

Temas de Biología y Geología del Noa

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

2019
Año Internacional de las Lenguas Indígenas

Artículos

Litio

Comunicación
Animal

Hantavirus

Volumen 8, Número 3, Diciembre 2018

Enxhák

ENERO

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

1. Año Nuevo

Enxhák

FEBRERO

D	L	M	M	J	V	S
				1	2	
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28		

chá 'lá'

legarto
MARZO

D	L	M	M	J	V	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

4 y 5. Carnaval
24. Día Nacional de la Memoria por la Verdad y la Justicia

tachenkák

montaña
ABRIL

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

2. Día del Volcans y de los Caballos en la Guerra de Malvinas
19 y 19. Jueves y Viernes Santo

Aññenché

páparo
MAYO

D	L	M	M	J	V	S
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

1. Día del Trabajador
25. Día de la Resistencia de Mayo

inñawéw

vierto
JUNIO

D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						

17. Paso a la inmortalidad del General Martín Miguel de Güemes
20 - Paso a la inmortalidad del General Manuel Belgrano

lutemí

moco
JULIO

D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

6. Día de la Independencia

teykenák

laguna
AGOSTO

D	L	M	M	J	V	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

11. Paso a la inmortalidad del General José de San Martín

enxhák

trida
SEPTIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

enxhák

trida
OCTUBRE

D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

12. Día del Respeto a la Diversidad Cultural

enxhák

trida
NOVIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

28. Día de la Soberanía Nacional

enxhák

trida
DICIEMBRE

D	L	M	M	J	V	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

8. Inmortalidad Copacabana de María
25. Navidad

Wichí, integrantes de una etnia indígena del Chaco Central y del Chaco Austral. La wichí es la lengua indígena de mayor vitalidad en Argentina y es llamada wichí tharrés por sus hablantes. Wichí, en la lengua de estos indígenas, significa "persona" "gente"

Temas de Biología
y Geología del Noa



Temas de Biología y Geología del Noa

Comité Editorial

Marissa Fabrezi, IBIGEO, CCT-SALTA,
Carolina Montero, IBIGEO, CCT-SALTA,
Silvia Quinzio, IBIGEO, CCT-SALTA,

Contenidos

ARTÍCULOS

Litio en salares: una fórmula muy andina ;
Romina L. López Steinmetz et al.....36

Entrando en escena, el acto comunicativo,
Soledad Valdecantos y Mario Ruiz Monachesi.....45

Hantavirus en Salta y Argentina,
WR Lopez et al.....56

Agradecimientos

Diana Hongn
Fernando Jabif

Tapa

Calendario IBIGEO 2019.
Dibujos originales: Amelia Goldberg y Camilo Goldberg.
Diseño: Silvia I. Quinzio
Descargar para imprimir en:
<https://ibigeo.conicet.gov.ar/otros/>

IBIGEO

INSTITUTO DE BIO Y GEOCIENCIAS DEL
NOA

www.ibigeo.conicet.gov.ar

CCT-Salta
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Te: 54 (0) 387 4931755

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.



Artículos

Litio en salares: una fórmula muy andina

Romina L. López Steinmetz^{1,2*}, Pablo J. Caffé¹, Carisa Sarchi^{1,2},
M. Gabriela Franco^{1,2}, Ornela E. Constantini^{1,2}

¹Instituto de Ecoregiones Andinas (UNJu-CONICET), Jujuy

²Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy

*lucrecialopezsteinmetz@conicet.gov.ar

La relación entre el litio y los salares parece una receta de cocina, en la que los ingredientes son agua, sal, aridez y aislamiento, se condimenta con un poco de litio y se deja macerar – apenas – algunos millones de años. Esto es lo que se requiere para que se forme un salar que tenga el potencial de ser aprovechado para la extracción de litio. Esta receta, claro, es bastante excepcional ya que la inhabitual confluencia de estos ingredientes se da naturalmente en pocos lugares del planeta Tierra. Para nuestro deleite, el plateau andino, la región sobre elevada que incluye a la Puna argentino-chilena y al Altiplano boliviano, es una de esas raras partes del globo donde esta receta prospera.

El litio (Li) es un elemento químico que existe naturalmente en el planeta. Si bien tiene diversas e importantes aplicaciones, su relevancia económica creció cuando comenzó a utilizarse para fabricar baterías de celulares y computadoras, así como de autos eléctricos. Particularmente en la región de los Andes, el litio se recupera a partir de las salmueras (agua con una concentración superior a 5 % de sales disueltas) que están en el subsuelo de los salares, en las que este metal se encuentra disuelto de igual modo que la sal de mesa se disuelve en el agua (para más detalles sobre la recuperación y los usos del litio, véase la nota publicada en esta revista por de la Hoz et al. 2013).

Los salares (y/o salinas, ya que son términos equivalentes) son depósitos de sal formados en áreas aisladas, donde el clima árido genera la evaporación paulatina del agua, lo cual da lugar a que las sales que estaban disueltas precipiten, acumulándose gradualmente a lo largo de mucho tiempo. Los salares están entonces constituidos de una acumulación de sales precipitadas a raíz de la evaporación (Fig. 1).



Figura 1. Las Salinas Grandes.

El agua que aún no se evaporó completamente es salobre (es decir, algo salada). Cuando los ríos llegan a un salar, el agua se almacena en su interior. Como en este ambiente el agua está en contacto con las sales, se vuelve, previsiblemente, salada. Justamente, esta agua salada contenida entre las sales y los sedimentos de las cuencas salinas es la que constituye las salmueras que, en el caso de los Andes, son las que almacenan altas concentraciones de litio. De este modo, la minería andina del litio consiste en el aprovechamiento de las salmueras de los salares (Figs. 2 y 3).



Figura 2. Superficie salina (izquierda) y pozas de evaporación de salmuera para recuperación de litio (derecha) en el salar de Olaroz.

En el plateau andino existen numerosos salares (Fig. 4). Solo en la parte argentina del plateau existen más de 20 cuerpos salinos que merecen interés en términos de su potencial litífero. Este potencial se define en virtud de una serie de características, entre las cuales abordaremos las dos más elementales: la concentración de litio y el tamaño del salar. La concentración de litio en una salmuera representa la cantidad de este elemento (generalmente en miligramos) que está disuelta en un litro de salmuera. Desde ya que, mientras mayor sea la concentración de litio en la salmuera, mayor será la importancia del salar en términos económicos. Cuando las concentraciones de litio en las salmueras son lo suficientemente interesantes, otro aspecto que favorece la relevancia económica de un salar es su tamaño, ya que mientras más grande sea el cuerpo de sal, mayor será el volumen de salmuera contenido y, por ende, la cantidad de litio presente. Detallaremos a continuación estos dos rasgos para algunos de los más importantes prospectos de litio en los Andes de Bolivia, Chile y Argentina (Tabla 1).



Figura 3. Poza de evaporación de salmuera para recuperación de litio en el salar de Olaroz.

Salar	Superficie (km ²)	Altitud (m snm)	Promedio [Li] (mg/L)
Uyuni	10580	3660	300 – 600
Atacama	3000	2305	1400
Hombre Muerto	300	3970	520
Olaroz	130	3900	1000
Cauchari	80	3900	860
Salinas Grandes	280	3410	330

Tabla 1. Atributos comparativos de algunos salares andinos. Modificado de López Steinmetz et al. (2018).

LOS GIGANTES DE UYUNI Y ATACAMA:

Los mayores recursos de litio a escala global se encuentran en los salares de Uyuni y Atacama (Moraga et al. 1974; Gruber y Medina 2010; Mohr et al. 2010; Kunasz 2006; Kesler et al. 2012; Munk et al. 2016). Uyuni es un salar espectacularmente gigante. Tiene una superficie de más de 10500 km², y si bien no es precisamente rectangular, corresponde a un área de unos 100 km de ancho en sentido oeste-este por unos 100 km de largo en sentido norte-sur. Uyuni es "El" salar más grande de los Andes y del planeta Tierra. Este salar está ubicado a 3660 m de altura en el Altiplano boliviano (Fig. 4). Como en todos los salares, la concentración de litio en las salmueras de Uyuni varía espacialmente (a lo largo y ancho, así como en profundidad). El contenido promedio de litio en las salmueras poco profundas (cercanas a la superficie del salar) varía entre 300 y 600 mg/L, y el patrón de concentración de litio en Uyuni aumenta hacia el sur (Erickson et al. 1976; 1977; Rettig et al. 1980; Risacher y Fritz 1991; Schmidt 2010). Los recursos de litio estimados en Uyuni son de más de 10 millones de toneladas, lo que equivale aproximadamente a 12 veces el yacimiento australiano de Greenbushes de fama mundial (Kesler et al. 2012), que es ni más ni menos el mayor depósito de litio en roca (no salar).

Aunque Uyuni tiene los mayores recursos de litio del mundo, este salar aún no está en producción. Gran parte del litio que se produce mundialmente en la actualidad se obtiene del Salar de Atacama. Con recursos estimados en algo más de 6 millones de toneladas, el Salar de Atacama es "La" mina de litio más importante del mundo (Moraga et al. 1974; Ide y Kunasz 1989; Kunasz 2006; Lowenstein y Risacher 2009; Gruber y Medina 2010; Mohr et al. 2010; Kesler et al. 2012; Cochilco 2013).

El Salar de Atacama tiene una superficie de 3000 km² y está ubicado en el norte de Chile, a 2300 m de altura (Fig. 4). Su concentración promedio de litio es de unos 1400 mg/L, y varía en un rango de entre 1000 y 6400 mg/L (Moraga et al. 1974; Ide y Kunasz 1989; Kunasz 2006). La concentración de litio en las salmueras del Salar de Atacama representa el máximo tenor registrado en todo el mundo hasta la fecha. El patrón de concentración de litio en este salar aumenta hacia su parte sur (Ide y Kunasz, 1989).

EL LITIO ARGENTINO

En la Puna argentina, que es la parte sur del plateau andino, también existen destacados prospectos (zonas con recursos minerales potencialmente valiosos) de litio. Entre ellos está el Salar de Hombre Muerto (Fig. 4), que se convirtió en la primera mina de litio en Argentina al iniciar su producción en los años 90 (Kesler et al. 2012; Fomillo et al. 2015). El salar de Hombre Muerto tiene una superficie de 300 km² y está ubicado a 3970 m de altitud. Los recursos estimados de litio en este salar son de algo menos de 1 millón de toneladas. La concentración promedio de litio en las salmueras es de unos 520 mg/L, y el patrón de concentración aumenta hacia el sur (Garrett 2004; Kesler et al. 2012; Godfrey et al. 2013).

Hacia el norte, siempre en territorio argentino, están los salares de Olaroz y Cauchari. Estos dos salares están ubicados en una misma cuenca alargada en sentido norte-sur, que se sitúa a una altitud promedio de 3900 m (Fig. 4). Los extremos norte y sur de la cuenca hidrológica están alimentados por numerosos manantiales hidrotermales (Aguilera Barraza 2008; Peralta Arnold et al. 2017), donde los colectores principales son los ríos Rosario y Tocomar, respectivamente. El otro afluente importante es el río Archibarca, que desemboca en el borde oeste del salar, donde forma un enorme abanico aluvial que divide la depresión topográfica Olaroz - Cauchari en dos partes, y actúa como una barrera entre el Salar de Olaroz al norte y el de Cauchari al sur.

