

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Explorando el origen de los saladeros en el norte de la Amazonía
ecuatoriana**

Naia Andrade Hoeneisen

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Bióloga

Quito, 20 de diciembre de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Explorando el origen de los saladeros en el norte de la Amazonía
ecuatoriana**

Naia Andrade Hoeneisen

Esteban Suárez Robalino, PhD

Quito, 20 de diciembre de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Naia Andrade Hoeneisen

Código: 00211825

Cédula de identidad: 1727129726

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Los saladeros son puntos calientes de biodiversidad local donde los herbívoros grandes consumen suelos y agua ricos en minerales, especialmente sodio. Sin embargo, en la Amazonía occidental se sabe poco sobre cómo se originan estos lugares. Esta investigación exploratoria caracterizó los potenciales mecanismos que influyen en la formación de saladeros, con énfasis en la hidrología. Estudiamos cinco saladeros de interior de bosque en la Estación de Biodiversidad Tiputini (TBS), en la provincia de Orellana, Ecuador. Mapeamos las características hidrológicas superficiales y caracterizamos sistemáticamente la disponibilidad de sodio dentro y alrededor de los saladeros. Encontramos una fuerte relación entre las cabeceras de drenaje de agua y la ocurrencia de saladeros. Los saladeros tuvieron concentraciones de sodio más altas que el agua y el suelo del bosque circundante. Sin embargo, encontramos múltiples sitios que eran geomorfológicamente similares a saladeros con alto contenido de sodio, pero sin huellas de consumo animal. Más allá de la disponibilidad de sodio, puede haber factores adicionales, como el contenido de arcilla o la dureza del suelo, que determinan si los animales pueden usarlo como saladero. También creemos que el comportamiento de los animales y su cultura, influenciados por factores como el acceso al hábitat o el riesgo de exposición, podría ser otro mecanismo que determine el uso y formación de estos lugares. Esta investigación es un primer paso para comprender mejor el origen de los saladeros y cómo los mecanismos que los forman determinan los recursos que se vuelven disponibles para la vida silvestre. Esto se puede utilizar para evaluar mejor los impactos humanos en la conservación y la posible restauración de saladeros en la Amazonía occidental.

Palabras clave: sodio, hidrología, herbívoros, geofagia.

ABSTRACT

Mineral licks are local biodiversity hotspots where large herbivores consume soils and water rich in minerals, especially sodium. However, in the western Amazon there is little known about the mechanisms that originate these places. This exploratory research focused on characterizing the mechanisms that form mineral licks, with emphasis on hydrology. We studied five interior forest mineral licks at the Tiputini Biodiversity Station (TBS), in the province of Orellana, Ecuador. We mapped surface hydrological features and systematically characterized sodium availability within and around mineral licks. We found a strong relation between head water drainage and mineral lick occurrence. Mineral licks had higher sodium concentrations than the water and soil from the surrounding forest. However, we found multiple sites that were geomorphologically similar to mineral licks with high sodium content but with no traces of animal activity. Beyond sodium availability, there might be additional factors such as like clay content or soil hardness that determine whether animals can use it as a mineral lick. We also believe that the behavior of animals and their culture influenced by factors such as habitat access or risk of exposure, might be another mechanism that determines mineral lick use and formation. This research is a first step to better understand the origin of mineral licks and how the mechanisms that form them determine the resources that become available for wildlife. This can be used to better evaluate human impacts on the conservation and the potential restoration of mineral licks in western Amazon.

Key words: sodium, hydrology, herbivores, geophagy.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
METODOLOGÍA.....	13
ÁREA DE ESTUDIO.....	13
<i>Saladero Chorongo “pantanosos”</i>	14
<i>Saladero Harpía “pantanosos”</i>	14
<i>Saladero Pumota “pantanosos”</i>	15
<i>Saladero Pumita “de pared”</i>	15
<i>Saladero GP “cueva”</i>	17
1. CARACTERIZACIÓN DE FACTORES HIDROLÓGICOS	18
2. DISPONIBILIDAD DE SODIO EN SALADEROS Y ALREDEDORES	19
<i>Sodio en el agua</i>	19
<i>Sodio en el suelo</i>	19
3. COMPARACIÓN CON SITIOS DE INTERÉS.....	20
RESULTADOS	21
1. CARACTERIZACIÓN DE FACTORES HIDROLÓGICOS	21
<i>Mapa de cada saladero</i>	22
2. DISPONIBILIDAD DE SODIO EN SALADEROS Y ALREDEDORES	25
<i>Contenido de sodio en el bosque</i>	25
<i>Contenido de sodio en saladeros</i>	26
3. COMPARACIÓN CON SITIOS DE INTERÉS.....	27
DISCUSIÓN	29
CONCLUSIONES	35
AGRADECIMIENTOS	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los cinco saladeros de interior de bosque estudiados según sus características físicas.	13
Tabla 2: Promedios de concentración de sodio en partes por millón en los suelos y el agua de la Estación de Biodiversidad Tiputini.	25
Tabla 3: Íconos que simbolizan cada tipo de saladero en el esquema de la figura 21.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista del saladero Chorongó, zona donde se detectó mayor actividad animal y consumo de suelo y agua.....	14
Figura 2 Vista general del saladero Harpía	14
Figura 3: Vista general del saladero Pumota, se puede ver a la izquierda debajo de la pared el sitio de mayor actividad y a la derecha una de las cámaras de monitoreo	15
Figura 4 Vista general del saladero Pumita. Debajo de las ramas y troncos hay una pared donde los animales consumen tierra.	15
Figura 5: Vista del punto de consumo directo en Pumita, donde se puede ver el hueco que han creado los animales al consumir la tierra.	16
Figura 6: Segundo sitio de consumo en Pumita con un hueco causado por el consumo de los animales.....	16
Figura 7: Vista de la entrada a la cueva del saladero GP y de las ramas por donde los monos y perezosos descienden al saladero.....	17
Figura 8: Vista de la cueva de GP desde adentro con unos murciélagos colgando a la izquierda.	17
Figura 9: Imagen comparativa del tamaño de un humano y las dimensiones de la entrada de la cueva.....	18
Figura 10: Mapa de la Estación de Biodiversidad Tiputini (TBS) y sus senderos. Se pueden ver los cinco saladeros de interior de bosque y los cuadrantes de 300m ² establecidos. Cada cuadrante tiene una ampliación en donde se puede ver el DEM (digital elevation model) con colores negros para las zonas más bajas y blancos para las zonas más altas. 21	
Figura 11: Mapa a detalle del saladero pantanoso Chorongó.	22
Figura 12: Mapa a detalle del saladero pantanoso Harpía.	23
Figura 13: Mapa a detalle del saladero pantanoso Pumota.....	23
Figura 14: Mapa a detalle del saladero tipo cueva GP.	24
Figura 15: Mapa a detalle del saladero de pared Pumita.....	24
Figura 16: Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los saladeros comparando con el contenido de sodio en las muestras de suelo en el bosque adyacente. El saladero GP no tiene muestra de suelo porque evitamos disturbar el ambiente al ingresar en la cueva.....	26

Figura 17: Contenido de sodio en las muestras de agua tomadas en los saladeros en comparación al contenido de sodio en los riachuelos mapeados alrededor de los saladeros.	26
Figura 18: Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los sitios GES (geomorfológicamente similares a los saladeros), en comparación con el promedio de los saladeros.	27
Figura 19: Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los GAPs (caídas de árboles), en comparación con el promedio de los saladeros.	27
Figura 20: Contenido de sodio en muestras de agua según el orden de río. Valor $p = 0.4$ de un ANOVA.	28
Figura 21: Ocurrencia del mar de Pebas en la amazonía. Figura perteneciente al capítulo 1 de “Amazon Assessment Report 2021”.	31
Figura 22: Probabilidad de ocurrencia de saladeros en la Amazonía. Figura de Lee et al (2019).	32
Figura 23: Esquema de mecanismos que podrían dar origen a los saladeros de interior de bosque en el norte de la Amazonía ecuatoriana.	34

