



Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Geología

**Estudio sedimentológico y paleontológico de la
Formación Sopas (Pleistoceno) en el Paso del Buey
Negro (Salto, Uruguay)**

Lara Yorio

Orientador: Dr. Martín Ubilla

Co-orientador: Dr. César Goso

Tribunal:

MSc. Valeria Mesa

Dr. Daniel Perea

MSc. Gustavo Piñeiro

Instituto de Ciencias Geológicas

Facultad de Ciencias

Universidad de la República

Entrega: Montevideo, octubre de 2021; Defensa: Montevideo, diciembre de 2022

para Grog y Aminoácido

We gather stones

Never knowing what they'll mean

Some to throw

Some to make a diamond ring

Taylor Swift (My Tears Ricochet)

As for the Stone, it has been destroyed

Albus Dumbledore (Harry Potter and the Philosopher's Stone; J. K. Rowling)

A rock is a good thing, too, you know

Master Hand (A wizard of Earthsea; Ursula K. Le Guin)

Agradecimientos

A mis orientadores; Martín Ubilla y César Goso, por proporcionarme los recursos para realizar este trabajo.

A los miembros del tribunal; Valeria Mesa, Daniel Perea y Gustavo Piñeiro, que con sus sugerencias y correcciones aportaron a la mejora de este trabajo.

A Andrés Rinderknecht, por facilitar el acceso al material de carpinchos actuales disponible en la colección del Museo Nacional de Historia Natural. A Alejandra Rojas, por facilitar el estudio de los materiales de carpincho de la colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias. A Camila Frevenza y Daniel Pichi del Laboratorio del Instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias, por facilitarme el acceso a los recursos necesarios. A Ernesto Goso, por proporcionar los tamices de gruesos.

A todos los compañeros, profesores y funcionarios que contribuyeron a mi formación.

Un agradecimiento muy importante a mi familia: Belén Iglesias, Ernesto Blanco, Andrea Iglesias, Gerardo Yorio, Stella Aguirre, Adriana Iglesias, Fernando Fuentes, Carina Giordano, Adriana Humeniuk, Malena Caligaris, Héctor Michilena, Álvaro Aguirre, Ana Yaquinta, Amilcar Yorio, Matías Rossi y Sandra Yorio.

Y un agradecimiento muy especial a Mía, Ahsoka, Miku, Michelle, Lucy, Eleanor, Nemo, Gollum, Jagger, Goldfish, Tonks, Trufa, Molly, Wendy y Mimo.

Resumen

Se realizó una caracterización de los sedimentos cuaternarios aflorantes en el Paso del Buey Negro (Río Arapey Chico, Departamento de Salto), correspondientes a la Formación Sopas (Pleistoceno), con el objetivo de aportar información para inferir las condiciones de depositación y algunas características paleoambientales de las secciones allí presentes. Para ello, se realizaron estudios granulométricos de muestras de las distintas unidades reconocidas en campo, se generaron dos perfiles combinados y se definieron facies para la interpretación paleoambiental. Además, se caracterizaron taxonómicamente restos cráneo-dentales de carpincho que fueron encontrados en ese afloramiento y están disponibles en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias. Estos restos pueden aportar información para la interpretación de algunos aspectos paleoambientales de la secuencia sedimentaria.

En base al estudio de caracteres diagnósticos y análisis bivariantes, el material fósil cráneo-dental de carpincho estudiado corresponde a un ejemplar de la especie aún viviente *Hydrochoerus hydrochaeris*, siendo el fósil mejor preservado de esta especie en el registro de Uruguay. A partir del estudio de los sedimentos se interpretan dos estadios de depositación: en la base ocurrieron flujos unidireccionales de alta energía en ambiente fluvial; hacia el tope se registran flujos densos (de barro) posiblemente relacionados a planicies aluviales. El fósil es un posible indicador de condiciones templadas a cálidas en un ambiente fluvial o lacustre, con presencia de áreas abiertas y también de monte ribereño, con la posible presencia de vegetación acuática y de pasturas. Por tanto, las interpretaciones ambientales obtenidas por los análisis sedimentarios y por la caracterización del fósil son concordantes.

Tabla de contenidos

1. Introducción	pág. 7
2. Objetivos	pág. 7
2.1 Objetivo general	pág. 7
2.2 Objetivos específicos	pág. 7
3. Marco teórico	pág. 9
3.1 Aspectos estratigráficos	pág. 9
3.2 Aspectos paleontológicos y bioestratigráficos	pág. 10
3.3 Carpinchos en el registro fósil	pág. 11
3.4 Ambiente y ecología de los carpinchos	pág. 12
3.5 Osteología de carpinchos	pág. 18
4. Antecedentes geológicos	pág. 20
4.1 Marco geológico: el Cenozoico en Uruguay	pág. 20
4.2 La Formación Sopas (Pleistoceno)	pág. 24
5. Metodología	pág. 27
5.1 Sedimentología	pág. 27
5.1.1 Actividades en campo: obtención de datos en los afloramientos	pág. 28
5.1.2 Actividades de laboratorio: ensayos granulométricos de sedimentos	pág. 28
5.1.3 Actividades de gabinete: Procesamiento de datos sedimentarios	pág. 30
5.2 Estudio de los materiales paleontológicos	pág. 30
5.2.1 Registro faunístico y estudio de caso	pág. 30
5.2.2 Metodología aplicada al material fósil	pág. 30