El Salar de Olaroz (Fig. 4) tiene una superficie de 130 km², la concentración de litio en las salmueras someras varía de 770 a 1200 mg/L y las concentraciones promedio son de unos 1000 mg/L de litio (Franco et al. 2017; López Steinmetz et al. 2018). El Salar de Cauchari tiene unos 80 km² de extensión, la concentración de litio en las salmueras varía entre 440 y 1700 mg/L, resultando en concentraciones promedio de unos 860 mg/L (López Steinmetz et al. 2018). Las salmueras de estos dos salares son cloruradas sódicas y los tenores de sal disuelta superan los 360 gramos de sal por litro de salmuera. Las mayores concentraciones de litio se encuentran en la parte de central de cada salar.

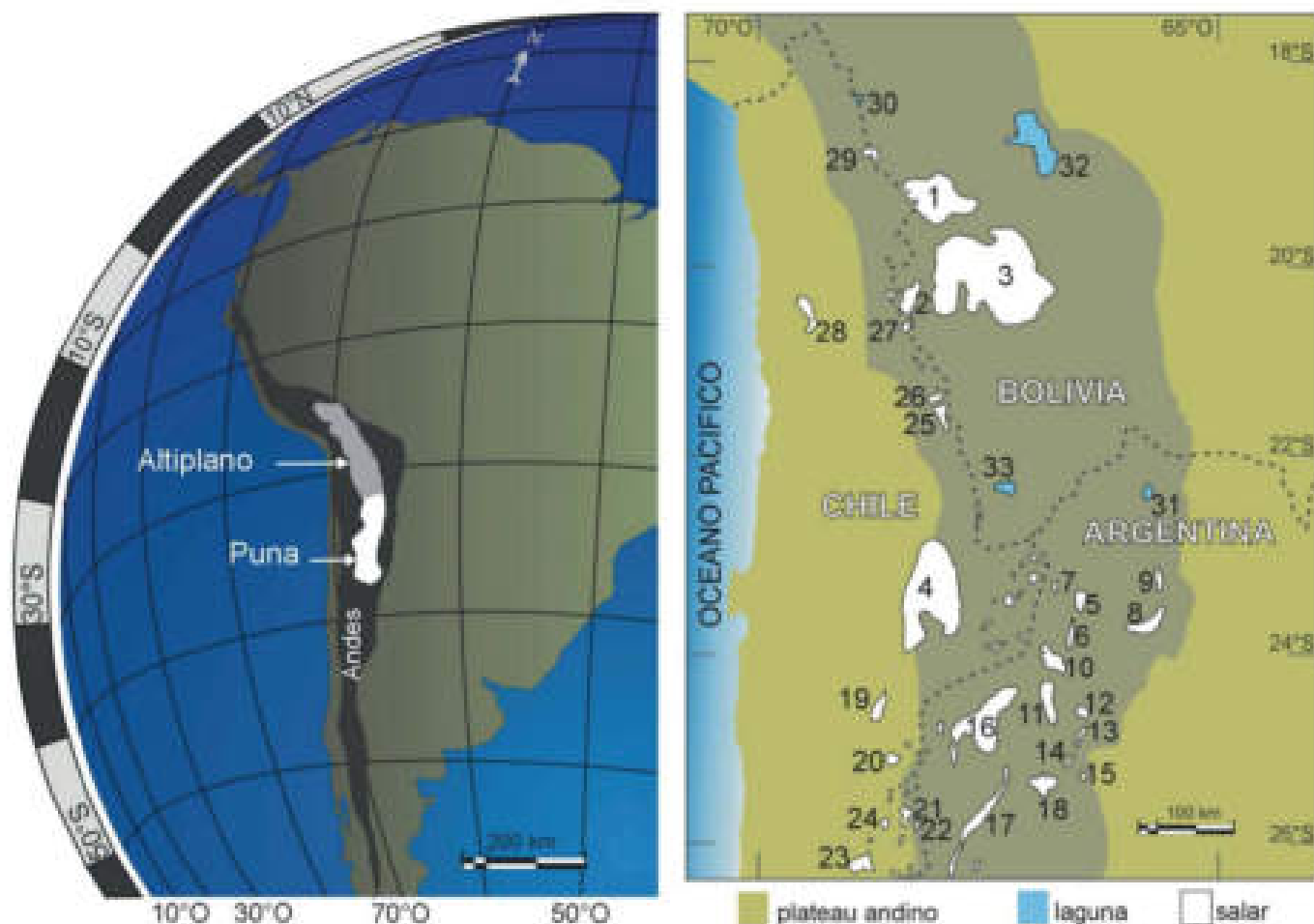


Figura 4. Ubicación de la Puna y el Altiplano en el contexto de la Cordillera de los Andes (izquierda). Ubicación de algunos salares y lagunas litíferos del plateau andino (derecha). 1: Coipasa, 2: Empexa, 3: Uyuni, 4: Atacama, 5: Olaroz, 6: Cauchari, 7: Jama, 8: Salinas Grandes, 9: Guayatayoc, 10: Rincón, 11: Pocitos, 12: Pastos Grandes, 13: Centenario, 14: Ratonas, 15: Diabrillos, 16: Arizaro, 17: Antofalla, 18: Hombre Muerto, 19: Punta Negra, 20: Pajonales, 21: La isla, 22: Las Parinas, 23: Pedernales, 24: Aguilar, 25: Ascotán, 26: Carcoto, 27: Coposa, 28: Pintados, 29: Surire, 30: Chungara, 31: Laguna de Pozuelos, 32: Lago Poopó, 33: Laguna Colorada.

Otro salar importante es Salinas Grandes, su superficie es de alrededor de 280 km² y está situado a 3410 m de altura. Este salar está ubicado al sur del abanico aluvial del río Las Burras, que separa a Salinas Grandes de la Laguna de Guayatayoc (Fig. 4). Los cursos permanentes que alimentan las Salinas Grandes incluyen los ríos San Antonio de los Cobres y El Moreno. Las áreas de captación del sur, como las cabeceras del río San Antonio de los Cobres y el río Pastos Chicos incluyen numerosos manantiales hidrotermales (Giordano et al. 2013; 2016), mientras que el área de cabecera de la cuenca El Moreno involucra procesos periglaciales estacionales y cantidades relativamente grandes de precipitaciones (aprox. 700 mm / año) en comparación con la parte occidental de la cuenca y el resto de la Puna (aprox. 300 mm / año).

En las Salinas Grandes las salmueras tienen tenores salinos que aumentan hacia el oeste hasta superar 240 g/L (López Steinmetz 2017; López Steinmetz et al. 2018). Las salmueras son principalmente cloruradas sódicas y su concentración promedio de litio es de unos 330 mg/L. Las concentraciones de litio varían a través del salar en el rango entre 25 y 1000 mg/L, dispuestas en un patrón que es solidario al incremento de la salinidad, lo cual resulta en concentraciones de litio que aumentan hacia el margen oeste del salar.

Un sabio refrán que surgió en la antigüedad, atravesó los siglos y aún hoy se mantiene vigente, dice que el conocimiento es poder. Saber lo que tenemos y ser conscientes de su valor es el primer paso a dar, cualquiera sea la dirección en la que decidamos avanzar. Ahora que comprendemos la relevancia económica que tienen los salares, podemos preguntarnos ¿cuál es la porción que la naturaleza destinó al ser humano en esta receta tan generosa? Tenemos, por un lado, la fortuna de ser contemporáneos con una creciente necesidad tecnológica en la que el litio es un elemento fundamental, y, por otro, de habitar esta tierra que ofrece recursos tan poco frecuentes en el globo. El desafío es descubrir una forma con la que podamos aprovechar estos recursos naturales, para valernos de la oportunidad histórica que impone el momento tecnológico presente, a la vez que se pueda generar prosperidad colectiva sin descuidar al planeta y al ambiente. Vaya, sin dudas que ese es un gran desafío, y debemos trabajar para encontrar las respuestas que necesitamos para resolverlo. Debemos guardar en mente que estos recursos existen gracias a una sofisticada combinación entre clima, tiempo y geología, y que la Tierra es el patrimonio más inestimable que legaremos a las generaciones futuras.

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LITIO DE NUESTRO EQUIPO:

Dinámica y evolución de los ambientes evaporíticos de la Puna de Jujuy: factores y procesos que controlan la distribución de Li y B. PIO 14020140100010CO.

De la dinámica y evolución de los salares de la Puna y su control en la exploración y explotación de Li a la extracción por tratamiento electroquímico de las salmueras. PICT-3654.

Litio Argentino: desde su génesis geológica y extracción hasta baterías de última generación dentro una estrategia sustentable. FITR Fonarsec - Industria.

Procesos de movilización y almacenamiento de litio en sistemas endorreicos de la Puna jujeña. Secretaría de Ciencia, Técnica y Estudios Regionales, Universidad Nacional de Jujuy.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen al Dr. Alex Losada Calderón (COO de Orocobre Ltd) por consentir la divulgación de fotografías de las operaciones de Sales de Jujuy en el salar de Olaroz.

REFERENCIAS

- Aguilera Barraza F (2008) Origen y naturaleza de los fluidos en los sistemas volcánicos, geotermiales y termiales de baja entalpia de la Zona Volcánica Centra (CVZ) entre los 17°43'S y 25°10'S. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas. Universidad Católica del Norte, 387 p.
- COCHILCO (2013) Compilación de informes sobre mercado internacional del litio y el potencial del litio en salares del norte de Chile, <http://www.cochilco.cl/estudios/info-litio.asp>
- de la Hoz M., Martínez V.R., Vedia J.L., 2013. El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 3 (3), 58-67.
- Ericksen GE, Chong G, Vila T (1976) Lithium resources of salars in the Central Andes. In: Vine JD (ed.), *Lithium Resources and requirements by the Year 2000*. Geological Survey Professional Paper, 1005, 66-74.
- Ericksen GE, Salas R (1977) *Geology and resources of salars in the central Andes*. U.S. Geological Survey, Open File Repository 88-210, 51 p.
- Fornillo B, Zicari J, Slipak AM, Puente F, Argento M (2015) *Geopolítica del litio: industria, ciencia y energía en Argentina*. Ed. El Colectivo CLACSO, Buenos Aires, 212 p.
- Franco MG, Borda L, García MG, López Steinmetz RL, Flores P, Córdoba F (2016) Geochemical and sedimentological characterization of the Salar de Olaroz, northern Argentinean Puna, Central Andes. 3rd International Workshop on Lithium, Industrial Minerals and Energy, Jujuy, Argentina.
- Garrett DE (2004) *Handbook of lithium and natural calcium chloride: their deposits, processing, uses and properties*. Elsevier Academic Press, 1st edition.
- Giordano G, Pinton A, Cianfarra P, Baez W, Chiodi A, Viramonte J, Norini G, Groppelli G (2013) Structural control on geothermal circulation in the Cerro Tuzgle-Tocomar geothermal volcanic area (Puna plateau, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249, 77-94.
- Giordano G, Ahumada F, Aldega L, Becchio R, Bigi S, Caricchi C, Chiodi A, Corrado S, De Benedetti AA, Favetto A, Filipovich R, Fusari A, Groppelli G, Invernizzi C, Maffucci R, Norini G, Pinton A, Pomposiello C, Tassi F, Taviani S, Viramonte J (2016) Preliminary data on the structure and potential of the Tocomar geothermal field (Puna plateau, Argentina). *Energy Procedia*, 97, 202-209.
- Godfrey LV, Chan L-H, Alonso RN, Lowenstein TK, McDonough WF, Houston J, Li J, Bobst A, Jordan TE (2013) The role of climate in the accumulation of lithium-rich brine in the Central Andes. *Applied Geochemistry*, 38, 92-102.
- Gruber P, Medina P (2010) *Global lithium availability: a constraint for electric vehicles?* Master thesis, University of Michigan, 76 p.
- Ide F, Kunasz IA (1989) Origin of lithium in Salar de Atacama, northern Chile, in: Ericksen GE, Cañas Pinochet MT, Reinemund JA (Eds.), *Geology of the Andes and Its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series, 11, 165-172.
- Kesler SE, Gruber PW, Medina PA, Keoleian GA, Everson MP, Wallington TJ (2012) Global lithium resources: relative importance of pegmatites, brine and other deposits. *Ore Geology Review*, 48, 55-69.
- Kunasz IA (2006) *Lithium resources*. In *Industrial minerals and rocks, commodities, markets and uses*. 7th edition.
- López Steinmetz RL (2017) Lithium- and boron-bearing brines in the Central Andes: exploring hydrofacies on the eastern Puna plateau between 23° and 23°30'S. *Mineralium Deposita*, 52, 35-50.