INTRODUCCIÓN

La Amazonía occidental es uno de los lugares del planeta más pobres en sodio. La principal razón es su lejanía del océano que impide la deposición de sales a través de los vientos marinos. Además, las lluvias abundantes que caracterizan a este ecosistema se encargan de lavar estos elementos del suelo (Doughty et al., 2016; Herrera et al., 1978). Siendo el sodio fundamental para la fisiología de los animales, su escasez en esta zona dificulta la supervivencia. El humano ha logrado conseguir este recurso mediante el comercio con otras zonas más ricas en sodio. En la amazonía ecuatoriana, grupos humanos tan antiguos como Los Quijos viajaban durante meses al norte del Perú solamente para obtener sal (Salazar, 2011). Sin embargo, los animales silvestres han tenido que adaptar su comportamiento para obtener este recurso de manera local.

Los herbívoros sufren de esta limitación más que otros niveles de la red trófica, ya que el contenido de sodio en las plantas que consumen es proporcional a la escasez del mismo en el ecosistema (Kaspari et al., 2009). Para solucionarlo visitan lugares conocidos como *saladeros*, en donde consumen tierra (acción conocida como geofagia) o beben agua enriquecida en sodio. Visitar estos sitios de manera constante representa un riesgo ante depredadores. El hecho de que estén dispuestos a correr ese riesgo indica que el recurso que obtienen es fundamental para su supervivencia y que podrían estar obteniendo múltiples beneficios a la vez. La literatura sugiere que además de la obtención de sales como el sodio, también podrían necesitar de los saladeros para el consumo de suelos arcillosos que generan alivio ante intoxicaciones estomacales causadas por el consumo de compuestos vegetales tóxicos (Blake et al., 2011).

La geomorfología de los saladeros de la Amazonía es bastante diversa, muchos autores la clasifican en dos tipos: saladeros de río y saladeros de interior de bosque. Los

saladeros de río son generalmente paredes en donde los animales consumen el suelo, y los de interior de bosque pueden ser cuevas profundas, paredes o pantanos lodosos, en donde los animales consumen suelo y agua (Blake et al., 2011; Dudley et al., 2012; Griffiths et al., 2023). En la Amazonía ecuatoriana no hay suficiente información que permita entender el origen de los saladeros. Los saladeros de río han sido más estudiados en otros países, pero existe escasa información acerca de saladeros de interior de bosque. Además, estos últimos son clasificados como un solo tipo, pero solamente en este estudio encontramos tres geomorfologías totalmente diferentes, posiblemente con distintos mecanismos de formación.

Estudios realizados en países templados han encontrado que la hidrología es uno de los mecanismos responsables del origen de los saladeros (Fraser & Reardon, 1980; Griffiths et al., 2023; Matsubayashi et al., 2006; Panichev et al., 2017). En Colombia y Perú hay estudios que respaldan esta relación con la hidrología, además de otros factores que tienen que ver con la ubicación de saladeros como la cercanía con laderas y la presencia de suelos arcillosos (González et al., 2021; Lee et al., 2010; Molina et al., 2014).

Este estudio fue una investigación exploratoria realizada en la Estación de Biodiversidad Tiputini, en el norte de la Amazonía ecuatoriana. El objetivo general fue contribuir al entendimiento del origen de los saladeros de interior de bosque. Los objetivos específicos fueron: (1) caracterizar los factores hidrológicos que rodean a los saladeros interior de bosque, (2) analizar los patrones de disponibilidad de sodio en la zona y (3) comparar saladeros de interior de bosque con sitios geomorfológicamente similares en búsqueda de posibles mecanismos que expliquen su origen.

Se espera que los resultados abran caminos con más preguntas para futuras investigaciones. Es claro que los saladeros son lugares clave con múltiples recursos para la vida silvestre, por lo que es fundamental esclarecer el origen de los mismos.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La Estación de Biodiversidad Tiputini está ubicada en la provincia de Orellana, Ecuador, al borde del Parque Nacional Yasuní. En este lugar se realizan proyectos de investigación, conservación y educación vinculados a la Universidad San Francisco de Quito. Comprende un territorio de 744 hectáreas donde predominan los bosques de Terra Firme, pero también se pueden encontrar bosques de Varzea e Igapó. La precipitación anual promedio de la zona es de 3,100 mm. La Estación tiene alrededor de 10 saladeros que han sido estudiados durante más de una década entorno al comportamiento animal (Blake et al., 2012; Blake et al., 2011; *Tiputini Biodiversity Station*, 2023). Se escogieron los cinco saladeros de interior de bosque que han sido estudiados en Tiputini y que son accesibles a través de los sistemas de senderos. Llevan los nombres de: Chorongó, Harpía, Pumota, Pumita y GP. Se categorizó cada saladero de manera arbitraria según su geomorfología, lo cual se resume en la Tabla 1 y se puede visualizar en las figuras 1-9.

Tabla 1: Clasificación de los cinco saladeros de interior de bosque estudiados según sus características físicas.

Saladero	Tipo
Chorongó	Pantano
Harpía	
Pumota	
Pumita	Pared
GP	Cueva

Saladero Chorongo “pantanoso”



Figura 1: Vista del saladero Chorongo, zona donde se detectó mayor actividad animal y consumo de suelo y agua

Saladero Harpía “pantanoso”



Figura 2. Vista general del saladero Harpía

Saladero Pumota “pantanoso”



Figura 3. Vista general del saladero Pumota, se puede ver a la izquierda debajo de la pared el sitio de mayor actividad y a la derecha una de las cámaras de monitoreo

Saladero Pumita “de pared”



Figura 4. Vista general del saladero Pumita. Debajo de las ramas y troncos hay una pared donde los animales consumen tierra.



Figura 5. Vista del punto de consumo directo en Pumita, donde se puede ver el hueco que han creado los animales al consumir la tierra.



Figura 6. Segundo sitio de consumo en Pumita con un hueco causado por el consumo de los animales.

Saladero GP “cueva”



Figura 7. Vista de la entrada a la cueva del saladero GP y de las ramas por donde los monos y perezosos descienden al saladero.



Figura 8. Vista de la cueva de GP desde adentro con unos murciélagos colgando a la izquierda.



Figura 9. Imagen comparativa del tamaño de un humano y las dimensiones de la entrada de la cueva.

Se ha dividido a la metodología en tres secciones: (1) caracterización de los factores hidrológicos que rodean a los saladeros de interior de bosque, (2) análisis de la disponibilidad de sodio en saladeros y alrededores, y (3) comparación con lugares geomorfológicamente similares.

1. Caracterización de factores hidrológicos

Escogimos cinco saladeros y se marcaron cuadrantes de 300m^2 alrededor de cada uno. Dentro de cada cuadrante, entre dos personas mapeamos de manera exhaustiva todos los riachuelos presentes. Utilizamos dos GPS Garmin 64sx con un error estándar de 3.65m. En cada riachuelo anotamos las siguientes variables categóricas: (1) estado: con o sin agua, (2) tamaño: pequeño, mediano o grande, e (3) inclinación del riachuelo: inclinado, medio o plano.