6. Resultados	pág. 35
6.1 Geología descriptiva	pág. 35
6.2 Análisis granulométricos	pág. 49
6.3 Asociaciones de facies	pág. 59
6.4 Comparación del material craneano	pág. 60
7. Discusión	pág. 67
7.1 Interpretación ambiental de las asociaciones de facies	pág. 67
7.2 Material fósil	pág. 68
8. Conclusiones	pág. 70
8.1 Inferencias paleoambientales a partir de las facies	pág. 70
8.2 Interpretación taxonómica del material fósil	pág. 71
8.3 Interpretación ambiental inferida en base al material fósil	pág. 71
8.4 Estudios a futuro	pág. 72
9. Referencias	pág. 72
10. Apéndice I: Medidas de carpinchos	pág. 79
11. Apéndice II: Resultados del tamizado de sedimentos	pág. 85
11.1 Resultados concretos del tamizado	pág. 85
11.2 Porcentaje de las distintas fracciones granulométricas de las muestras	pág. 86

1. Introducción

En el contexto del Trabajo Final para la Licenciatura en Geología se realizó un estudio sedimentológico de una sección estratigráfica cuaternaria correspondiente a la Formación Sopas (definida originalmente por Antón, 1975) que aflora en el Paso del Buey Negro del Río Arapey Chico, en el departamento de Salto (ver Figura 1). Para ello, se levantaron dos perfiles en campo, se realizaron estudios granulométricos a nueve muestras y se describieron y definieron asociaciones de facies. También se caracterizaron restos fósiles, que son el principal objeto de estudio de este trabajo.

Con estos análisis se espera aportar información para la caracterización de la unidad en el punto de estudio, así como contribuir al conocimiento de los procesos actuantes al momento de su depositación y, por tanto, también inferir algunas características paleoambientales y paleoecológicas para el Cuaternario tardío en el norte de Uruguay.

Los fósiles son útiles herramientas para la geología, ya que en muchos casos mediante su estudio contribuyen en las interpretaciones ambientales y a veces permiten inferir la edad relativa de depositación de la secuencia sedimentaria en la que se los encuentra (Vera Torres, 1994). Algunos grupos de mamíferos pueden ser utilizados para interpretar aspectos paleoambientales aplicando actualismo y son útiles para inferir subambientes (Tucker, 2003). Por ello, se estudiaron restos fósiles de carpincho (concretamente un cráneo parcialmente completo), colectados en las secuencias aflorantes en el Paso del Buey Negro y disponibles en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias, para determinar su estatus taxonómico y aportar elementos que ajusten las interpretaciones ambientales ya existentes para la Formación Sopas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general: Caracterizar los afloramientos de la Formación Sopas en los márgenes del Río Arapey Chico (localidad Paso del Buey Negro, Departamento de Salto) integrando el análisis de facies con información paleontológica para realizar una interpretación ambiental.

2.2 Objetivos específicos: (1) Caracterizar las condiciones de sedimentación en base al levantamiento de perfiles y definición de facies. (2) Establecer asociaciones de

facies; realizar su interpretación ambiental. (3) Describir taxonómicamente al material paleontológico tomado como caso de estudio. (4) Realizar inferencias ambientales a partir de la información proporcionada por el fósil.