López Steinmetz RL, Salvi S, García MG, Peralta Arnold Y, Beziat D, Franco G, Constantini O, Córdoba F, Caffè PJ, 2018. Northern Puna-scale survey of Li-brine deposits in the Andes of NW Argentina. *Journal of Geochemical Exploration*, 180, 26-38.

Lowenstein T, Risacher F (2009) Closed basin brine evolution and the influence of Ca–Cl inflow waters. Death Valley and Bristol Dry Lake, California, Qaidam Basin, China, and Salar de Atacama, Chile. *Aquatic Geochemistry*, 15, 71-94.

Mohr S, Mudd G, Giurco D (2010) *Lithium Resources and Production: a critical global assessment*. Prepared for CSIRO Minerals Down Under Flagship, by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney, and Department of Civil Engineering, Monash University, Final Report, 107 p.

Moraga A, Chong G, Forti MA, Henríquez H (1974) Estudio geológico del Salar de Atacama. Provincia de Antofagasta. *Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas*, 29, Santiago, Chile, 56 p.

Munk LA, Hynek SA, Bradley D, Boult D, Labay K, Jochens H (2016) Lithium brines: A Global Perspective. *Reviews in Economic Geology*, 18, 339-365.

Peralta Arnold YJ, Cabssi J, Tassi F, Caffè JP, Vaselli O (2017). Fluid geochemistry of a deep-seated geothermal resource in the Puna plateau (Jujuy Province, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2017.03.030.

Rettig SL, Jones BF, Risacher F (1980) Geochemical evolution of brines in the Salar de Uyuni, Bolivia. *Chemical Geology*, 30, 57-79.

Risacher F, Fritz B (1991) Quaternary geochemical evolution of the Salar of Uyuni and Colpasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chemical Geology*, 90, 211-231.

Schmidt N (2010) Hydrological and hydrochemical investigations at the Salar de Uyuni (Bolivia) with regard to the extraction of lithium. FOG, 26.

Artículos

Entrando en escena, el acto comunicativo

Soledad Valdecantos^{1,2} & Mario Ruiz-Monachesi¹

¹IBIGEO, CCT-Salta

²Catedra de Anatomía Comparada, Facultad de Ciencias Naturales, UNSA

¿QUÉ ES LA COMUNICACIÓN?

Al igual que nosotros, cuando otros animales se comunican intercambian información entre ellos. En este intercambio podemos reconocer los siguientes elementos (Fig. 1): el individuo que emite un mensaje (emisor), otro individuo a quien va dirigido el mensaje (receptor), la información que se quiere transmitir (mensaje) y el medio físico por el que se transmite el mensaje (canal). Para que la comunicación sea efectiva, el receptor debe ser capaz de recibir el mensaje y responder a este, si no lo hace entonces, no hay intercambio de información y por lo tanto no podemos hablar de comunicación. El mensaje puede ser un sonido, un movimiento, un color, una mirada o un signo escrito.

En la Figura 1, podemos observar una hembra de delfin (emisor) comunicándose con su cría (receptor) pero como ya hemos mencionado, para que la comunicación sea efectiva, la cría debe responder al mensaje enviado por la hembra.

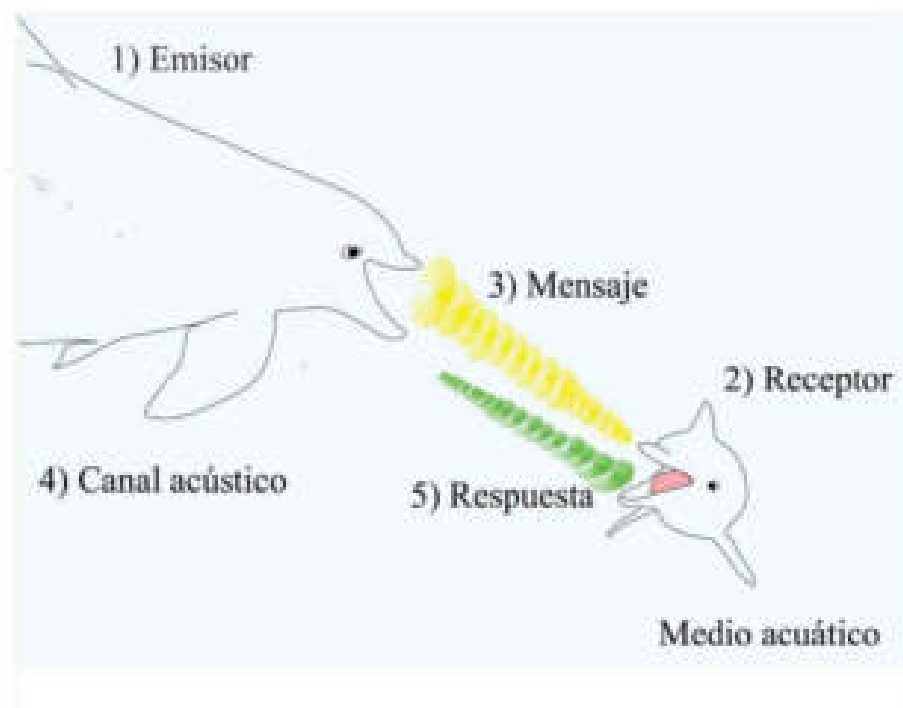


Figura 1: Esquema representando los elementos del proceso comunicativo.

Los delfines, no utilizan palabras similares a las nuestras, en su lugar el mensaje esta codificado en un sonido que es característico de cada especie de delfin. En este caso, el agua es el medio por donde se transmiten las ondas del sonido. La comunicación es importante y está comprometida en algunas funciones vitales de los animales como ser el cuidado de las crías (en el caso de muchas aves y mamíferos), o la pareja si son monógamos, para lo cual es imprescindible el reconocimiento entre individuos de la misma especie. Dentro de la comunicación, el reconocimiento propio o de uno mismo, es esencial puesto que permite distinguirse a sí mismos de otros individuos de la misma especie, así también es importante el reconocimiento de éstos últimos de aquellos de otras especies. Asimismo, el diferenciar al sexo opuesto o distinguir entre juveniles y adultos, se logra gracias a un efectivo cambio de información. El reconocimiento propio, es fundamental en los animales que viven y trabajan en grupos, como las abejas, para permanecer en un lugar seguro, o cuando existen jerarquías (como por ejemplo los babuinos) en las que los individuos ocupan distintas categorías sociales para reconocer en qué lugar están dentro del grupo y cuál es su rol social. Más aún, el reconocimiento propio es importante en los animales territoriales, para proteger y defender su territorio (donde se encuentran alimentos, refugios y parejas) de intrusos.

Volviendo al ejemplo del delfin y como en muchos otros animales, el sonido es usado para comunicarse, sin embargo, los animales también dependen de otros sentidos para enviar y recibir mensajes (Fig. 2).

LA COMUNICACIÓN SE PUEDE ESTABLECER A TRAVÉS...

- **de la Química** (Fig. 2A); las señales químicas juegan un rol importante en el comportamiento y comunicación animal, una sustancia química puede transmitir un mensaje entre organismos de la misma especie o de distintas especies. Las sustancias químicas son producidas por glándulas especializadas unicelulares o pluricelulares (Fig. 2A1) ubicadas en distintas regiones del cuerpo de los animales que son liberadas al exterior, pudiendo ser volátiles como las producidas por el zorrino (Fig. 2A2) o, no volátiles, cuando son depositadas sobre un sustrato, como lo hacen las lagartijas. Las sustancias químicas tienen muchos usos, como ser, se pueden usar para marcar y/o defender un territorio, encontrar una pareja o indicarles a otros donde encontrar comida. Son captadas por células sensitivas del epitelio olfatorio, en la nariz, si son volátiles (Fig. 2A3). Cuando las sustancias son no volátiles, son captadas por células sensitivas del órgano vomeronasal o de Jacobson (órgano sensorial presente en la mayoría de los tetrápodos generalmente comunicado con la boca) (Fig. 2A4) hasta donde son llevadas por la lengua como ocurre en lagartijas y víboras (Fig. 2A5), animales altamente dependientes de este órgano accesorio al olfatorio. En este grupo de animales, al estar el órgano vomeronasal separado de la cavidad nasal pero conectado con la boca (a través de un conducto), llegan a él las señales químicas recogidas por la lengua.

- **de la Visión** (Fig. 2B): la comunicación puede realizarse de diferentes maneras. Una de ellas es por medio de flashes de luz como los producidos por el macho de una luciérnaga (Fig. 2B1) para hacerle saber a la hembra que está listo para aparearse; otro modo de interactuar es mediante los colores como el pavo (Fig. 2B2), que extiende sus plumas en

respuesta a las hembras o, el pulpo (Fig. 2B3), que despliega los colores azules como defensa. Otra forma muy común de comunicación visual es por medio de movimientos, que son llamados "despliegues visuales", como los realizados por los lagartos (Fig. 2B4). Son usados para comunicar diferentes mensajes como por ejemplo miedo, deseo de aparearse, el lugar dónde encontrar alimento, si hay un peligro cerca o si es momento que un grupo se mueva a un nuevo lugar. Muchos de estos despliegues tienen significado para los miembros de la misma especie, sin embargo, otros pueden tenerlo también para individuos de otras especies, como son los despliegues de amenaza, que son una advertencia hacia un potencial oponente.

Como es sencillo de darse cuenta, todas estas formas de comunicación dependen de los ojos del receptor y que este sea capaz de reconocer el mensaje (Fig. 2B4).