Después utilizamos el software ArcGIS para visualizar los resultados. Además, utilizando la base de datos de “The Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) de Google Earth elaboramos modelos de elevación digital (DEM) para cada cuadrante. Posteriormente,

se clasificaron los riachuelos por orden con el método de Stahler (Stahler, 1957). Los riachuelos que se forman primero y que no tienen afluentes reciben la categoría de primer orden. Cuando dos riachuelos de primer orden se juntan forman uno de segundo orden, y así sucesivamente.

2. Disponibilidad de sodio en saladeros y alrededores

Sodio en el agua

Recolectamos muestras de agua en los saladeros, en cada riachuelo y en ojos de agua encontrados dentro y fuera de los cuadrantes. Tomamos aproximadamente 20 muestras por cada cuadrante. Cada muestra fue tomada con jeringa y entre sitios se absorbía y expulsaba el agua varias veces para evitar contaminación cruzada. Se evitó insistentemente no contaminar las muestras con el sudor del cuerpo. En laboratorio se filtró cada muestra con filtros de 0.45 micrones. La solución fue analizada con Cromatografía Iónica (CI) en la Universidad de Cornell, Estados Unidos.

Sodio en el suelo

Se tomaron muestras en todos los saladeros a excepción del saladero GP ya que al ingresar a la cueva hubiéramos disturbado el ambiente. Para cada muestra se recogieron aproximadamente 2kg de suelo con una pala y se depositaron en bolsas ziploc. Se evitó insistentemente no contaminar las muestras con el sudor del cuerpo. En laboratorio se secaron las muestras en un horno a 60°C, se pulverizaron con un mortero y se tomó una submuestra de 0.25 gr. Se utilizó ácido nítrico, ácido clorhídrico y amoníaco para la digestión de los suelos entre varios ciclos de calentamiento en una placa a 95°C. Se filtró con mallas de 0.45 micrones y se midió la concentración de los elementos con espectrofotometría de masas en el CoreLab de la Universidad San Francisco de Quito. Además, se utilizaron resultados de

las muestras del proyecto marco de Esteban Suárez, que fueron colectadas en el suelo adyacente a los saladeros.

3. Comparación con sitios de interés

En el bosque se encontraron sitios geomorfológicamente similares a saladeros (arbitrariamente denominados sitios GES) que tenían alguna o varias de las siguientes características: suelos verticales u horizontales expuestos, erosión, presencia de ojos de agua, agua estancada, cercanía a laderas, etc. Se encontraron cinco de estos lugares en donde se recolectaron muestras de suelo y agua con la misma metodología mencionada. Además, se incluyeron cinco caídas de árboles (GAP) los cuales también generan una exposición de capas de suelo más profundas. En estos lugares se tomaron muestras de suelo para análisis de contenido de sodio con la misma metodología mencionada anteriormente.

RESULTADOS

1. Caracterización de factores hidrológicos

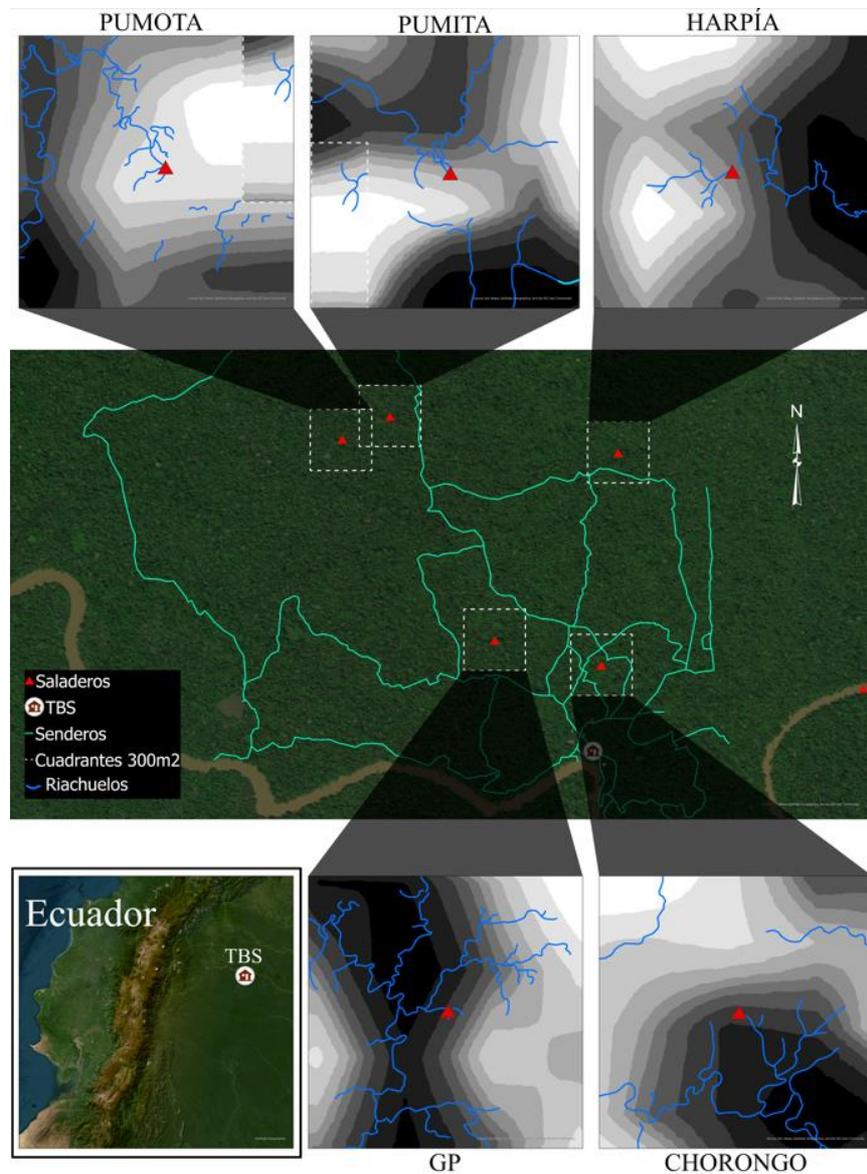


Figura 10. Mapa de la Estación de Biodiversidad Tiputini (TBS) y sus senderos. Se pueden ver los cinco saladeros de interior de bosque y los cuadrantes de 300m² establecidos. Cada cuadrante tiene una ampliación en donde se puede ver el DEM (digital elevation model) con colores negros para las zonas más bajas y blancos para las zonas más altas.

Mapa de cada saladero

A continuación, se podrán ver cinco mapas a detalle de cada saladero mapeado. Se pueden ver los órdenes de Stahler junto a cada riachuelo. Los que poseen agua y los que están secos se distinguen por color, y el ancho determina el tamaño del río. Se puede visualizar el rango de altitud de negro a blanco y la concentración de sodio en partes por millón (ppm) de cada muestra de agua.