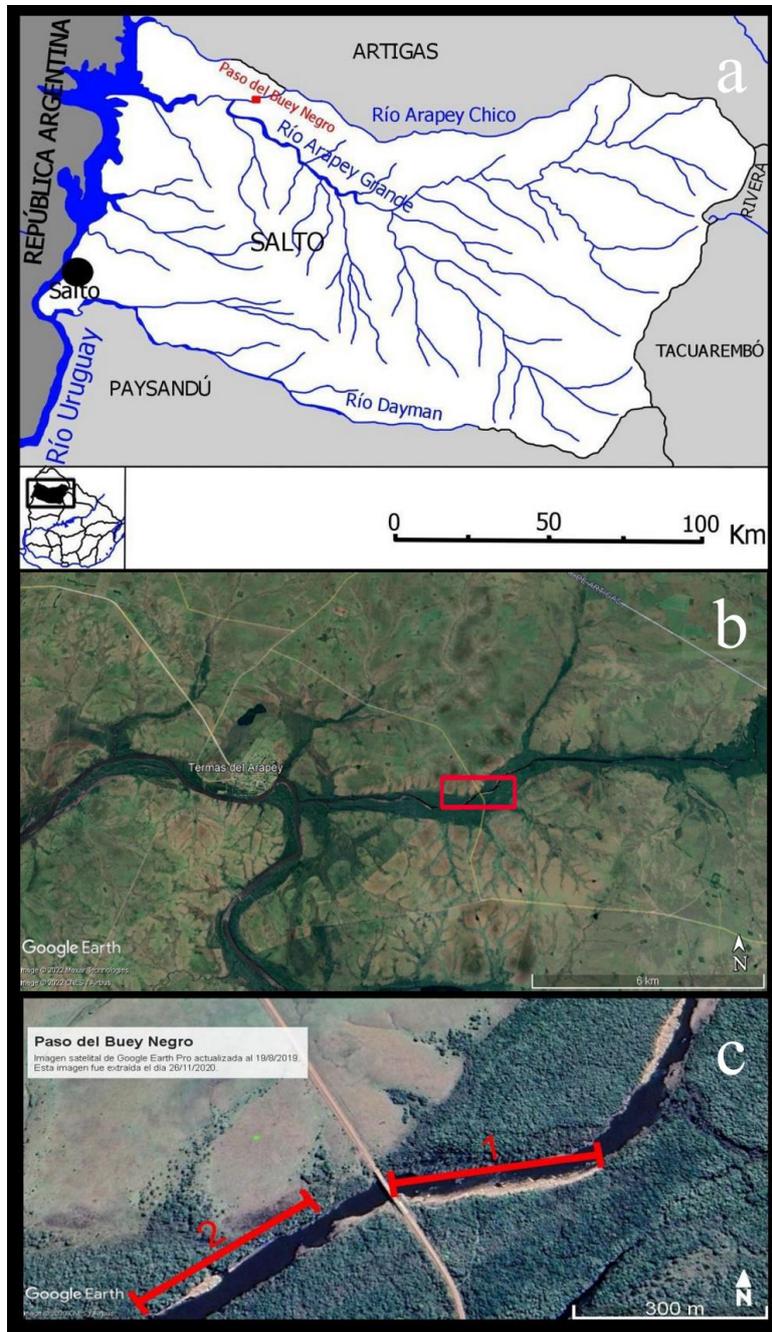


Figura 1 - Ubicación de los afloramientos estudiados, correspondientes a sedimentos de la Formación Sopas en el Paso del Buey Negro del Río Arapey Chico, en el Departamento de Salto. **a)** Mapa general del departamento de Salto. El rectángulo rojo señala el punto de estudio. **b)** Imagen satelital (obtenida de Google Earth) que muestra los caminos de acceso al sitio de estudio desde las Termas del Arapey; el rectángulo rojo señala la ubicación de la imagen en c). **c)** Imagen satelital (obtenida de Google Earth) de los afloramientos estudiados, a ambos lados del puente que cruza al Río Arapey Chico. Los afloramientos 1 y 2 están identificados con su respectivo número.

3. Marco teórico

3.1 Aspectos estratigráficos

Un ambiente sedimentario es un área de la superficie terrestre con propiedades físicas, químicas y biológicas definidas y diferentes a las de las áreas adyacentes (Suguio, 1980). Todo ambiente sedimentario en cualquier punto puede ser caracterizado por los procesos químicos y físicos que actúan en él, además de por los organismos que viven bajo esas condiciones en ese tiempo (Nichols, 2009). Dentro de una unidad estratigráfica, se puede definir una facies sedimentaria como una secuencia o área concreta y determinada que exhibe características que la distinguen de las otras partes de la unidad (Moore, 1948). El término facies se utiliza para describir a las rocas sedimentarias en términos del proceso sedimentario actuante durante su depositación, según distintos caracteres que reflejan las condiciones bajo las cuales esa roca fue acumulada (Suguio, 1980; Nichols, 2009). Las características que se toman en cuenta para definir una facies son la litología, la geometría del estrato, las estructuras sedimentarias (incluyendo aquellas que permiten determinar las paleocorrientes) y el contenido fosilífero (Selley, 1970). Mediante su estudio se puede determinar el proceso o los procesos actuantes durante el transporte y sedimentación que formaron a esa acumulación sedimentaria.

Un ambiente particular está determinado y caracterizado por los procesos que se dan en él, procesos que a su vez participan en la acumulación de sedimentos. Por esto, reconocer asociaciones de facies implica determinar los procesos generadores de depósitos de material, lo que a su vez permite inferir el ambiente en el que se generó una sucesión sedimentaria determinada. Es importante destacar que un proceso individual puede darse en numerosos ambientes, y que lo que es característico de un ambiente particular es la asociación de procesos que actuaron para depositar distintos sedimentos, y esa asociación es la que se busca determinar en una secuencia sedimentaria para poder inferir su ambiente de depositación.

Es importante diferenciar entre facies y la interpretación que se hace de la misma (Arche, 1989). Las facies se definen en base a caracteres descriptivos del sedimento o roca. La interpretación genética que puede inferirse a partir de esos caracteres que tienen un sentido descriptivo no se toma en cuenta a la hora de definir una facies. Entonces, la definición de una facies puede permitir la generación de una idea genética,

pero una idea genética no puede utilizarse como característica justificativa para definir una nueva facies (Arche, 1989).

3.2 Aspectos paleontológicos y bioestratigráficos

Los fósiles que se encuentran en un sedimento pueden proporcionar información y permitir algunas inferencias (Vera Torres, 1994). Para que las interpretaciones sean correctas, se deben utilizar fósiles que se depositaron simultáneamente con el sedimento, es decir que no se pueden usar fósiles más antiguos que aparecen retrabajados o los más modernos que han penetrado al sedimento en forma posterior al depósito en cavidades o perforaciones (Vera Torres, 1994). El contenido fosilífero de una roca o un sedimento puede permitir la inferencia de la edad relativa, la correlación con sucesiones sedimentarias ubicadas en locaciones distantes y también la inferencia del medio sedimentario, ambiente o subambiente en que se formó el depósito (Vera Torres, 1994; Tucker, 2003). La interpretación de los fósiles se hace en el contexto del análisis de facies, ya que constituyen una característica más de la roca. En general, para inferir el medio sedimentario en base a la utilización de un fósil se utilizan factores ecológicos de los organismos actuales más relacionados y se deduce el valor paleoecológico de los organismos que aparecen en el registro fósil asumiendo que los requerimientos ambientales son los mismos o muy similares. Esto quiere decir que se aplica el actualismo (Vera Torres, 1994). Existen distintos tipos de análisis isotópicos en fósiles cuyos resultados pueden llevar a inferencias del ambiente y aportar a las inferencias sedimentarias, pero estos métodos no serán usados en el presente trabajo. Los fósiles pueden ser un elemento sumamente importante a la hora de hacer la interpretación ambiental de la roca en la que se encuentran (Tucker, 2003). En algunos casos la interpretación ambiental de una sucesión sedimentaria puede depender de la presencia de fósiles que permitan inferirla, y en ocasiones interpretaciones ambientales previas son descartadas por la aparición de nuevos fósiles que las contradicen (Tucker, 2003).