- **del Tacto** (Fig. 2C): muchos animales utilizan el tacto para comunicarse, desde las arañas y las abejas hasta los mamíferos, siendo en muchos casos muy difícil distinguir donde finaliza el uso de un sentido y comienza el uso de otro. Por ejemplo, cuando algunos machos de arañas de jardín cortejan a las hembras, suelen realizar un "baile" sobre su tela, como un despliegue visual, pero que también hace vibrar la tela de la hembra. Algunos investigadores creen que estas vibraciones son una forma del macho de transmitirle a la hembra el mensaje de que no es una potencial "comida". Uno de los comportamientos más usados por los animales que implican el tacto es el acicalamiento o también llamado "grooming", que es común en aquellos que presentan diferentes parásitos externos. El "acicalamiento social", cuando un animal acicala a otro (Fig. 2C1), no solo es por higiene, sino que en muchos casos refuerza las relaciones entre los miembros de un grupo. En otros casos como los primates, tocarse es una manera de reconfortarse unos a otros, como el abrazo en los chimpancés (Fig. 2C2) que los investigadores piensan es una manera de disminuir el estrés de recibir una agresión por parte de otro. Algunos órganos sensoriales ampliamente distribuidos en el tegumento del todo el cuerpo (Fig. 2C3), como los corpúsculos de Meissner (Fig. 2C4) y Paccini (Fig. 2C5), son los responsables de responder al tacto y la presión.

Interesantemente, una forma especial usada por los "peces cuchillos" del sentido del tacto, es la comunicación entre miembros de la misma especie mediante señales eléctricas (Fig. 2D). Estos peces que habitan algunos ríos de Sudamérica y África, presentan un órgano eléctrico en su cola (Fig. 2D1) que emiten señales eléctricas que son percibidas por electrorreceptores de morfología variada ubicados en el dorso del animal (Fig. 2D2), en la región nasal (Fig. 2D3) y en un apéndice rostral móvil, el "Schnauzenorgan" (Fig. 2D4).

- **del Sonido** (Fig. 2E): el sonido es una forma de comunicarse bastante común y extendida en el reino animal ya que tiene muchas ventajas, como transmitir un mensaje tanto de día como de noche y en todas direcciones, lo que significa que el mensaje puede ser recibido por muchos animales a la vez sin tener que ver a quién envía el sonido, incluso también puede viajar bajo el agua. Aunque todas estas características son también compartidas con las señales químicas, los sonidos viajan mucho más rápido que las sustancias químicas. Muchos animales pueden escuchar y hacer sonidos

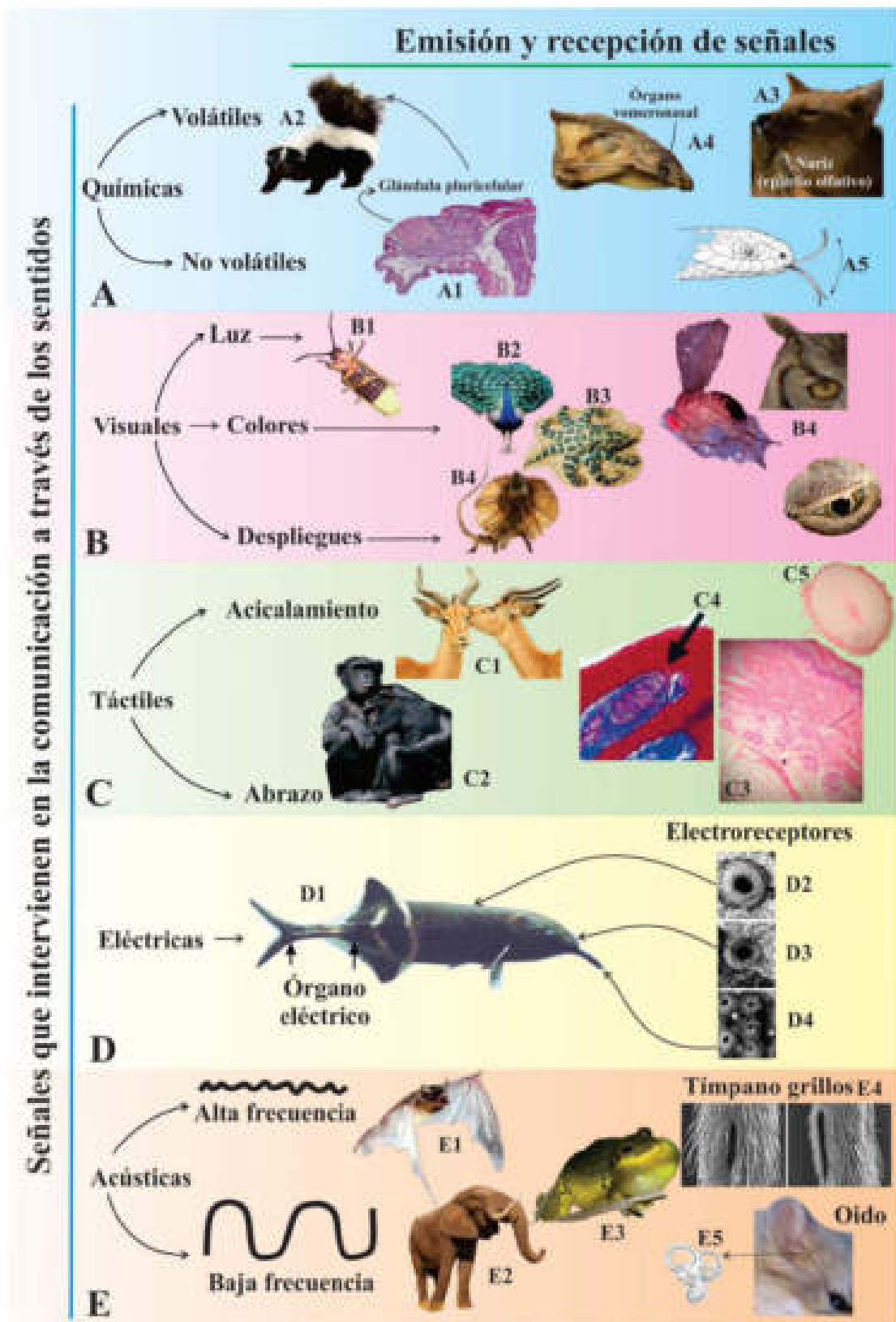


Figura 2: Principales señales y órganos asociados que intervienen en la comunicación señalando los sistemas: A- químicos; B- visuales; C- táctiles; D- eléctricos y E- acústicos.

que los humanos no podemos escuchar, este es el caso de los murciélagos (Fig. 2E1) que usan el ultrasonido o sonidos de alta frecuencia o el de los elefantes (Fig. 2E2) que usan sonidos de baja frecuencia para comunicarse entre ellos. En otros casos, los sonidos emitidos por los animales nos son muy familiares y podemos escucharlos, como es el caso de las ranas y sapos cuando cantan (Fig. 2E3) en la época de apareamiento lo mismo que el realizado por los grillos machos llamado estridulación. Un tipo especial de sonidos realizado por la mayoría de los vertebrados, son las llamadas de alarma, emitidas para alertar a los miembros de un grupo sobre un peligro. Todos los ejemplos mencionados, es decir los insectos, los murciélagos, las ranas, los reptiles y las aves presentan estructuras especiales que les permiten percibir los sonidos (Fig. 2E4,5). Los grillos, por ejemplo, presentan membranas timpánicas (Fig. 2E4), mientras que, en los vertebrados, una estructura dentro del oído, que es parte del aparato vestibular (Fig. 2E5), que es la encargada de la audición.

UN EJEMPLO DE TRABAJO EN COMUNICACIÓN QUÍMICA Y VISUAL EN EL LABORATORIO EN LAGARTIJAS

El género de lagartijas *Liolaemus*, es el segundo más diverso de Sudamérica, está formado por aproximadamente 260 especies (Uetz et al., 2018) las cuales se distribuyen abarcando una gran variedad de ambientes que van desde el nivel del mar hasta más de 5000 msnm, y desde Perú hasta Tierra del Fuego. Presentan una biología muy variada en distintos aspectos; hay especies ovíparas, vivíparas y otras con retención de huevos hasta ponerlos con el embrión casi completamente desarrollado (e.g. Schulte II et al. 2000); especies herbívoras, omnívoras e insectívoras (e.g. Espinoza et al. 2004); especies termorreguladoras eficientes que mantienen sus temperaturas corporales constantes dentro de ciertos rangos (e.g. Valdecantos et al. 2013) y otras cuyas temperaturas varían ampliamente, siendo poco termorreguladoras.



Figura 3: Fotografía de la cloaca de un macho de *Liolaemus irregularis*.

Además, presentan una diversidad de caracteres morfológicos que varían entre especies y, dentro de las especies, entre sexos e individuos de un mismo sexo (e.g. Valdecantos et al. 2007). Entre estos últimos, presentan variación en número y presencia de glándulas, que se abren en la región de la cloaca (Fig. 3), productoras de sustancias químicas y, además presentan variación en los colores corporales, los cuales permiten diseñar una variedad de experimentos para estudiar cómo se comunican estas lagartijas intraespecíficamente (entre individuos de la misma especie). El estudio de la modalidad química y visual está muy explorado en lagartijas y víboras en general (que usan principalmente ambas modalidades), sin embargo, ambas formas de comunicación (química y visual) no son igualmente relevantes en las distintas especies (Labra 2008).

Cuando se diseñan experimentos, estos pueden hacerse en el lugar donde habitan las lagartijas o en el laboratorio. La decisión de dónde hacerlo, depende de la pregunta que queremos abordar y de las posibilidades reales que tengamos de trabajar en el campo o el laboratorio. En el IBIGEO, instituto donde desarrollamos nuestras investigaciones, realizamos experimentos en el campo y el laboratorio. De estos últimos, a continuación, vamos a describir un ejemplo en las lagartijas de cómo estudiamos la comunicación química y visual en este particular grupo de animales. Para entender mejor, vamos a definir una pregunta diferenciándola en el caso de cada sentido. Para estudiar la parte química, la pregunta sería: ¿pueden las lagartijas adultas de una especie reconocer las secreciones químicas de otros individuos adultos de su misma especie? y una pregunta semejante pero abordada desde la parte visual sería: ¿pueden las lagartijas adultas de una especie reconocer visualmente, mediante despliegues comportamentales a otros individuos adultos de su misma especie? Para responder ambas preguntas el diseño del experimento en cada caso debe ser distinto, sin embargo, hay actividades previas a los experimentos que son comunes en ambos casos (Fig. 4).

ANTES DE LOS EXPERIMENTOS QUÍMICOS Y VISUALES

Las lagartijas se colectan en el campo con una caña con lazo (A) y son colocadas individualmente en bolsas de tela con su correspondiente identificación (C) para ser transportadas al laboratorio experimental.

En el laboratorio experimental los animales son medidos y pesados con instrumentos específicos (D) y se determina su sexo, cuando es posible, a partir de características morfológicas externas.

Cada lagartija se coloca en una caja de plástico individualizada (E) con su correspondiente identificación. Las cajas tienen una base de arena, un pocillo de barro que sirve como refugio y agua para aclimatación, un pocillo más pequeño con agua (F) y serviles como "hogar" de los animales durante el tiempo que dura el experimento.