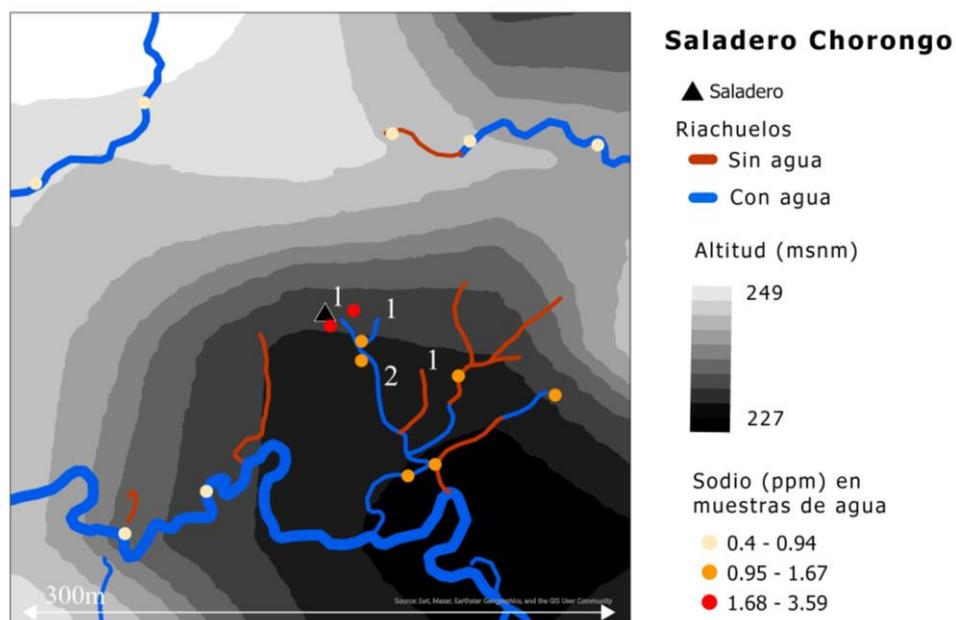


Figura 11. Mapa a detalle del saladero pantanoso Chorongó.

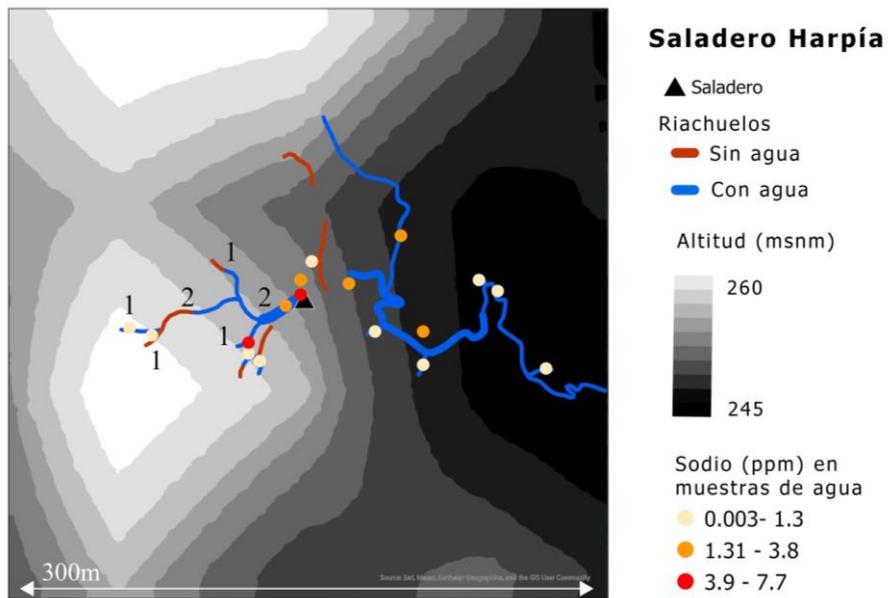


Figura 12. Mapa a detalle del saladero pantanoso Harpía.

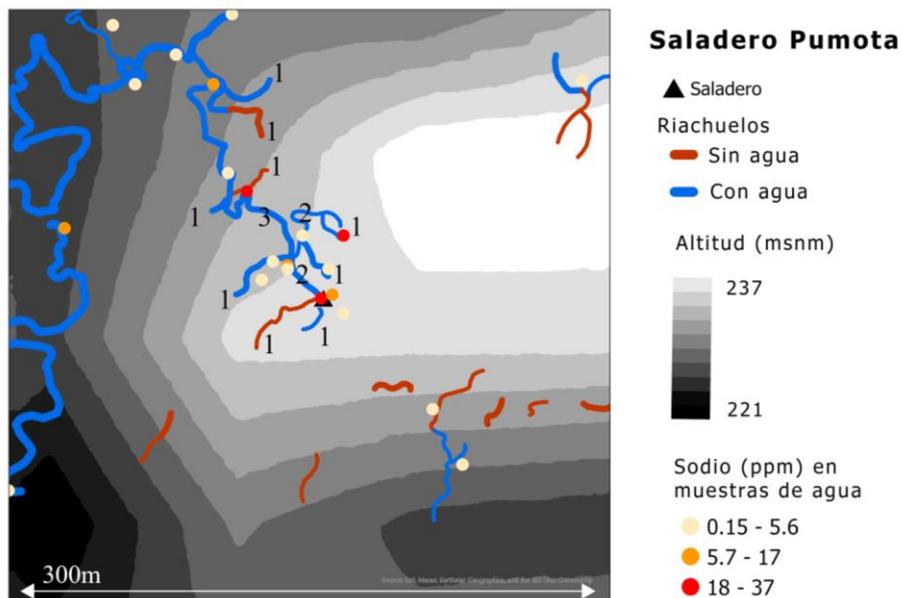


Figura 13. Mapa a detalle del saladero pantanoso Pumota.

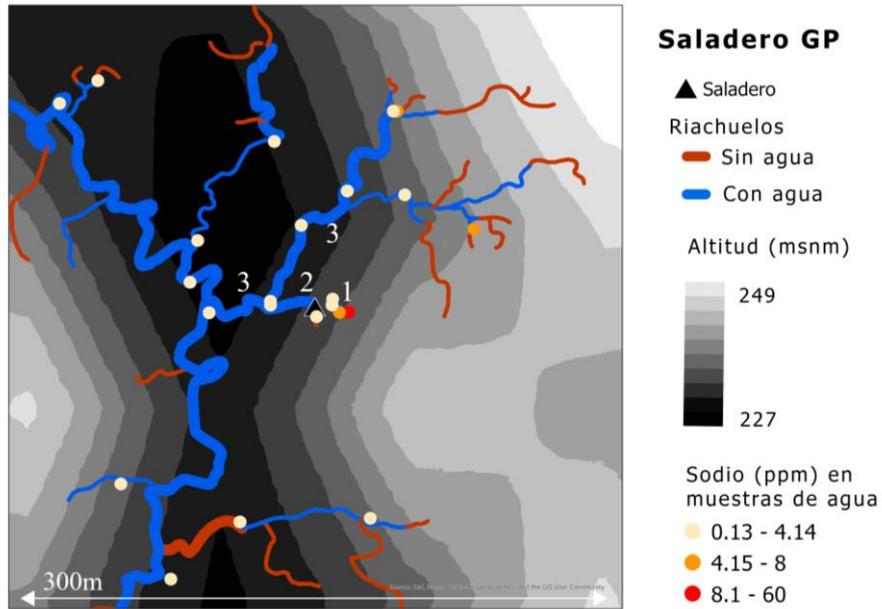


Figura 14. Mapa a detalle del saladero tipo cueva GP.