Los mamíferos, y sobre todo las asociaciones de ellos, pueden ser buenos indicadores del ambiente en el que viven, y en numerosos trabajos se han usado mamíferos fósiles para reconstruir paleoambientes (e. g. Andrews et al., 1979; Kolfshoten, 1995; entre otros). Particularmente, los dientes son indicadores que

permiten inferir ciertas condiciones del ambiente o subambiente en que vivía el mamífero estudiado en base al tipo de alimentación que llevaba (Fortelius et al., 2002).

3.3 Carpinchos en el registro fósil

Dentro de la familia Caviidae, se reconocen tres subfamilias con representantes tanto fósiles como actuales: Caviinae, Dolichotinae y Hydrochoerinae (Pérez y Pol, 2012). Hydrochoerinae incluye varios géneros, dos de ellos actualmente vivientes (*Hydrochoerus* Brisson, 1762 y *Kerodon* Cuvier, 1825) y otros extinguidos, entre los cuales se encuentra *Nechoerus* Hay, 1926.

La subfamilia Hydrochoerinae prosperó en Sudamérica diversificándose en varias especies (Aldana-Domínguez et al., 2007; Pérez y Pol, 2012). Aparece en el registro fósil de América del Sur desde hace ca. 7 a 9 Ma, en estratos del Mioceno Superior, extendiéndose en el Plioceno y el Cuaternario (Vucetich et al., 2013; Gomes et al., 2019). Durante el Plioceno y el Pleistoceno se dispersaron a América Central y América del Norte (Vucetich et al., 2013; Gomes et al., 2019 y referencias en el mismo). Durante el Cuaternario se registran fósiles de dos géneros de carpinchos de esta subfamilia: *Hydrochoerus* (que incluye cuatro especies, dos de ellas aún vivientes) y *Nechoerus* (que incluye 5 especies, todas ellas descritas únicamente por fósiles) (Gomes et al., 2019). Los carpinchos vivientes están representados por dos especies: *Hydrochoerus hydrochaeris* Linnaeus, 1766 y *Hydrochoerus isthmius* Goldman, 1912. El tamaño corporal de los carpinchos desde el comienzo del registro es grande dentro de los roedores y el mayor tamaño registrado se alcanzó durante el Plio-Pleistoceno, donde una de las formas de gran tamaño perteneció al género *Nechoerus* (Vucetich et al., 2013; Ghizzoni, 2014).

En la Tabla 1 se muestran los principales caracteres diagnósticos para hidroquerinos (especies dentro de la subfamilia Hydrochoerinae) cuaternarios (*Nechoerus* y *Hydrochoerus*) según Gomes et al. (2019).

Tabla 1 - Caracteres diagnósticos para las distintas especies de *Neochoerus* Hay, 1926 y *Hydrochoerus* Brisson, 1762 según Gomes et al. (2019). *: Extinto.

TAXA	Principales caracteres diagnósticos	Localidad tipo	Edad
<i>Neochoerus sulcidens</i> * (Lund, 1839)	M3 con 13-14 lofos; la base del incisivo llega al lofo Ila del m2	Brasil: Lagoa Santa, Minas Gerais	Pleistoceno tardío
<i>Neochoerus aesopi</i> * (Leidy, 1853)	M3 con 16-17 lofos; p4 con largo mesiodistal mayor que el de m2	Estados Unidos: South Carolina	Pleistoceno tardío
<i>Neochoerus tarijensis</i> * (Ameghino, 1902)	M3 con 14-15 lofos; incisivo con surco profundo; largo mesiodistal del p4 similar al del m2	Bolivia: Tarija, Valle de Tarija	Pleistoceno tardío
<i>Neochoerus fontanai</i> * (Rusconi, 1934)	30% más grande que las otras especies	Argentina: Buenos Aires	Plioceno tardío - Pleistoceno temprano
<i>Neochoerus occidentalis</i> * (Carranza-Castañeda, 2016)	m3 con forma de "V" en el primer lofo	México: Guanajuato, Jalisco, Sonora	Plioceno temprano a medio - Pleistoceno temprano
<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> (Linnaeus, 1766)	M3 con 11-13 lofos, proporciones más pequeñas que <i>Neochoerus</i> y mayores que <i>H. isthmius</i>	Surinam; Brazil: Rio São Francisco entre los estados Alagoas y Sergipe	Pleistoceno tardío - Reciente
<i>Hydrochoerus isthmius</i> (Goldman, 1912)	Proporciones más pequeñas que <i>H. hydrochaeris</i>	Panamá: Río Marraganti	Reciente
<i>Hydrochoerus gaylordi</i> * (MacPhee et al., 2000)	Lofos del M2 unidos labialmente	Granada (Antillas Menores)	Plioceno tardío - Pleistoceno temprano
<i>Hydrochoerus ballesterensis</i> * (Rusconi, 1934)	Incisivo con surco labial, entre otras características	Argentina: Buenos Aires, Villa Ballester	Plioceno tardío - Pleistoceno temprano

3.4 Ambiente y ecología de los carpinchos

El carpincho es el roedor más grande, tanto en tamaño como en peso, que vive actualmente (ver Figura 2). Es herbívoro y semiacuático (Mones y Ojasti, 1986; de Barros Ferraz et al., 2007). Los carpinchos son nadadores competentes y pueden mantenerse bajo el agua durante un tiempo prolongado (Campos Krauer, 2009).