Las cajas se encuentran en estantes en el laboratorio (G) y a las mismas les Rega bar y cubre mediante reflectores colocados arriba de ellas, que están conectados a un reloj automático programado para encenderse a las 06h y apagarse a las 20h automáticamente. Este periodo de tiempo corresponde a las horas del día durante las cuales las lagartijas están activas en su hábitat. El laboratorio es mantenido a la temperatura típica del ambiente donde viven las lagartijas durante el día con un aire acondicionado.

Las lagartijas permanecen en sus cajas aproximadamente una semana, periodo denominado aclimatación, y es el tiempo en el cual estas se habitúan al nuevo ambiente (es decir, a la caja) y depositan sobre la arena sus heces y secreciones producidas por la piel, glándulas olfativas y glándulas prelocales si están presentes.

Figura 4; Resumen de los pasos previos a realizar un experimento químico y visual en el laboratorio.

Previo a los experimentos, es necesario que las lagartijas una vez llegadas del campo experimenten un período de aclimatación de por lo menos una semana (sin hacer experimentos, solo comer y asolearse). El número de pruebas que se realiza en cada set, químico y visual, es variable y también depende de cuan específica queremos que sea la respuesta a la pregunta. Independientemente de la cantidad de pruebas, siempre es necesario hacer descansar por lo menos dos días a las lagartijas que realizan la prueba o focales (Tabla 1), antes de realizar una nueva; durante estos días el

Características	Modalidad sensorial		
	Químico	Visual	
Lagartija focal	El individuo que realiza el experimento (nos interesa conocer su	El individuo que realiza el experimento (nos interesa conocer su respuesta visual)	
Lagartija tratamiento	El individuo propietario de la caja usada en el experimento por la lagartija focal, donde depositó sus secreciones químicas	El individuo colocado al frente de la lagartija focal, detrás de un vidrio transparente, en la caja experimental	
Caja experimental	Caja solo con base de arena con las secreciones químicas de la lagartija tratamiento	Pecera de vidrio dividida a la mitad por un vidrio transparente con arena nueva	
Filmación	Una cámara ubicada arriba de la caja experimental	Dos cámaras, una frontal y otra lateral en la mitad donde está la lagartija focal	
Variables registradas en la lagartija focal	- 1ra latencia: tiempo que pasa desde que la lagartija focal es puesta en la caja experimental hasta que realiza un primer comportamiento	El primer comportamiento considerado es el primer lamido realizado por la lagartija focal en la caja experimental	El primer comportamiento considerado es cualquier movimiento realizado por la lagartija focal luego de realizar contacto visual con la lagartija tratamiento
	- Tiempo de filmación después de la 1er latencia	7 minutos	10 minutos
	- Algunas variables registradas en la lagartija focal durante el tiempo de filmación	- Número de lamidos totales a cualquier lado - Número de lamidos totales a la arena - Realización de comportamientos de marcado de territorio como refregar la cloaca contra la arena o defecar - Tiempo total de movimiento de la lagartija focal en la caja experimental	- Número de cabeceos - Número de movimiento de los miembros anteriores - Cambios corporales - Movimientos de cola - Otros despliegues visuales

Tabla 1: Comparación de las características involucradas en los experimentos de comunicación química y visual.

individuo solo se alimentará, tomará agua y se asoleará en su caja "hogar", siendo perturbado lo menos posible. El tiempo que dura una lagartija realizando una prueba, donde la realiza, que comportamientos se observan y como se registran se encuentran descritos en la Tabla 1. En la Figura 5, se observa y se detalla la secuencia de pasos en el laboratorio durante la realización de una prueba de química. Por cada set de experimentos, para responder la pregunta inicial, cada lagartija focal realiza 2 pruebas (Tabla 2).



Figura 5 Esquema de la secuencia de pasos en el laboratorio durante la realización de una prueba de química.

	Experimentos químicos	Experimentos visuales
Prueba 1	Caja experimental con secreciones de otro lagarto de la misma especie (conespecífico)	Caja experimental control, dividida con un vidrio con un solo lagarto, el focal
Prueba 2	Caja experimental control, sin secreciones	Caja experimental control, dividida con un vidrio con un solo lagarto, el focal

Tabla 2: Comparaciones entre los experimentos químicos y visuales.

Los experimentos control se realizan para tener un punto de referencia con el cual comparar la conducta del lagarto en una caja experimental; si su conducta en la caja experimental es distinta a la conducta en la caja control, se interpreta que la lagartija reconoce química y/o visualmente al conespecífico. Al finalizar los sets experimentales, un veterinario controla el estado de salud de cada lagartija y que se alimente y tome agua con normalidad. Luego de un par de días son liberadas en el punto exacto dónde se las colectó (tomados con GPS).

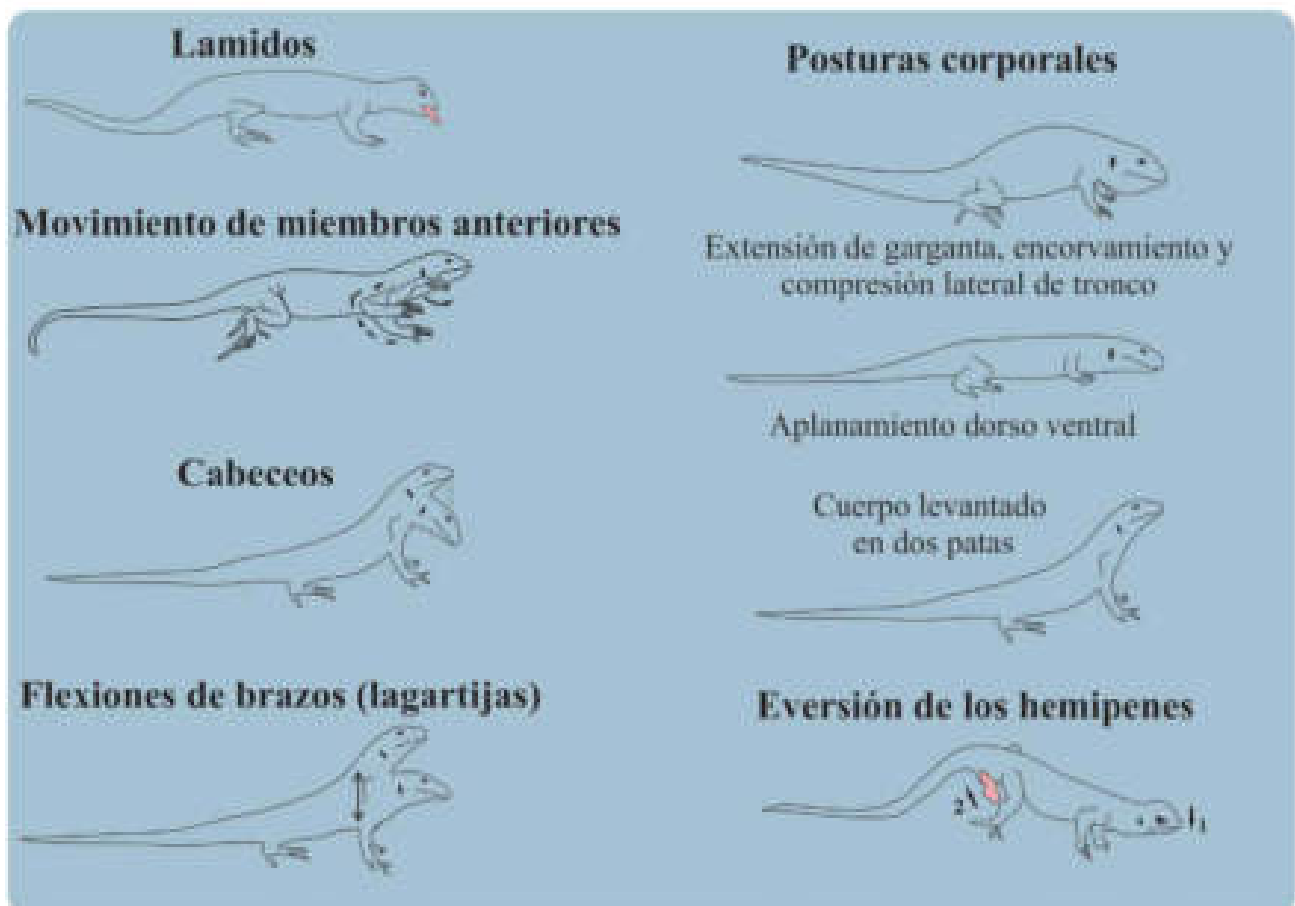


Figura 6: Principales comportamientos observados durante la realización de los experimentos químicos y visuales.

Las filmaciones de las pruebas experimentales son guardadas en una computadora para luego ser observadas detenidamente con programas especiales que permiten agrandar la imagen, acelerarla o desacelerarla. De cada video se registran las conductas de la lagartija focal que son específicas según el set de experimentos, químicos o visuales (Fig. 6).

Teniendo en cuenta que este grupo de lagartijas presenta una gran cantidad de especies (más de 260), distribuidas desde Perú hasta Tierra del fuego y desde Brasil hasta las de Chile y, que presentan variaciones respecto a las glándulas secretoras de la cloaca; los experimentos realizados indicarían que aquellas sin glándulas en ambos sexos, se comunicarían predominantemente a través de la visión, mientras que, aquellas con glándulas secretoras en ambos sexos, lo harían predominantemente mediante el olfato.

EN CONCLUSIÓN...

Podemos observar que el proceso de comunicación es fundamental y está presente en todos los animales; para ello los seres vivos utilizan diferentes órganos especializados en recibir diferentes tipos de señales comunicativas que viajan a través de distintos medios y canales. Así también, el estudio de los sistemas sensoriales y de la comunicación es complejo, por lo que es necesario aislar cada sistema sensorial o canal comunicativo para poder estudiarlo. En nuestro laboratorio, tomando como objetos de estudios a las lagartijas, explicamos cómo abordamos diferentes preguntas relacionadas al uso de la comunicación química y visual, y como determinamos sus respuestas en base al comportamiento exhibido por parte de los lagartos.

El acto comunicativo podría verse metafóricamente como un perpetuo acto escénico del cual todos somos actores y espectadores al mismo tiempo y que se encuentra en continua evolución.

REFERENCIAS

Espinoza RE, Wiens JJ, Tracy CR. 2004. Recurrent evolution of herbivory in small, cold-climate lizards: breaking the ecophysiological rules of reptilian herbivory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 101:16819-16824.

Hoffmann JN, Montag AG, Dominy NJ. 2004. Meissner corpuscles and somatosensory acuity: The prehensile appendages of primates and elephants. *The Anatomical Record Part A* 218A: 1138-1147.

Hollmann M, Engelmann J, von der Emde G. 2008. Distribution, density and morphology of electroreceptor organs in mormyrid weakly electric fish: Anatomical investigations of a receptor mosaic. *Journal of Zoology* 276: 149-158.

Kardong KV. 2012. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution*. Sixth Edition, Mc Graw Hill. New York. 793 Pp.

Labra A. 2008. Multi-contextual use of chemosignals by *Liolema* lizards. En: *Chemical Signals in Vertebrates* 11, p. 357-365. Hurst, J., Beynon, R., Roberts, S., Wyatt, T., Eds., New York, Springer.

