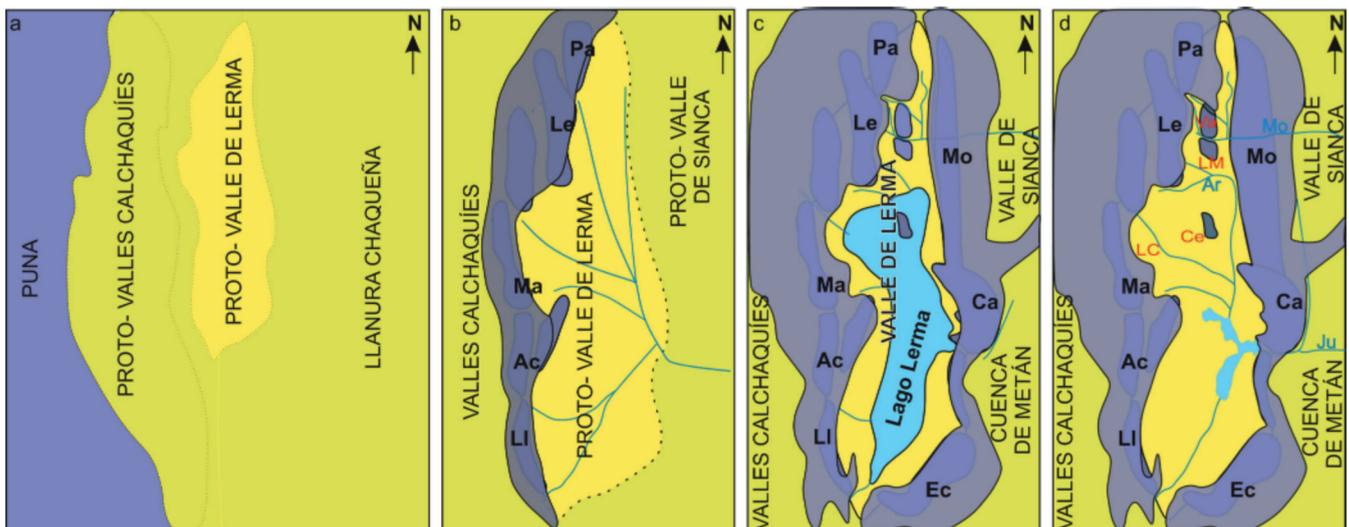


Figura 4. Esquema de evolución del valle de Lerma (modificado de González Bonorino y Abascal 2012, García et al. 2013): a- Un primer estadio donde los ríos surcaban las regiones actuales de los valles Calchaquíes, de Lerma hasta la Llanura Chaqueña; b- Un segundo estadio con el levantamiento de las montañas que bordean por el occidente el actual valle de Lerma; c- Un tercer estadio con el levantamiento de las sierras del este del valle, posteriormente se produce el cierre a la altura del actual río Juramento (dique Cabra Corral) y la implantación de un gran lago (lago Lerma); d- Configuración actual del valle de Lerma, donde los ríos Mojotoro (al norte) y Juramento (al sur) lograron atravesar las sierras del oriente del valle, y drenar hacia el valle de Siancas y Cuenca de Metán.

Las siglas en negro denotan las sierras y en azul los ríos.

Entre los 2 Ma y los 300.000 años, el valle de Lerma fue adquiriendo su configuración actual, donde el levantamiento de sierras y lomadas en su interior produjo cambios en el drenaje del valle. En un primer momento, un antiguo río Wierna-Lesser en dirección SE drenaba las sierras de Pascha-Lesser mientras que un antiguo río Caldera en dirección N-S drenaba el sector NE del valle, confluyendo ambos en el río Arenales (Ar) hacia el sur. El levantamiento de las sierras de Vaqueros (Va) y Medeiros (LM), introdujo cambios en la dirección de los ríos Wierna y Lesser-Vaqueros; posteriormente todos estos ríos del sector norte del valle conformaron el actual río Mojotoro (Mo), que drena hacia el este y atraviesa la sierra homónima. Hacia el sur, se elevaban los cerrillos de San Miguel (Ce) y las sierras de Castillejo (Ca)-Peñas Blancas-Cebilar (Ec) (Figuras 1 y 4c).