Figura 2 - *Hydrochoerus hydrochaeris* adulto.

Actualmente, estos roedores tienen un largo total de 1 a 1,3 m y una masa variable entre 27 y 90 kg (Mones y Ojasti, 1986; Mones, 1991; Dunnum, 2015). La cola es vestigial y, como en otros cávidos, los miembros anteriores tienen cuatro dedos y los posteriores tienen tres (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015). Los dedos se arreglan en un patrón radial y están unidos por una membrana que hace a los carpinchos animales parcialmente palmeados (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015). Las extremidades son cortas, la cabeza es ancha y grande, y el hocico es pesado y truncado (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015). El pelaje tiene una longitud de entre 30 y 120 mm y es de color marrón oscuro, rojizo, marrón claro o amarillento y a veces puede presentar zonas más oscuras o más claras (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015). Las fosas nasales, los ojos y las orejas se ubican en la parte Superior de la cabeza, mostrando su adaptación a ambientes acuáticos. El M3 destaca por ser muy alargado, siendo su largo casi equivalente a la suma de los largos de los otros tres dientes molariformes, P1, M1 y M2 (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015).

Como se mencionó en la sección 3.4.1, hoy en día viven dos especies de carpinchos: *Hydrochoerus hydrochaeris* (conocido como carpincho, capibara o chigüiro, entre otros) y *Hydrochoerus isthmius* (conocido como cacó, capibara menor, chigüiro menor, entre otros). El principal motivo de separación en dos especies es el tamaño. *H. hydrochaeris* tiene una longitud de aproximadamente 130 cm (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015) mientras que *H. isthmius* tiene un largo total de aproximadamente 100 cm (Dunnum, 2015). *H. hydrochaeris* es más grande en casi todos los caracteres externos y craneales, sin embargo *H. isthmius* tiene frontales más anchos en proporción a la longitud total del cráneo, un diastema inferior

proporcionalmente más largo y los pterigoideos más cortos y gruesos que *H. hydrochaeris* (Mones y Ojasti, 1986; Mones, 1991).

H. hydrochaeris vive en Sudamérica al este de los Andes y se lo encuentra en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, las Guayanas, Brasil, Paraguay, Uruguay, en el este de Bolivia y en el noroeste y este de Argentina, distribución geográfica que incluye las cuencas de los ríos Orinoco, Amazonas, Sao Francisco y La Plata (ver Figura 3) (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015; Reid, 2016). Por otro lado, *H. isthmus* aparece solo en Panamá, el oeste de Colombia y en el noroeste de Venezuela (ver Figura 3) (Dunnum, 2015; Delgado y Emmons, 2016). Ambas especies viven en el mismo tipo de ambientes con los mismos requerimientos (Delgado y Emmons, 2016; Reid, 2016).



Figura 3 - Distribución de las dos especies de carpincho que viven actualmente. Para construir este mapa se utilizó la información proporcionada por Mones y Ojasti (1986), Delgado y Emmons (2016) y Reid (2016).

Los principales factores que determinan la actual distribución geográfica de los carpinchos son la temperatura, la presencia de agua y la altitud (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009). Los hábitats que sostienen poblaciones de carpinchos tienen los siguientes atributos característicos: presencia de agua permanente; terrenos con pendientes bajas; presencia de tierras secas; presencia de vegetación acuática, pastizales y otras plantas comestibles; zonas cubiertas por vegetación de más alto porte (Mones y Ojasti, 1986; Herrera y Macdonald, 1989; de Barros Ferraz et al., 2007; Vucetich et al., 2013). Viven en ambientes templados a cálidos y la máxima altitud a la que se los encuentra es 1.300 m (Mones y Ojasti, 1986).

Concretamente, los carpinchos viven a lo largo de ríos y arroyos, en estuarios, meandros abandonados, lagunas, lagos, pantanos, humedales, ciénagas, manglares, en zonas con vegetación herbácea y acuática, pastizales, bosques riparios y en sabanas estacionalmente inundables (Mones y Ojasti, 1986; Ballesteros Correa y Jorgenson, 2009; Campos Krauer, 2009; Dunnum, 2015; de Barros Ferraz et al., 2007).

Los carpinchos requieren de la presencia de agua durante todo el año (aunque su nivel varíe en las distintas estaciones) ya que, además de utilizarla para beber, los carpinchos se sirven de los cuerpos de agua para la termorregulación, para aparearse y como protección contra predadores (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; Dunnum, 2015; de Barros Ferraz et al., 2007). Además, muchas de las plantas que consumen son acuáticas (Herrera y Macdonald, 1989). Los carpinchos suelen preferir moverse a través de los cursos de agua que a través de tierra seca para acceder a áreas de alimentación o incluso a nuevos territorios (de Barros Ferraz et al., 2007). Tanto en la naturaleza como en cautiverio usan su capacidad de sumergirse durante varios minutos cuando se sienten en peligro, lo que implica que el cuerpo de agua debe tener una profundidad mínima que permita ese comportamiento (Gonçalves y Oliveira, 2011).