Lobo F. 2010. *Diccionario de anatomía de los cordados*. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. 238 Pp.

Schneider ES, Römer H, Robillard T, Schmidt AKD. 2017. Hearing with exceptionally thin tympana: ear morphology and tympanal membrane Vibrations in Eneopterine Crickets. *Scientific Reports* 7: 15266.

Schulte JA, Macey JR, Espinoza RE, Larson A. 2000. Phylogenetic relationship in the iguanid lizard genus *Liolaemus*: Multiple origins of viviparous reproduction and evidence for recurring Andean vicariance and dispersal. *Biological Journal of the Linnean Society* 69: 75-102.

Tomecek SM. 2009. *Animal Behavior: Animal communication*. Chelsea House Publishers. New York. 104 Pp.

Uetz P, Freed P, Hošek J. 2018. The reptile database. <http://www.reptile-database.org>. Accessed July 18.

Valdecantos MS, Lobo F. 2007. Dimorfismo sexual en *Liolaemus multicolor* y *L. irregularis* (Iguania: Liolaemidae). *Revista Española de Herpetología* 21: 55-69.

Valdecantos S, Martínez V, Lobo F, Cruz FB. 2013. Thermal biology of *Liolaemus* lizards from the high Andes: Being efficient despite adversity. *Journal of Thermal Biology* 38: 126-134.

Wyatt TD. 2014. *Pheromones and Animal Behavior. Chemical Signals and Signature Mixtures. Second Edition*. Cambridge University Press. New York. 406 Pp.

FUENTE ORIGINAL DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1:

Tomecek SM. 2009. *Animal Behavior: Animal Communication*. Chelsea House Publishers. New York. 104 Pp.

Figura 2:

Lagarto *Chamaeleo lemurinus*: <https://goo.gl/images/2UJts9K>

Murciélago: <https://www.ideal.es/sociedad/201701174/murcielagos-20170109103452.html>

Elefante: <https://hubs America.gov/es/buenas-noticias-para-los-elefantes-en-2016-los-precios-del-marfil-se-desploman/>

Zorrino: <https://www.pinterest.es/pin/570801690235529030/>

Pez eléctrico: en von der Emde G. 2006. Non-visual environmental imaging and object detection through active electrolocation in weakly electric fish. *Comparative Physiology A* 192: 601-612.

Electroreceptores: en Holmann M, Engelmann J, von der Emde G. 2008. Distribution, density and morphology of electroreceptor organs in mormyrid weakly electric fish: Anatomical investigations of a receptor mosaic. *Journal of Zoology* 276: 149-158.

Timpanos grillos: en Schneider ES, Römer H, Robillard T, Schmidt AKD. 2017. Hearing with exceptionally thin tympana: ear morphology and tympanal membrane vibrations in eneopterine crickets. *Scientific Reports* 7: 15286.

Corpúsculo de Meissner: en Hoffmann JN, Montag AG, Dominy NJ. 2004. Meissner corpuscles and somatosensory acuity: The prehensile appendages of primates and elephants. *The Anatomical Record Part A* 218A: 1138-1147.

Esquema de serpiente y aparato vestibular: en Kardong KV. 2012. *Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution. Sixth Edition*. Mc Graw Hill. New York. 793 Pp.

Lucémaga, pavo real, pulpo, impala y chimpancé: en Tomecek SM. 2009. *Animal Behavior: Animal communication*. Chelsea House Publishers. New York. 104 Pp.

Foto saco vocal rana: Michael Weymann

El resto de las fotografías: Soledad Valdecantos y Mario Ruiz Monachesi

Figura 3:

Valdecantos S, Martínez V, Labra A. 2014. Comparative morphology of *Liolaemus* lizards preloacal glands. *Acta Herpetologica* 9 (2): 147-158.

Figuras 4 y 5: Soledad Valdecantos y Mario Ruiz Monachesi

Figura 6:

Movimiento de los miembros anteriores: Halloy M, Castillo M. 2002. Forelimb wave displays in lizard species of the genus *Liolaemus* (Iguania: Liolaemidae). *Herpetological Natural History* 9 (2): 127-133.

Cabeceos y flexiones de brazo/Posturas: Labra A, Carazo P, Desfilis E, Font E. 2007. Agonistic interactions in a *Liolaemus* lizard: structure of head bob displays. *Herpetologica* 63(1): 11-18.

Cabeceos y flexiones de brazo/Redibujado sobre Posturas/Eversión de los hemipenes: Ruiz-Monachesi MR, Paz AV, Quipildor AM. 2018. Hemipenes eversion behavior: a new form of communication in two *Liolaemus* lizards (Iguania: Liolaemidae). *Canadian Journal of Zoology*. doi: <https://doi.org/10.1139/cjz-2018-195>

Hantavirus en Salta y Argentina

López WR¹; Kehl S²; Díaz Fernández M¹; Hoyos CL¹; Escalada A¹;
Bellomo C³; Martínez VP³; Krolewiecki AJ¹; Gil JF^{1,2*}

¹Instituto de Investigaciones de Enfermedades Tropicales,
Universidad Nacional de Salta, Sede Grán

²Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO-CONICET)

³Laboratorio Nacional de Referencia para Hantavirus, Servicio Biología Molecular,
Departamento Virología-INEI-ANLIS "Dr C. G. Malbrán" Buenos Aires

* jjgil@conicet.gov.ar

¿QUÉ ES HANTAVIRUS?

Los virus conocidos como hantavirus, pertenecientes a la familia *Hantaviridae*, son agentes causales de dos enfermedades en humanos: La fiebre hemorrágica con síndrome renal (FHSR), presente en todo el mundo, aunque predominante en Europa y Asia y el síndrome pulmonar por hantavirus (SPH) detectado únicamente en las Américas (Yoshimatsu et al 2018). Estas enfermedades son zoonóticas, es decir, son transmitidas desde los animales que actúan como reservorio hacia los humanos.

¿CÓMO SON LOS SÍNTOMAS DEL SPH?

El período desde el ingreso del virus al organismo de la persona hasta el momento en que comienzan los síntomas se denomina período de incubación. El SPH tiene un período de incubación de entre 7 a 30 días y luego de este lapso de tiempo comienzan los síntomas de la enfermedad. Es importante destacar que esta enfermedad se denomina síndrome ya que produce un conjunto de síntomas que no son específicos y puede confundirse con otras afecciones. El transcurso del SPH puede dividirse en 4 fases desde el inicio de los síntomas (Ministerio de Salud, 2016):

Cuadro 1

Fases	Síntomas
1ª fase: FEBRIL	Fiebre de hasta 38,5 °C, escalofrío, dolor muscular, sensación de cansancio, vómito y diarrea. Dura entre 3 a 5 días.
2ª fase: CARDIOPULMONAR	Caracterizada por la presencia de shock y edemas pulmonares (acumulación anormal de líquido en los pulmones) y miocarditis (agrandamiento anormal del corazón). Presencia de dificultad en la respiración, tos, falla cardíaca con probabilidad de muerte.
3ª fase: DIURÉTICA	Se caracteriza por la reabsorción del líquido acumulado en los pulmones y su eliminación mediante la orina. Además, se observa una normalización de la fiebre y recuperación del shock.
4ª fase: CONVALECENCIA	Esta fase puede durar hasta 2 meses. Si bien los pacientes suelen recuperarse completamente, pueden existir trastornos visuales y del oído, debilidad muscular extrema y persistencia de la miocarditis.

Los síntomas de la enfermedad son reconocidos por un profesional de salud, pero suelen ser ignorados por la población en general. Suele avanzar hasta cerca de la fase cardiopulmonar antes de que la persona infectada se percate que es un problema grave. Es por ello que es muy importante que una persona que estuvo en un área de riesgo de transmisión de hantavirus, ante la presencia de síntomas compatibles con los observados en la fase 1 y 2, concorra oportunamente a un centro sanitario para recibir el diagnóstico y el tratamiento correspondiente.

¿COMO SE DIAGNOSTICA?

En general, esta infección debe sospecharse ante todo en pacientes con un síndrome febril inespecífico y posible contacto con roedores silvestres o sus excreciones. En esta situación debe solicitarse hemograma y radiografía de tórax.

Un caso sospechoso es confirmado cuando resulta positivo mediante pruebas de laboratorio como puede ser la detección de anticuerpos o de ARN del virus en muestras de sangre del paciente. Cabe recordar que nuestro organismo genera anticuerpos como método de defensa contra agentes extraños que ingresan al cuerpo. Por ello si detectamos anticuerpos en nuestra sangre es porque el virus ha ingresado a nuestro organismo. Por otro lado, cuando hablamos de detección de ARN del virus, nos referimos a encontrar secuencias de la información genética del mismo. Si encontramos esa secuencia de información genética en la muestra de sangre es porque el virus está presente en la persona de la cual se tomó la muestra.

¿COMO SE TRATA?

Hasta la actualidad no se cuenta con ningún tratamiento específico mediante medicamentos, siendo el mantenimiento del paciente, con asistencia respiratoria cuando lo requiere, el tratamiento recomendado. Aunque la infección por hantavirus es una enfermedad potencialmente mortal, varios de los pacientes cursan por un cuadro de gravedad moderada, que necesita una adecuada hidratación y del uso de antipiréticos y antiinflamatorios. Cabe destacarse que cuando nos referimos a adecuada hidratación estamos hablando de una hidratación baja ya que la colocación de suero puede acelerar el proceso en la fase cardiopulmonar facilitando el edema pulmonar y la correspondiente muerte por asfixia.

¿CUÁLES SON LOS RESERVORIOS?

Con el término reservorio nos referiremos a los animales que se mantienen vivos portando el virus y son capaces de transmitirlo a otros individuos de la misma especie o de otras especies, incluido el ser humano.

Los principales reservorios de hantavirus en América son roedores de la subfamilia Sigmodontinae. En Argentina se se han detectado varias especies de roedores sigmodontinos infectados naturalmente por Hantavirus (Levis et al., 1997; Calderon et al., 1999; Della Valle et al., 2002; Sosa Estani et al., 2002; Puerta et al., 2006; Enria et al., 2014) que se mencionan en el Cuadro 2:

Reservorio	Localización geográfica	Cuadro 2:
<i>Oligoryzomys chacoensis</i> [†]	Salta y Jujuy	[†] Especies de roedores considerados reservorios de hantavirus. + Especies de roedores de los que se aisló hantavirus, sin evidencia de transmisión a humanos. * Especies de roedores que se detectaron con anticuerpos contra hantavirus.
<i>Oligoryzomys longicaudatus</i> [†]	Río Negro, Neuquén y Chubut	
<i>Oligoryzomys flavescens</i> [†]	Salta, Jujuy, Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos	
<i>Oligoryzomys nigripes</i> [†]	Misiones	
<i>Calomys callosus</i> ⁺	Jujuy	
<i>Akodon varius</i> ⁺	Salta	
<i>Akodon simulator</i> ⁺	Jujuy	
<i>Necomys tenellus</i> [*]	Santa Fe	
<i>Bolomys obscurus</i> [*]	Buenos Aires	
<i>Akodon azarae</i> [*]	Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos	

En nuestro país los roedores del género *Oligoryzomys* (Fig. 1), denominados comúnmente "collargos", son los reservorios comúnmente asociados a la enfermedad. Sus características distintivas son la cola (entre 11-15 cm) más larga que el resto del cuerpo (entre 8-12 cm), orejas redondeadas y el pelaje color ocreo con matices rojizos. Son omnívoros y de hábitos nocturnos.