Aproximadamente entre los 100.000 y 25.000 años, el drenaje abierto del sur del valle a través del río Juramento (Ju) se vio interrumpido, originando un extenso espejo de agua, el lago Lerma (Figura 4c). Este lago se extendió más allá de la mitad austral del valle, y sus depósitos además de documentar la existencia y dimensión del mismo, registran parte de la actividad sísmica a la que estuvo sometido el valle en el pasado (Elías et al. 2022). Esto es, en los sedimentos de granulometría fina que se depositaron en el fondo del lago, se observan deformaciones (pliegues y fracturas a pequeña escala) que denotan la ocurrencia de sismos durante o inmediatamente después de su depositación. Entre los 25.000 y 20.000 años, el bloqueo del río Juramento cedió y el lago Lerma comenzó a drenarse, adquiriendo el valle de Lerma, desde ese entonces, una configuración similar a la actual en cuanto al drenaje y sierras que lo rodean (Figura 4d). Sin embargo, continúan activos los procesos de elevación de montañas ya que existen evidencias que determinaron que en los últimos 100.000 años sierras como las de Lesser, Vaqueros, Lomas de Medeiros y Carabajal se han elevado a tasas que no superan el metro cada mil años (García et al. 2013, 2019).

Hoy en día el valle de Lerma es una depresión tectónica con su base entre 1.100-1.200 m s.n.m., rellena con depósitos sedimentarios jóvenes que se acumularon en el fondo de un gran lago que cubrió más de la mitad de la superficie del valle y ríos que drenaban hacia esta depresión en los últimos 300.000 años. Las montañas que lo rodean alcanzan alturas por encima de los 3.000-4.000 m s.n.m. (algunas incluso por encima de 5.000 m s.n.m.) y están compuestas por rocas que van desde los ~550 Ma -estas son las rocas más antiguas que se encuentran en el NOA y corresponden a sedimentos de una gran cuenca de origen marino- hasta los 6-1,3 Ma. Las rocas comprenden un amplio rango desde rocas sedimentarias tanto de origen marino como continental hasta metamórficas.

REFERENCIAS Y LITERATURA RECOMENDADA

ARZADÚN G. 2020. La edad de las rocas. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 10 (3): 7-15.

BENEDETTO JL. 2019. El continente de Gondwana a través del tiempo. Una introducción a la Geología Histórica. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. 475 pp.

DEL PAPA C. 1999. Sedimentation on a ramp type lake margin: Paleocene-Eocene Maíz Gordo Formation, northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 12: 389-400.

ELÍAS E, C MONTERO-LÓPEZ, VH GARCÍA, L ESCALANTE, D CARABANTI, R BRACCO BOKSAR. 2022. Estructuras de Deformación en Sedimento Blando como indicadoras de actividad tectónica cuaternaria en el sector austral del valle de Lerma, noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 79 (3).

GARCÍA VH, F HONGN, EO CRISTALLINI. 2013. Late Miocene to recent morphotectonic evolution and potential seismic hazard of the northern Lerma valley: clues from Lomas de Medeiros, Cordillera Oriental, NW Argentina. *Tectonophysics*, 608: 1238–1253. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.06.021>

GARCÍA VH, F HONGN, D YAGUPSKY, H PINGEL, T KINNAIRD, D WINOCUR, EO CRISTALLINI, RAJ ROBINSON, MR STRECKER. 2019. Late Quaternary tectonics controlled by fault reactivation. Insights from local transpressional system in the intermontane Lerma valley, Cordillera Oriental, NW Argentina. *Journal of Structural Geology*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2019.103875>

GONZÁLEZ BONORINO G, LV ABASCAL. 2012. Orogénesis y drenaje en la región del valle de Lerma (Cordillera Oriental, Salta, Argentina) durante el Pleistoceno tardío. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69 (1): 127-141.

GUZMÁN S, C MONTERO. 2011. Los volcanes de la Puna Austral. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1 (1): 32-39.

HONGN F, V GARCÍA. 2011. Tectónica de placas: Teoría integradora de las Ciencias de la Tierra. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1 (1): 21-31.

ORTIZ A. 2021. Circón: un pequeño gran mineral. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 11 (3): 11-20.