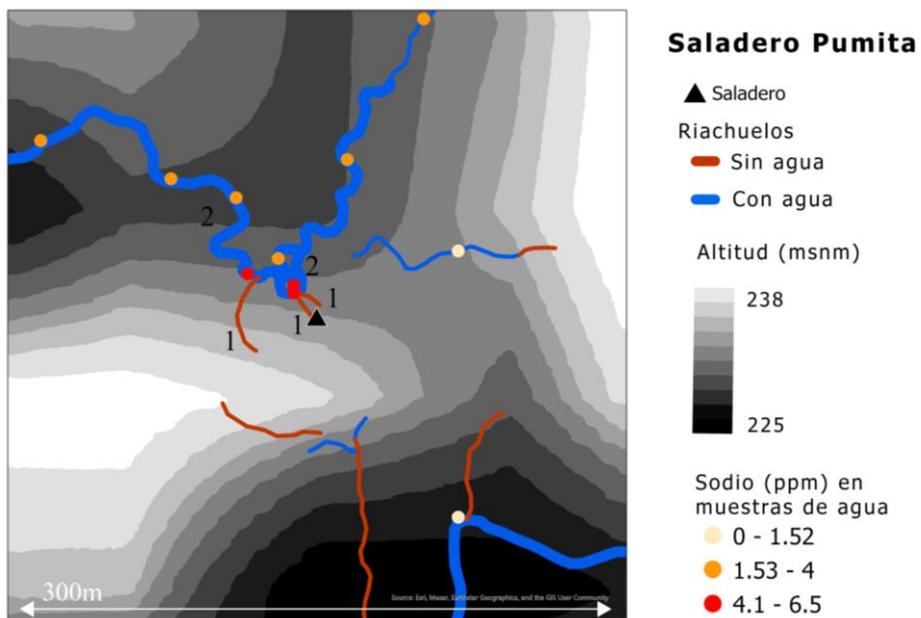


Figura 15. Mapa a detalle del saladero de pared Pumita.

2. Disponibilidad de sodio en saladeros y alrededores

Contenido de sodio en el bosque

La tabla 2 muestra el promedio de las 18 muestras de suelo colectadas en el bosque adyacente a los saladeros, colectadas por Esteban Suárez en el proyecto marco. También se muestra el promedio de las muestras de agua colectadas en el mapeo hidrológico, excluyendo las muestras de saladeros. Estos valores se utilizaron para comparar con las muestras de los saladeros, sitios GES y GAPs.

Tabla 2. Promedios de concentración de sodio en partes por millón en los suelos y el agua de la Estación de Biodiversidad Tiputini.

Tipo de muestra	n	Promedio Na (ppm)
Suelo	18	15.12
Agua	65	2.17

Contenido de sodio en saladeros

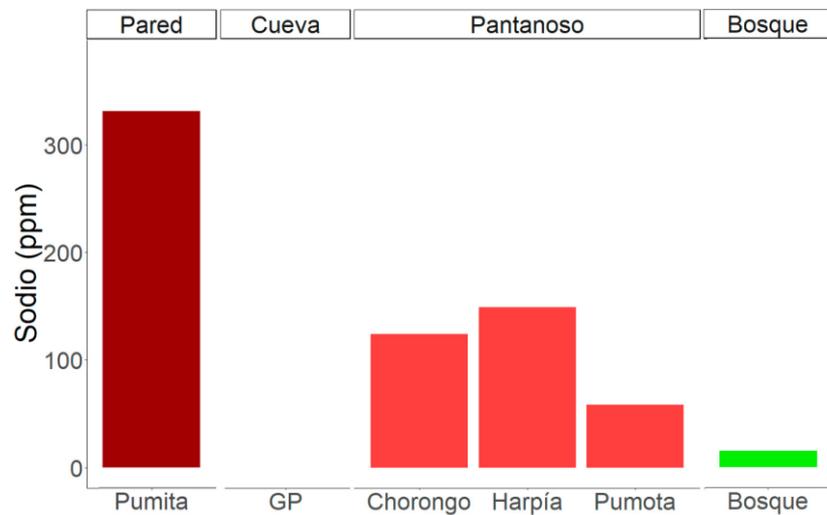


Figura 16. Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los saladeros comparando con el contenido de sodio en las muestras de suelo en el bosque adyacente. El saladero GP no tiene muestra de suelo porque evitamos disturbar el ambiente al ingresar en la cueva.

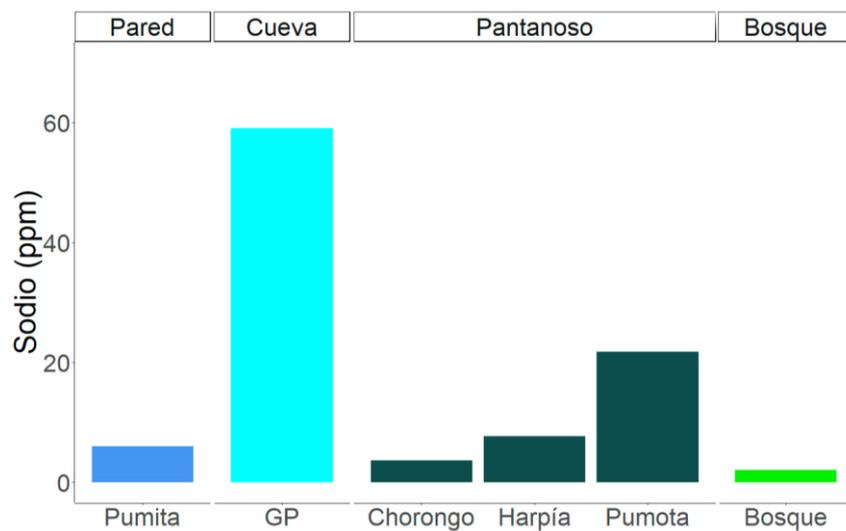


Figura 17. Contenido de sodio en las muestras de agua tomadas en los saladeros en comparación al contenido de sodio en los riachuelos mapeados alrededor de los saladeros.

3. Comparación con sitios de interés

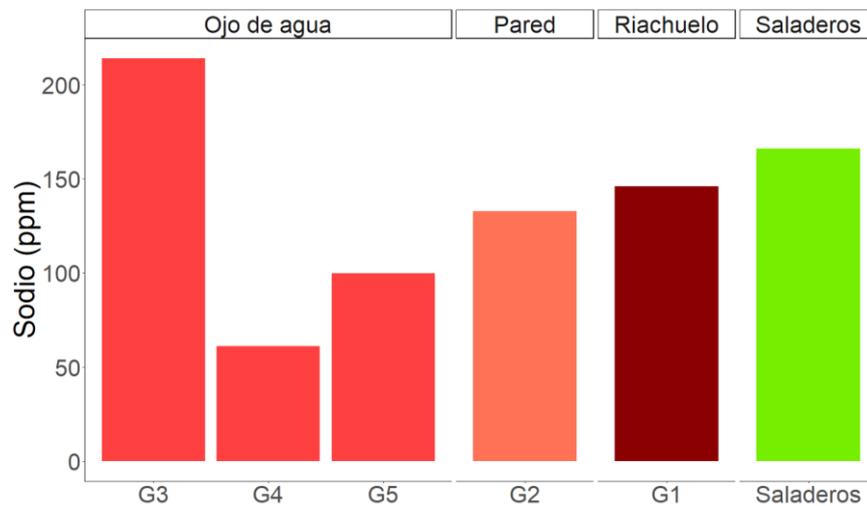


Figura 18. Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los sitios GES (geomorfológicamente similares a los saladeros), en comparación con el promedio de los saladeros.