Estos pequeños mamíferos suelen habitar diversos ambientes como: a) Bosques húmedos: hay que tener en cuenta que el ambiente originario del cual proceden estos roedores es el silvestre, principalmente cerca de cursos de agua; b) Entornos rurales donde la presencia abundante de comida, de refugios y cría pueden favorecer su mantenimiento y proliferación; c) Además pueden hallarse invadiendo zonas periurbanas y barrios periféricos.

Los roedores infectados con el virus no padecen la enfermedad o bien presentan efectos leves y pueden infectar fácilmente un importante grupo de roedores, ya que transportan el virus de meses a años, y a veces de por vida por lo que la infección es persistente (Calderón et al., 2018). Cabe destacar que a partir de la semana 8 de infección del roedor disminuye la carga viral expulsada en las excretas.

Otros potenciales reservorios también detectados en América son los murciélagos (Chiropteros), topos y musarañas (Soricomorpha) (Sabino-Santos et al., 2015).

¿CÓMO SE TRANSMITE?

La transmisión del virus a los humanos se produce principalmente cuando las personas inhalan aerosoles infecciosos provenientes de las excreciones (heces, orina y saliva) de roedores infectados (Fig. 2). También puede ocurrir por contacto con algún material contaminado con dichas excreciones, que es llevado a la nariz o boca, o debido a la mordedura de ratones infectados (OPS, 1998). Existe casos aislados de transmisión persona a persona, en el sur y centro de Argentina (Martínez, 2005).



Figura 1. *Oligoryzomys* sp., capturado en zona rural, Departamento de Orán, Salta.



Figura 2. Modo de transmisión de Hantavirus a humanos y entre roedores.

¿CÓMO ES LA SITUACIÓN EN NUESTRO PAÍS?

En Argentina los casos de SPH se distribuyen geográficamente en 4 áreas endémicas: Noroeste, Noreste, Central y Sur (Fig. 3).

Las regiones Noroeste y Central acumulan la mayor cantidad de casos registrados en Argentina seguidas por las regiones Sur y Noreste, 49,7%, 32,9%, 16,5% y 0,9% respectivamente. La ocurrencia de los casos corresponde a 6 de las 18 ecoregiones de la Argentina: yunga, selva paranaense, chaco seco, pampa, delta del Paraná y Patagonia (Martínez et al., 2010).

Para la región Noroeste, en la provincia de Salta, Ferrer et al. (1998) evidenciaron altas tasas de prevalencia para hantavirus (17,1%) en pequeñas comunidades aborígenes de Orán y Santa Victoria Este. Otro estudio en poblaciones de áreas rurales y periurbanas de distintas localidades de los departamentos de Orán y General San Martín encontraron un 6,3% de infección global para hantavirus (Sosa Estani et al., 2002). En la provincia de Jujuy también se realizaron estudios en poblaciones humanas de la localidad de Yuto (Ledesma) que revelaron un 6,5% de prevalencia para hantavirus (Pini et al., 2003).

En la región Central, la provincia de Buenos Aires presenta la mayor cantidad de casos de SPH, donde el partido de La Plata y sus partidos vecinos son los principales focos de infección (Martínez et al., 2001 y 2010; Iglesias et al., 2016).

La provincia de Chubut es donde ocurrieron más casos de SPH en la región Sur. En esta misma provincia ocurrió un brote para el año 2018, en Epuyén (Ministerio de Salud y desarrollo Social, 2018). Ante la presencia de brotes de SPH en esta región deben tomarse medidas para evitar el contacto con secreciones y otros fluidos de humanos infectados, debido al posible riesgo de transmisión de persona a persona.

La región Noreste en los últimos años solo presentó un caso registrado de SPH en Misiones (Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 2018).

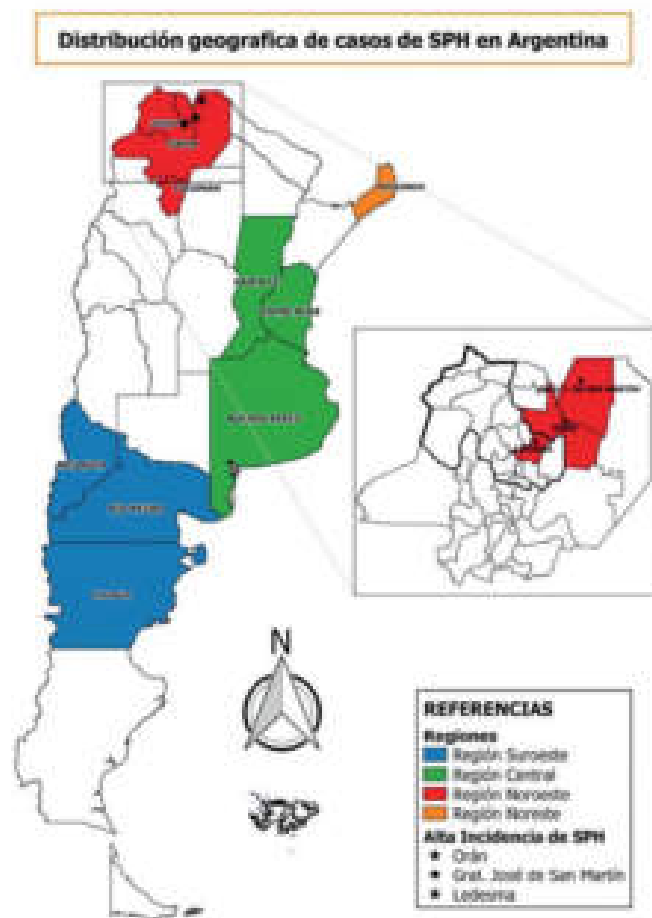


Figura. 3. Distribución de Hantavirus en el país. La zona de mayor incidencia en el Noroeste Argentino son los departamentos de Orán y Gral. San Martín en la provincia de Salta y Ledesma en la provincia de Jujuy.

¿CUÁLES SON LOS FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS CON EL HANTAVIRUS?

Vamos a definir factor de riesgo a todos aquellos factores genéticos, inmunológicos, comportamentales, culturales, socio-económicos y macro-ambientales que pueden favorecer el contagio del virus a los humanos. El contacto de los reservorios (o sus excreciones) con el humano generalmente ocurre por (Calderón et al., 1999; Martínez et al., 2010):

a) Introducción de las personas al hábitat silvestre de los roedores para realizar actividades recreacionales, laborales o de supervivencia como la caza, la pesca, la extracción de madera o para bañarse en cursos naturales de agua o canales de riego.

b) Colonización de roedores desde el ambiente silvestre hacia zonas rurales que poseen cultivos de distinta índole que les sirven de refugio y alimento. Estas áreas suelen tener algunas viviendas dispersas con galpones y depósitos dentro de los cuales los roedores pueden anidar y dejar una importante fuente de heces y orina con el virus. Las personas que viven en estos lugares o que concurren a los mismos, se encuentran en riesgo de infección.

c) Invasión de roedores silvestres infectados en domicilio y/o peri domicilio de viviendas de zonas periurbanas o de barrios periféricos que se encuentran colindantes a plantaciones o vegetación silvestre (Fig. 4).

Dado que el virus se inactiva con la luz solar, los lugares oscuros y cerrados por períodos prolongados representan uno de los factores de riesgo más importantes en la transmisión dentro de viviendas, galpones y depósitos. Otra cuestión a tener en cuenta en este contexto, es el hecho de que al barrer lugares como estos se levanta polvillo el cual puede vehicular pequeñas partículas con orina y heces y con ellas transportar el virus hasta las vías respiratorias de la persona que se encuentre barriendo (Fig. 2).

De estos tres escenarios los dos más importantes parecen ser el silvestre y el rural ya que los varones en edad laboralmente activa son los más frecuentemente afectados. Es posible que los cazadores y pescadores moviéndose de noche a través de la vegetación toquen con sus manos excretas de roedores y luego toquen alimentos con las manos contaminadas. También puede ocurrir que al barrer el campamento aspiren partículas virales adheridas a la tierra. Todas estas posibilidades se incrementan de noche ya que no hay luz solar y es el horario de actividad de los roedores.

También se sabe que las zonas desmontadas pueden tener una mayor cantidad de roedores infectados que las zonas donde el ecosistema se mantiene sin modificaciones. Esto es debido a que los desmontes producen una reducción de la diversidad eliminando gran parte de los depredadores y competidores naturales de los roedores. De esta manera las chances de contacto entre roedores infectados y no infectados aumentan y con ello también se incrementa la cantidad de roedores portadores del virus (Clay et al., 2009; Keesing et al., 2010).

Así mismo, cuando hablamos de barrios periféricos de las zonas urbanas que están expuestos al riesgo, estamos hablando de barrios o asentamientos pobres los cuales no cuentan con un saneamiento adecuado y las casas colindantes a las plantaciones o vegetación silvestre no cuentan con barreras físicas que las aislen de la invasión de roedores (Figs. 4, 5 y 6).