También requieren de tierras secas, que son utilizadas para reposar y parir a las crías (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; de Barros Ferraz et al., 2007). Es importante también la presencia de cobertura de monte o bosque o cualquier tipo de vegetación alta capaz de cubrir completamente a los carpinchos, ya que provee de protección y de un lugar de ocultamiento contra predadores (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; de Barros Ferraz et al., 2007). La presencia de vegetación flotante en el agua puede proveer también de protección y algunos trabajos registran

mayor densidad de carpinchos en lagunas con vegetación respecto a las lagunas sin vegetación (de Barros Ferraz et al., 2007 y referencias en el mismo). Las áreas cubiertas por agua también pueden proveer de lugares de descanso y refugio cuando afloran rocas por encima del nivel del agua; este tipo de lugares se usan para evadir a los predadores y permiten a los individuos descansar durante el día y alejarse de los potenciales peligros de la orilla (Gonçalves y Oliveira, 2011). Los centros de actividad en tierra siempre se localizan cercanos al agua (Mones y Ojasti, 1986 y referencias en el mismo; Herrera y Macdonald, 1989). En general prefieren los lugares abiertos con algunas zonas que les provean de protección, pero pueden vivir en áreas más restringidas como orillas de río cubiertas de bosque o monte (Gonçalves y Oliveira, 2011).

Los carpinchos necesitan también la presencia de pastizales, vegetación de humedales y/o praderas en las que forrajear (Mones y Ojasti, 1986; de Barros Ferraz et al., 2007). Es importante que el tipo de cobertura del área sirva como fuente de alimento (de Barros Ferraz et al., 2007). Los carpinchos son eficientes pastadores (Campos Krauer, 2009) y con sus incisivos son capaces de cortar pastos hasta el nivel del suelo (Mones y Ojasti, 1986). Además, son selectivos y eligen el forraje con el mayor contenido de proteínas (Mones y Ojasti, 1986; Arteaga y Jorgenson, 2007). Las pasturas que crecen cercanas al agua son una de sus principales fuentes de alimentos (Campos Krauer, 2009; de Barros Ferraz et al., 2007). También consumen plantas acuáticas y de pantano, juncias, corteza de árbol y, en la actualidad, algunos cultivos (Mones y Ojasti, 1986; Lord, 2008; Dunnum, 2015). Hay variaciones geográficas en el tipo de alimento que consumen las manadas de carpinchos, ya que depende de la disponibilidad de los distintos tipos de vegetación (presencia y ubicación) en el hábitat particular que ocupan, además de la estación del año (húmeda o seca, que va a condicionar el crecimiento de la vegetación). Las áreas cubiertas por fragmentos de bosque pueden servir para forrajear cuando hay escasez de comida, ya que pueden buscar alimentos en la vegetación baja que crece entre los árboles (Gonçalves y Oliveira, 2011).

En definitiva, la presencia y la abundancia de carpinchos estaría regulada por la disponibilidad de recursos alimenticios a lo largo de los cursos y cuerpos de agua (Gonçalves y Oliveira, 2011).

Los carpinchos cambian su utilización de hábitat y recursos de forma diaria y también anualmente, según la estación del año (estación húmeda con inundaciones

seguida de una estación seca) pero no migran, se limitan a utilizar en forma diferente los recursos presentes en su territorio (Herrera y Macdonald, 1989; Herrera, 2013).

Los carpinchos son gregarios (Herrera, 2013) pero en ambas especies se registra que pueden volverse solitarios ante presiones del ambiente (Delgado y Emmons, 2016; Reid, 2016). Los grupos de *H. hydrochaeris* tienen tamaños que normalmente van de 2 a 30 individuos (Dunnum, 2015; Reid, 2016). El tamaño promedio de una manada de *H. isthmus* es de aproximadamente 5 individuos (Dunnum, 2015) pudiendo ser una cantidad mayor o menor de animales (Ballesteros Correa y Jorgenson, 2009). En ambas especies el tamaño de los grupos varía de un lugar a otro, dependiendo de los recursos disponibles en el ambiente (Ballesteros Correa y Jorgenson, 2009). Se han registrado grupos compuestos por hasta 100 individuos, pero las unidades estables no tienen más de 20 o 30 animales (Campos Krauer, 2009; Herrera, 2013 y referencias en el mismo). En ambas especies las grandes aglomeraciones de individuos suelen darse en la época seca del año en torno a los cuerpos de agua remanente (Ballesteros Correa y Jorgenson, 2009; Dunnum, 2015). Los grupos estables más numerosos están formados por un macho dominante, varias hembras, machos subordinados y jóvenes de ambos sexos (Campos Kraues, 2009; Suárez et al., 2011).

Se registra que la estructura etaria de las poblaciones refleja una mayor cantidad de adultos (un 60 a 70%) respecto a crías o a jóvenes, lo que estaría relacionado al rápido crecimiento y a la relativa larga longevidad de la especie, que hacen que se acumulen adultos desde el año y medio de edad hasta que mueren, aproximadamente a los 10 años (Aldana-Domínguez et al., 2007). La clasificación en edades es la siguiente: cría hasta los 9 meses, juvenil hasta los 18 meses, adulto en edades mayores a 18 meses (Aldana-Domínguez et al., 2007). Los recién nacidos ya poseen una dentición permanente completa y tienen una masa de aproximadamente 1.5 kg (Mones y Ojasti, 1986). La masa promedio al año de edad es de entre 22 y 24 kg, mientras que la masa promedio a los dos años de edad es de 37 a 40 kg (Mones y Ojasti, 1986 y referencias en el mismo).