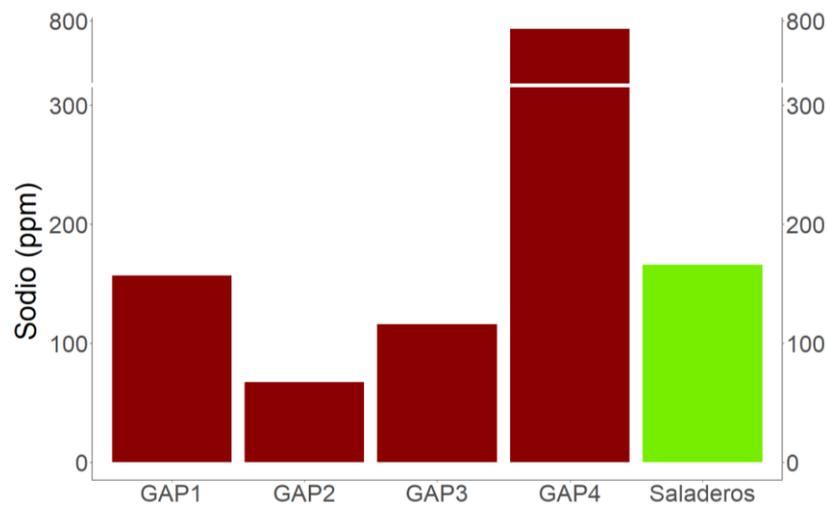


Figura 19. Contenido de sodio en las muestras de suelo tomadas en los GAPs (caídas de árboles), en comparación con el promedio de los saladeros.

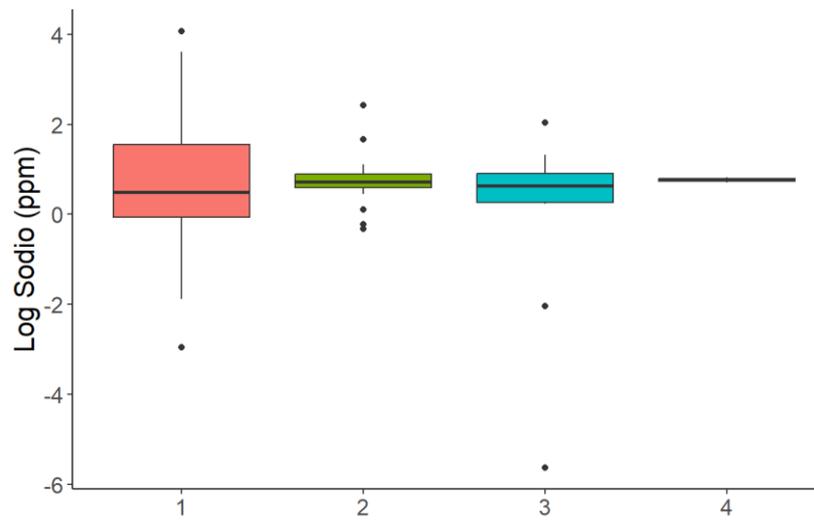


Figura 20. Contenido de sodio en muestras de agua según el orden de río. Valor $p = 0.4$ de un ANOVA.

DISCUSIÓN

En campo pudimos verificar que los cinco saladeros de interior de bosque eran parte de sistemas de drenaje, pero el mapeo nos permitió visualizar los patrones topográficos e hidrológicos a mayor detalle. Todos los saladeros están ubicados en riachuelos de primer orden, a excepción de “harpía” que está en segundo orden. Este patrón coincide con estudios más extensos realizados en la Amazonía de Colombia y Perú (González et al., 2021; Molina et al., 2014). El orden de los ríos de un bosque está relacionado con la topografía, porque los riachuelos de primero orden se forman en las laderas donde empieza el drenaje local, y los de órdenes mayores se concentran en los valles (Warntz, 1975). En cada mapa de elevación digital (figuras 11-15) se puede ver que los saladeros están ubicados en gradientes altitudinales, es decir, en laderas. A pesar de que algunos, como los pantanos, son lugares localmente planos, a gran escala están ubicados en laderas topográficas. Creemos que en las laderas es más probable que, por mecanismos de erosión, capas de suelo más profundas y ricas en nutrientes se expongan a la superficie y den origen a un saladero (Larsen et al., 2010).

El mapeo también resalta la estrecha relación entre el agua y los saladeros, indicando que es muy probable que tenga un rol importante en su origen. En la figura 20 se puede ver que no hay diferencias significativas entre órdenes de río, pero los valores más altos se encontraron en riachuelos de primer orden, especialmente en ojos de agua. El mapa de la figura 13 del saladero “Pumota” muestra como hay puntos con igual o mayor concentración de sodio que el saladero. Estos puntos eran ojos de agua, al igual que el saladero GP que es el que más sodio tiene en el agua. Es posible que en algunos casos el agua que sale de capas subterráneas de suelo sea enriquecida con sales y se convierta en un saladero una vez que sale a la superficie como ojo de agua.

Al igual que varios estudios, hemos confirmado que el contenido de sodio de los saladeros sí es más alto que en el resto del bosque (Best et al., 2013; Bowell et al., 1996; Klaus & Schmidg, 1998; Matsubayashi et al., 2006). Sin embargo, en la amazonía no se ha estudiado la diferencia de concentraciones de sodio en el agua y en el suelo, algo que podría influir en el comportamiento y patrones de visita de los animales. Por ejemplo, los monos araña (*Ateles belzebuth*) y los monos aulladores (*Alouatta seniculus*) son las únicas especies de primates que visitan los saladeros en la estación Tiputini. Hay registros de las dos especies juntas en los saladeros. Sin embargo, el mono aullador solamente practica geofagia, mientras que el mono araña tiene comportamientos de geofagia pero también visita saladeros pantanosos donde solamente bebe agua (Blake et al., 2010). Esto podría indicar diferentes necesidades fisiológicas de cada especie por lo que tienen que visitar saladeros específicos para saciarlas. Entonces los mecanismos que dan origen a un saladero se vuelven fundamentales porque son los que determinan qué tipo de beneficios están disponibles e influye directamente en el comportamiento de la fauna.

Hay características que se repiten en todos los saladeros, una de ellas es la presencia de suelos expuestos. Sin embargo, hay muchos lugares con suelos expuestos en el bosque que no tienen huellas de consumo y probablemente no son visitados por los animales. El contenido de sodio en los sitios GES y GAPs nos ha permitido ampliar el concepto de lo que es un saladero. Creemos que la geología y la hidrología son los factores principales que generan una exposición de suelo y posible creación de un saladero. Sin embargo, esa exposición puede o no ocurrir en una capa de suelo rica en sodio. Ahí la historia geológica juega un papel fundamental. Nos hemos atrevido a sugerir una época específica que podría explicar de dónde viene la sal de los saladeros.

Hace 23 millones de años se formó un gran mar de aguas someras en la amazonía occidental, llamado sistema Pebas. Aún existe discusión en torno al contenido de sales de este mar. Hay pocos estudios que argumentan que no tuvo influencia marina (Latrubesse et al., 2010), y muchos que evidencian algún grado de influencia marina (Boonstra et al., 2015; Gross & Piller, 2020; Hoorn, 1993; Hovikoski et al., 2009). Con el levantamiento de los Andes, 10 millones de años después, este mar se filtró hacia el Atlántico, formando el río Amazonas (Val et al., 2021). Creemos que la capa geológica que dejó este sistema de Pebas podría ser una de las fuentes de sales que permite la formación de los saladeros. En la figura 21, tomada del capítulo 1 del libro “Amazon Assessment Report 2021”, se puede ver la ocurrencia del sistema de Pebas, y en la figura 22, tomada del artículo de Lee et al (2010), un cálculo de la probabilidad de ocurrencia de un saladero de río (no existen estudios así para saladeros de interior de bosque). Estos dos mapas se sobrelapan bastante a excepción de la zona sur de Perú donde se acerca la cordillera de los Andes y donde se llevó a cabo el segundo estudio, por lo que las estimaciones podrían estar sesgadas a esa zona (Lee et al., 2010; Val et al., 2021).