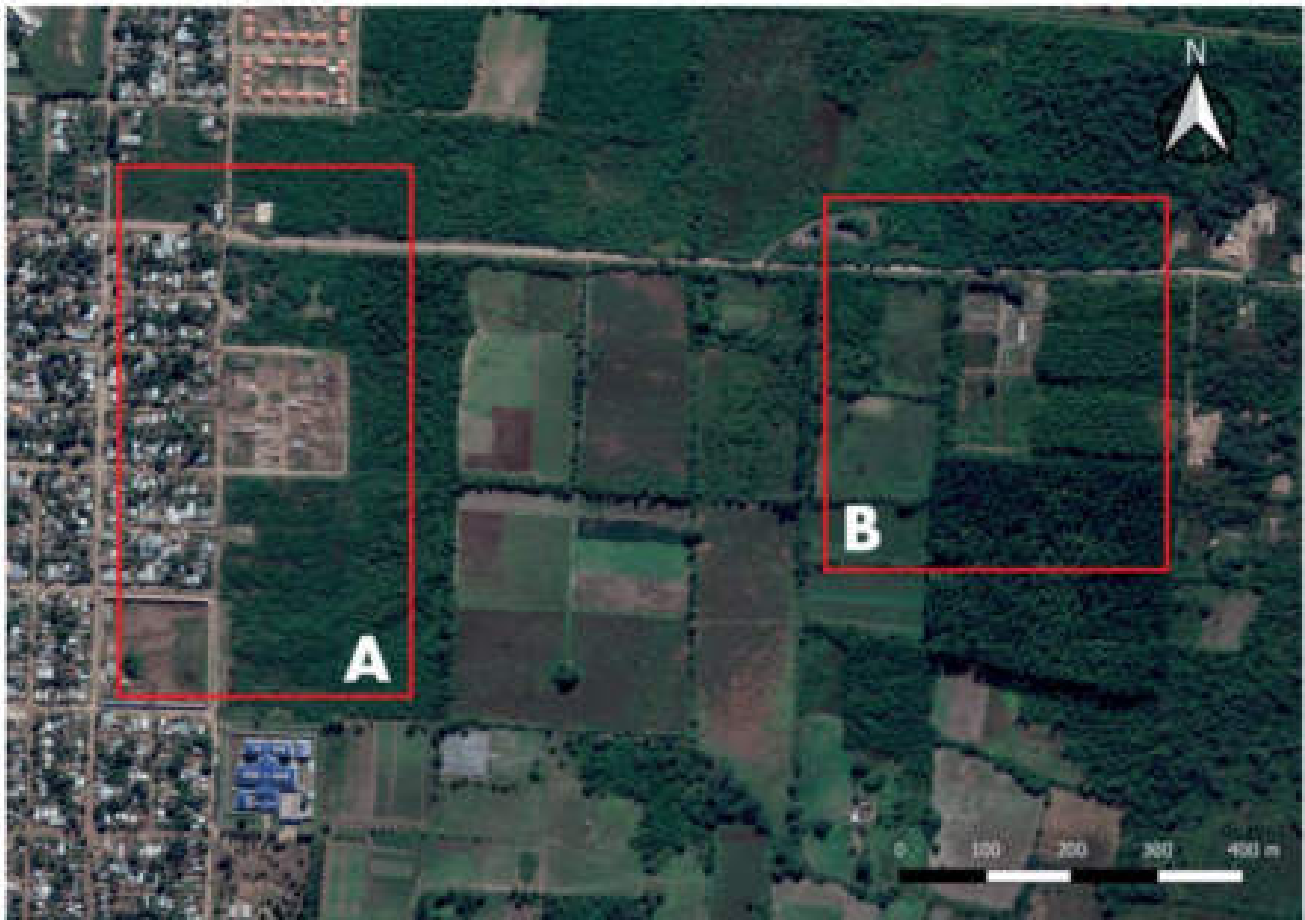


Figura 4. Zona sureste de San Ramón de la Nueva Orán. A) se observan barrios urbanos colindantes a vegetación silvestre. B) se ven casas rodeadas por plantaciones y vegetación silvestre.

En todos los casos y escenarios, el mal manejo de residuos puede representar un factor que favorezca la proliferación y mantenimiento de los roedores en un área determinada (Fig. 7).

Otro de los factores de riesgo reportados es la época del año. Se señala que en primavera y otoño se reportan todos o casi todos los casos ocurridos durante el año (Martínez et al., 2010; Della Valle et al., 2002). Esto se relaciona con la ecología y biología de los reservorios como así también con factores ambientales y actividades humanas.

Finalmente, cabe destacarse que actualmente se reconoce que no solo los factores ecológicos, las características del agente patógeno o el comportamiento de las personas son los que definen la presencia de la enfermedad. Los factores socioeconómicos y políticos de una región son también determinantes del riesgo de presencia y de transmisión de las enfermedades. De este modo, el desfinanciamiento del sistema de salud y el sistema científico pueden incidir negativamente sobre el bienestar de la población en general.



Figura 5. Vivienda colindante con vegetación en la localidad de Aguas Blancas.



Figura 6. Presencia de cultivos de caña de azúcar y de cuerpo de agua en zonas rurales del NOA, al lado de ellas se encuentran viviendas habitadas.



Figura 7. Micro basural al lado de vivienda en Hipólito Yrigoyen a 100m. del cañaveral.

¿COMO PREVENIR EL SPH?

La prevención y el control de la transmisión del Hantavirus dependen principalmente en reducir el contacto de las personas con los roedores o con sus excretas y en el caso de las regiones sur y centro del país tomar los recaudos para evitar la transmisión persona a persona. Por lo que es recomendable (Ministerio de Salud, 2016):

En las viviendas rurales, periurbanas o de barrios periféricos

- Ventilar los lugares cerrados antes de realizar actividades de cualquier tipo en los mismos (viviendas y galpones).
- Mantener las casas limpias, al momento de la limpieza humedecer el suelo para no levantar polvo.

- Utilizar guantes si se manipula elementos que se sospecha estar contaminados.
- Mantener los espacios peri domiciliarios libres de malezas.
- Lavarse las manos con jabón neutro y cambiarse la ropa luego de haber estado en lugares donde puedan vivir roedores.

- Evitar llevar las manos a la boca o rostro si tocó pasto u objetos recogidos del suelo.
- Tapar orificios del hogar donde puedan ingresar roedores.
- Si encuentra un roedor muerto o sus excretas, antes de manipularlo debe rociar con una solución de agua y lavandina y dejar que la solución actúe un tiempo antes de manipularlo.
- Colocar al sol todo elemento como ropa o muebles que hayan estado en una habitación cerrada con posible presencia de roedores.

En áreas silvestres

- No acampar cerca de malezas, basurales ni dormir en suelos donde se percibe signos de presencia de ratones o excretas de los mismos.
- Si toca el suelo y pasto que pudo haber sido orinado o defecado por roedores lavarse las manos antes de comer o de manipular utensilios de cualquier tipo.
- Si permaneció toda la noche pescando o cazando, colocarse y colocar al sol las pertenencias antes de ingresar al vehículo para emprender el regreso.

En áreas con transmisión persona-persona

- Cuando una persona es diagnosticada o hay sospecha de que padezca hantavirus, sus contactos directos deben asistir al médico ante los primeros síntomas.
- La persona infectada debe ser aislada en terapia intensiva.
- El personal médico que atiende a una persona infectada debe tomar los recaudos para evitar el contagio.

AGRADECIMIENTOS: PICT 2016-4213

REFERENCIAS

Calderón G., Pini N., Bolpe J., Levis S., Mills J., Segura E., Guthmann N., Cantoni G., Becker J., Fonollat A., Ripoll C., Bortman M., Benedetti R., Enria D. 1999. Hantavirus reservoir hosts associated with peridomestic habitats in Argentina. *Emerg Infect Dis.* Nov-Dec; 5 (6):792-7.

Calderón G., Brignone J., Martín M. L., Calleri F., Sen C., Casa N., Calli R., Sinchi A., Enria D., Levis S. 2018. Brote de Síndrome Pulmonar por Hantavirus, Tucumán, Argentina. *Medicina (Buenos Aires).* 78: 151-157.

Clay C.A., Lehmer E.M., Jeor S.S., Dearing M.D. 2009. Sin nombre virus and rodent species diversity: a test of the dilution and amplification hypotheses. *PLoS One.* Jul 31; 4(7): e6467.

Enria D.A., Lázaro M.E., Levis S. 2014. Hantavirus. *Virología Médica / Guadalupe Carballal y José Raúl Oubiña.* Cap.35: 623-626.

Gonzales Della Valle M., Edelstein A., Miguel S., Martínez V., Cortez J., Cacace M. L., Jurgelenas G., Sosa Estani S., Padula P. 2002. Andes Virus associated with Hantavirus Pulmonary Syndrome in northern Argentina and determination of the precise site of infection. *The American journal of tropical medicine and hygiene.* 66(6): 713-720.

Iglesias A. A., Bellomo C. M., Martínez V. P. 2016. Síndrome Pulmonar Por Hantavirus en Buenos Aires, 2009-2014. *Medicina (Buenos Aires)*. Vol. 76: 1-9.

Keesing F, Belden L.K, Daszak P, Dobson A., Harvell C.D., Holt R.D., Hudson P., Jolles A., Jones K.E., Mitchell C.E., Myers S.S., Bogich T, Ostfeld R.S. 2010. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature*. Dec 2; 468(7324): 647-52.

Levis S, Morzunov SP, Rowe JE, Enria D, Pini N, Calderon G, Sabbatini M, St Jeor SC. 1998. Genetic diversity and epidemiology of hantaviruses in Argentina. *J Infect Dis*. Mar; 177(3):529-38.

Martínez V. P., Colavecchia S., García Alay M., Suzuki B., Tricheri Amalia., Busto S., Rabinovich R., Padula P. 2001. Síndrome pulmonar por Hantavirus en la provincia de Buenos Aires. *Medicina (Buenos Aires)*. 61: 147-156.

Martínez V. P., Bellomo C., San Juan J., Pinna D., Forlenta R., Elder M., Padula P. J. 2005. Person-to-person transmission of Andes virus. *Emerging Infectious Diseases* Vol. 11, Nº 12, Dec. 1848-54.

Martínez V. P., Bellomo C. M., Cacace M. L., Suarez P, Bogni L, Padula P.J. 2010. Hantavirus pulmonary syndrome in Argentina, 1995-2008. *Emerg Infect Dis*. Dec; 16 (12):1853-60.

Ministerio de Salud y Desarrollo Social. Presidencia de la Nación. Alerta Epidemiológica. Aumento de casos de hantaviriosis en Epuen, provincia de Chubut. 19 de diciembre de 2018. En: <https://www.argentina.gob.ar/sites/.../2018-12-19-alerta-hantavirus-version-13hs.pdf>

Ministerio de Salud. Presidencia de la Nación. Enfermedades Infecciosas. Hantavirus: Diagnóstico de Hantavirus: Guía para el equipo de salud 2016. En: <http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000065cnt2016-guia-medica-hantavirus.pdf>.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1998. Hantavirus Pulmonary Syndrome in the Americas. *Temas de Actualidad*. 3(5): 351:353.

Pini N., Levis S., Calderón G., Ramírez J., Bravo D., Lozano E., Ripoll C., Jeor S., Ksiazek T.G., Barquez R. M., Enria D. 2003. Hantavirus infection in humans and rodents, northwestern Argentina. *Emerging infectious Disease*. 9 (9): 1070-1076.

Puerta H., Cantillo C., Mills J., Hjelle B., Salazar-Bravo J., Mattar Salim. 2006. Hantavirus del nuevo mundo. *Medicina (Buenos Aires)*. 66: 343-356.

Sabino-Santos G. Jr, Maia F.G., Vieira T.M., de Lara Muyaert R., Lima S.M., Gonçalves C.B., Barroso P.D., Melo M.N., Jonsson C.B., Goodin D., Salazar-Bravo J., Figueiredo L.T. 2015. Evidence of Hantavirus Infection Among Bats in Brazil. *Am J Trop Med Hyg*. Aug; 93(2):404-6.

Sosa-Estani S., Martínez V.P., González Della Valle M., Edelstein A., Miguel S., Padula P.J., Cacace M.L., Segura E.L. 2002. Hantavirus in human and rodent population in an endemic area for hantavirus pulmonary syndrome in Argentina. *Medicina (B Aires)*. 62(1):1-8.

Yoshimatsu K., Gamage C. D., Sarathkumara Y. D., Kulendiran T., Muthusinghe D. S., Nanayakkara N., Gunarathne L., Shimizu K., Tsuda Y., Arikawa J. 2018. Thailand orthohantavirus infection in patients with chronic kidney disease of unknown aetiology in Sri Lanka. *Archives of Virology*. <https://doi.org/10.1007/s00705-018-4053-x>

ISSN 1853-6700

Temas de Biología y Geología del Noa

Volumen 8, Número 3, Diciembre 2018

IBIGEO
INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA
www.ibigeo.conicet.gov.ar

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