3.5 Osteología de carpinchos

El cráneo de los carpinchos es ancho y masivo y muestra un desarrollo posnatal diferencial que involucra particularmente los huesos de la bóveda craneana, los premaxilares, las bulas timpánicas y los dientes (Mones y Ojasti, 1986 y referencias en el mismo) (ver Figura 4).

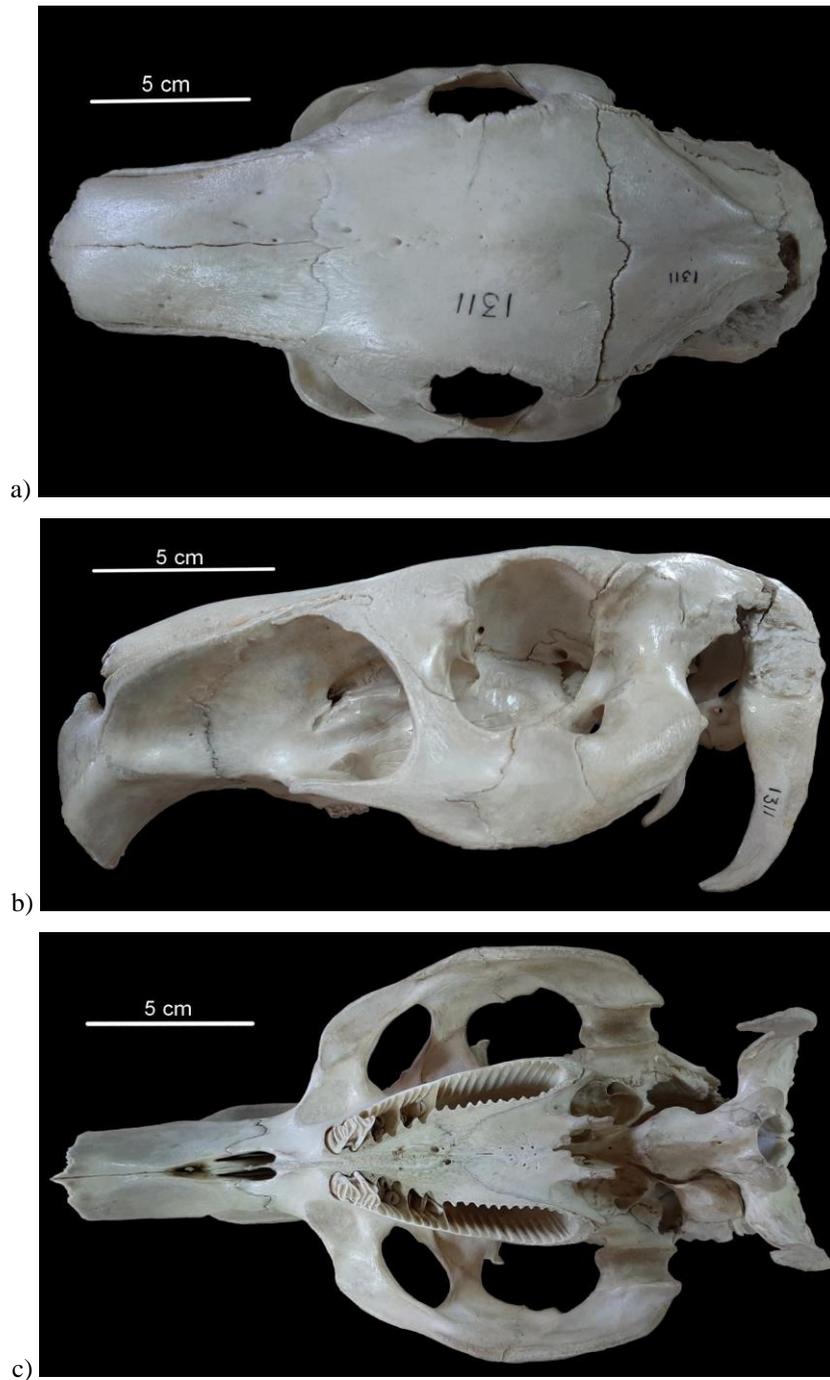


Figura 4 - Cráneo de un ejemplar actual de *Hydrochoerus hydrochaeris* adulto. a) Vista dorsal. b) Vista lateral. c) Vista palatal.

H. hydrochaeris tiene un total de 20 dientes (Mones y Ojasti, 1986; Dunnum, 2015). Los incisivos presentan un surco anterior medial. En el cráneo, P1, M1 y M2 están compuestos por dos lofos o prismas en forma de Y. El M3 presenta de 11 a 13 lofos o prismas (ver Figura 5). Los lofos del M3 están formados de la siguiente manera: el primero tiene forma de Y, los siguientes constituyen láminas individuales y es posible que el último lofo tenga forma de Y, U o similar. En la mandíbula, m3 en general está compuesto por tres lofos o prismas con forma de Y, pero estos pueden subdividirse en hasta 6 láminas independientes. Los carpinchos presentan hipsodoncia (Vucetich et al., 2012).



Figura 5 - M2 y M3 derechos de un ejemplar adulto de *Hydrochoerus hydrochaeris*. Se puede observar al M2 formado por dos lofos con forma de Y y al M3 formado por un total de 12 lofos, el primero de ellos con forma de Y.

La edad de un carpincho puede determinarse por el grado de osificación que presentan las suturas basicraneales (Mones y Ojasti, 1986). La osificación supone la eliminación de la zona cartilaginosa que se encuentra en las suturas y es responsable del crecimiento del hueso, por lo que denota una edad específica (Aldana-Domínguez et al., 2007).