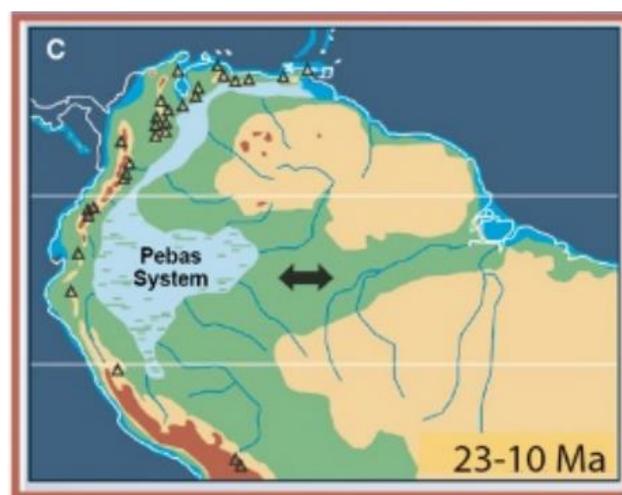


Figura 21. Ocurrencia del mar de Pebas en la amazonía. Figura perteneciente al capítulo 1 de “Amazon Assessment Report 2021”.

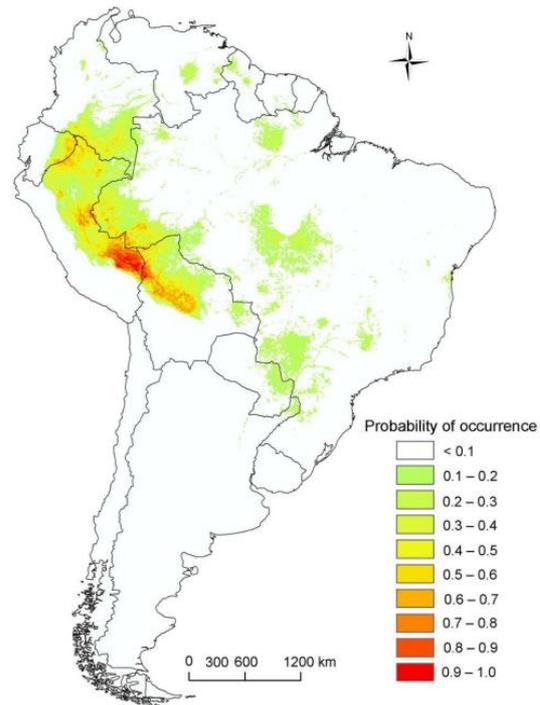


Figura 22. Probabilidad de ocurrencia de saladeros en la Amazonía. Figura de Lee et al., (2019).

Sea o no que el mar de Pebas esté relacionado con la ocurrencia de un saladero, la historia geológica muy posiblemente influye en la exposición de suelos ricos en sodio.

También encontramos sitios como el G3 (Figura 18) y GAP 4 (Figura 19) que tienen igual o más contenido de sodio que los saladeros, pero no presentan señales de consumo animal. Puede ser que estos lugares no tengan ciertas características como accesibilidad, visibilidad o presencia de otros beneficios como suelos arcillosos, y que los animales no los encuentren tan atractivos en comparación con otros lugares que sí tienen esas características. Es por esto que creemos que la cultura animal es fundamental para que un saladero se origine. A pesar de que exista una exposición de suelos ricos en sodio a la superficie, se requiere del uso animal para que la erosión evite el crecimiento de las plantas. Además, puede ser que los animales no se aventuren a descubrir otros lugares con riqueza en sodio

porque ya han transmitido de generación en generación la costumbre de ir al mismo saladero de siempre.

Hemos resumido estos resultados en un esquema que explica los posibles mecanismos que toman lugar en la formación de cada saladero estudiado en la estación. En el caso del saladero de pared “Pumita” creemos que un derrumbe o una caída de árbol pudo haber expuesto esa capa de suelo rica en sodio. En el caso de la cueva de “GP” el agua de la vertiente podría enriquecerse de sodio en capas subterráneas de suelo. Finalmente, los saladeros pantanosos tenían pequeñas vertientes aledañas, algunas con baja y otras con alta disponibilidad de sodio. Su constante flujo hacia el pantano y el estancamiento del agua podría generar una acumulación a largo plazo que deriva en altas concentraciones de sodio. Además, el nivel freático de la zona es superficial y podría incrementar esta concentración de sales por mecanismos de evaporación. En la figura 21 se pueden visualizar los mecanismos propuestos.

Tabla 3. Íconos que simbolizan cada tipo de saladero en el esquema de la figura 21.

Ícono	Saladero
	Pared
	Cueva
	Pantano

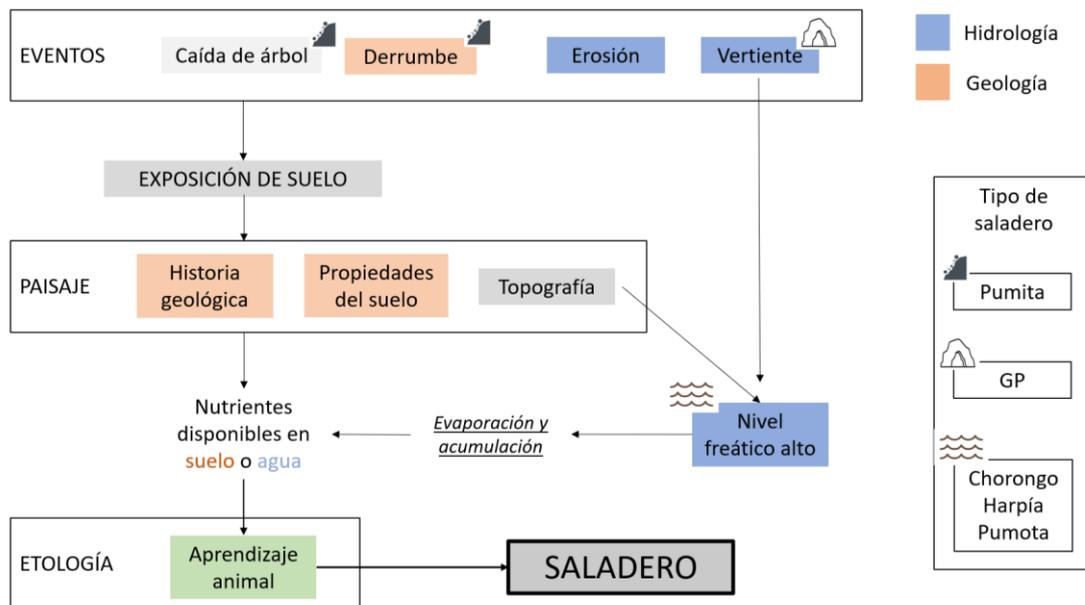


Figura 23. Esquema de mecanismos que podrían dar origen a los saladeros de interior de bosque en el norte de la Amazonía ecuatoriana.

CONCLUSIONES

Los mecanismos de formación de saladeros de interior de bosque son diversos y dan origen a geomorfologías con diferentes recursos para la vida silvestre. Esto podría influir directamente en los patrones de comportamiento, visita, distribución e incluso en las dinámicas poblacionales de la fauna que depende de los saladeros. Al ser puntos calientes de biodiversidad, los saladeros también son importantes para las costumbres de caza de las comunidades humanas locales. Pero actualmente la Amazonía enfrenta muchas amenazas, incluyendo la deforestación y la construcción de caminos que podrían estar limitando la accesibilidad de la fauna a estos lugares clave. El conocer el origen de los saladeros permitiría estimar mejor su distribución y entender cómo las actividades humanas podrían estar afectando esta dinámica. Hablar de un futuro para la Amazonía es hablar de conservación, y en estos esfuerzos se debería considerar la protección y, potencialmente, la restauración de los saladeros, con un conocimiento certero de su distribución y origen.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a José Macanilla y Luis Ganchozo de la Estación de Biodiversidad Tiputini por todo su apoyo en la investigación de campo. Este estudio forma parte de un proyecto marco liderado por Ethan Duvall de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, y Dr. Esteban Suárez de la Universidad San Francisco de Quito, a quienes agradezco por su guianza, colaboración y financiamiento a través del Seed Grant USFQ – Cornell University.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Best, E. C., Joseph, J., & Goldizen, A. W. (2013). Facultative geophagy at natural licks in an Australian marsupial. *Journal of Mammalogy*, *94*(6), 1237-1247.
<https://doi.org/10.1644/13-MAMM-A-054.1>
- Blake, J. G., Guerra, J., Mosquera, D., Torres, R., Loiselle, B. A., & Romo, D. (2010). Use of Mineral Licks by White-Bellied Spider Monkeys (*Ateles belzebuth*) and Red Howler Monkeys (*Alouatta seniculus*) in Eastern Ecuador. *International Journal of Primatology*, *31*(3), 471-483. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9407-5>
- Blake, J. G., Mosquera, D., Guerra, J., Loiselle, B. A., Romo, D., & Swing, K. (2011). Mineral Licks as Diversity Hotspots in Lowland Forest of Eastern Ecuador. *Diversity*, *3*(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/d3020217>
- Blake, J., Mosquera, D., Loiselle, B., Swing, K., Guerra, J., & Romo, D. (2012). Temporal activity patterns of terrestrial mammals in lowland rainforest of Eastern Ecuador. *Ecotropica*, *137*, 137-146.
- Boonstra, M., Ramos, M. I. F., Lammertsma, E. I., Antoine, P.-O., & Hoorn, C. (2015). Marine connections of Amazonia: Evidence from foraminifera and dinoflagellate cysts (early to middle Miocene, Colombia/Peru). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *417*, 176-194.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.10.032>
- Bowell, R., Warren, A., & Redmond, I. (1996). Formation of cave salts and utilization by elephants in the Mount Elgon region, Kenya. *Geological Society, London, Special Publications*, *113*, 63-79. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.113.01.06>

- Doughty, C. E., Wolf, A., Baraloto, C., & Malhi, Y. (2016). Interdependency of plants and animals in controlling the sodium balance of ecosystems and the impacts of global defaunation. *Ecography*, *39*(2), 204-212. <https://doi.org/10.1111/ecog.01589>
- Dudley, R., Kaspari, M., & Yanoviak, S. P. (2012). Lust for Salt in the Western Amazon. *Biotropica*, *44*(1), 6-9. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00818.x>
- Fraser, D., & Reardon, E. (1980). Attraction of wild ungulates to mineral-rich springs in central Canada. *Ecography*, *3*(1), 36-39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1980.tb00706.x>
- González, E. M., Henríquez, W. A., & Armenteras-Pascual, D. (2021). Mineral lick distribution modeling and NW Amazon conservation planning alternatives. *Biodiversity and Conservation*, *30*(12), 3409-3432. <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02253-0>
- Griffiths, B. M., Jin, Y., Griffiths, L. G., & Gilmore, M. P. (2023). Physical, landscape, and chemical properties of Amazonian interior forest mineral licks. *Environmental Geochemistry and Health*, *45*(6), 3263-3276. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01412-8>
- Gross, M., & Piller, W. E. (2020). Saline Waters in Miocene Western Amazonia – An Alternative View. *Frontiers in Earth Science*, *8*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.00116>
- Herrera, R., Jordan, C. F., Klinge, H., & Medina, E. (1978). Amazon Ecosystems, Their Structure and Functioning with Particular Emphasis on Nutrients. *Interciencia*, *3*, 223-232.
- Hoorn, C. (1993). Marine incursions and the influence of Andean tectonics on the Miocene depositional history of northwestern Amazonia: Results of a palynostratigraphic

study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 105(3), 267-309.

[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(93\)90087-Y](https://doi.org/10.1016/0031-0182(93)90087-Y)

Hovikoski, J., Wesselingh, F. P., Räsänen, M., Gingras, M., & Vonhof, H. B. (2009). Marine influence in Amazonia: Evidence from the Geological Record. En *Amazonia: Landscape and Species Evolution* (pp. 143-161). John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781444306408.ch9>

Kaspari, M., Yanoviak, S. P., Dudley, R., Yuan, M., & Clay, N. A. (2009). Sodium shortage as a constraint on the carbon cycle in an inland tropical rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(46), 19405-19409.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0906448106>

Klaus, G., & Schmidg, B. (1998). *GEOPHAGY AT NATURAL LICKS AND MAMMAL ECOLOGY: A REVIEW*. 62(4), 482-498.

<https://doi.org/10.1515/mamm.1998.62.4.482b>

Larsen, I. J., Montgomery, D. R., & Korup, O. (2010). Landslide erosion controlled by hillslope material. *Nature Geoscience*, 3(4), Article 4.

<https://doi.org/10.1038/ngeo776>

Latrubesse, E. M., Cozzuol, M., da Silva-Caminha, S. A. F., Rigsby, C. A., Absy, M. L., & Jaramillo, C. (2010). The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. *Earth-Science Reviews*, 99(3), 99-124.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.005>

Lee, A. T. K., Kumar, S., Brightsmith, D. J., & Marsden, S. J. (2010). Parrot claylick distribution in South America: Do patterns of “where” help answer the question “why”? *Ecography*, 33(3), 503-513. [https://doi.org/10.1111/j.1600-](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05878.x)

[0587.2009.05878.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05878.x)

- Matsubayashi, H., Lagan, P., Majalap, N., Tangah, J., Sukor, J., & Kitayama, K. (2006). Importance of natural licks for the mammals in Bornean inland tropical rain forests. *Ecological Research*, 22, 742-748. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0313-4>
- Molina, E., León, T. E., & Armenteras, D. (2014). Characteristics of natural salt licks located in the Colombian Amazon foothills. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(1), 117-129. <https://doi.org/10.1007/s10653-013-9523-1>
- Panichev, A. M., Vladimir, P., Igor, C., Ivan, S., Sergievich, A., & Kirill, G. (2017). Geological nature of mineral licks and the reasons for geophagy among animals. *Biogeosciences*, 14, 2767-2779. <https://doi.org/10.5194/bg-14-2767-2017>
- Salazar, E. (2011). *Arqueología Ecuatoriana | Revistas | Historia de la sal en el Ecuador Precolombino y Colonial*. Arqueología Ecuatoriana. <http://revistas.arqueo-ecuadoriana.ec/cuadernos-de-investigacion/cuadernos-de-investigacion-10/246-historia-de-la-sal-en-el-ecuador-precolombino-y-colonial>
- Stahler, A. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Tiputini Biodiversity Station*. (2023). Tiputini Biodiversity Station. <https://www.tiputini.com/>
- Val, P., Figueiredo, J., Melo, G., Flantua, S., Quesada, C., Reinfelder, Y., Albert, J., Guayasamin, J., & Hoorn, C. (2021). *Chapter 1: Geology and geodiversity of the Amazon: Three billion years of history*. <https://doi.org/10.55161/POFE6241>
- Warntz, W. (1975). Stream ordering and contour mapping. *Journal of Hydrology*, 25(3), 209-227. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(75\)90022-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(75)90022-0)