La osificación de las suturas craneales se da en el siguiente orden (tomado de Aldana-Domínguez et al., 2007):

1. Categoría de edad I (desde varios días antes del nacimiento hasta un mes luego de nacido): Sutura entre los parietales no completamente osificada.

2. Categoría de edad II (uno a doce meses): Sutura entre los parietales osificada, sutura entre el cóndilo y el basioccipital abierta.

3. Categoría de edad III (un año a un año y medio): Sutura del cóndilo osificada, sutura entre el preesfenoides y el basiesfenoides abierta.

4. Categoría de edad IV (un año y medio a dos años): Sutura del preesfenoides-basiesfenoides osificada, sutura entre el exoccipital y el supraoccipital abierta.

5. Categoría de edad V (etapa corta en torno a los dos años): Sutura preesfenoides-basiesfenoides osificada, sutura entre el exoccipital y el supraoccipital osificada pero no por completo.

6. Categoría de edad VI (entre dos y medio a cuatro años): Sutura exoccipital-supraoccipital osificada, sutura entre el basiesfenoides y el basioccipital abierta.

7. Categoría de edad VII (de cuatro a cinco años en adelante): Sutura basiesfenoides-basioccipital osificada, al igual que todas las demás suturas nombradas.

4. Antecedentes geológicos

4.1 Marco geológico: el Cenozoico en Uruguay

A nivel del continente de América del Sur, el principal evento geológico que actuó (y actúa) durante el Cenozoico fue la orogenia andina y sus procesos asociados. Esta orogenia comenzó en el Mesozoico (durante el Jurásico) debido a la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana. El consecuente engrosamiento de corteza, y la cordillera montañosa asociada, ocurre en el borde continental oeste de la Placa Sudamericana. La región que actualmente está delimitada como Uruguay se encuentra en el borde continental este (y aproximadamente en el centro) de la Placa Sudamericana, por lo que los efectos de la orogenia andina son moderados (Ubilla et al., 2009).

Durante el Cenozoico, en la región donde hoy se encuentra Uruguay, los principales procesos que dominaron y regularon la erosión, la no deposición y la sedimentación fueron los asociados a los ciclos eustáticos transgresivos y regresivos (de

los cuales se tiene registro también a nivel global). Ocurrieron también suaves movimientos asociados a procesos de la orogenia andina (Ubilla et al., 2009).

En perforaciones en la plataforma continental uruguaya se encontraron sucesiones de sedimentitas marinas que proveen de un registro detallado y bastante continuo de las sucesivas variaciones del nivel del mar durante el pasaje del Cretácico al Terciario y durante el resto del Cenozoico. En este contexto se generó la Formación Gaviotín (Ubilla et al., 2009).

El registro de la base del terciario está muy pobremente representado en el territorio continental como consecuencia de la denudación y exposición subaérea a la que el área fue sometida durante el Paleoceno-Eoceno. Durante este período el registro geológico y paleontológico está asociado a procesos no depositacionales que evidencian variaciones climáticas en la región. Se formaron suelos ferruginosos con gran variedad y abundancia de icnofósiles, sobre todo sobre las sedimentitas continentales cretácicas de la región centro-este de Uruguay. Bajo esas condiciones también se depositaron calcretas y silcretas pedogénicas fosilíferas, significativos depósitos de calizas y calizas interdigitadas con *cherts*. Todos estos últimos originados por procesos esencialmente químicos debido a la acción de aguas subterráneas. Ejemplos que representan estos procesos son el Geosuelo del Palacio y las calcretas de la unidad quimioestratigráfica Calizas del Queguay (Ubilla et al., 2009).

Esos procesos continuaron hasta que, en el Oligoceno, se generaron nuevos espacios de acumulación asociados a una reactivación del basamento, probablemente vinculado a un pulso de la orogenia andina (movimientos incaicos). Pequeñas “cuencas” permitieron el desarrollo y la preservación de depósitos aluvio-fluviales y la actuación de procesos de remoción de masa, bajo una importante contribución loésica desde el oeste. Estos depósitos continentales también fueron afectados por procesos pedogenéticos y presentan fundamentalmente mamíferos fósiles. Fósiles de vertebrados de este contexto pueden encontrarse en la Formación Fray Bentos. También se registran sedimentitas continentales (aluvio-fluviales y loésicas) involucrando fuertes procesos edáficos que incluyen la formación de caliche (Ubilla et al., 2009).

Durante el Mioceno Tardío se produjo una ingresión marina que fue controlada fundamentalmente por el basamento aflorante o subaflorante. Los registros de esta oscilación en la Patagonia se pueden seguir por más de mil kilómetros, pero en el actual

territorio continental uruguayo penetró muy poco. Se encuentran depósitos regresivos con abundante fauna marina (fundamentalmente invertebrados) de características subtropicales, pasando posteriormente a otros de características parálicas y continentales donde dominan los organismos de este origen. La Formación Camacho, compuesta por areniscas y pelitas marinas muy fosilíferas, da cuenta de este proceso (Ubilla et al., 2009).

Durante el Plioceno se produjo una continentalización del área; evolucionaron sistemas fluviales que se desarrollaron fuertemente en el sur. En las sedimentitas acumuladas en estos contextos se encuentran fósiles continentales. Estos procesos se extienden a la base del Pleistoceno (Ubilla et al., 2009). La Formación Raigón, formada por sedimentitas fluviales y fluvio-deltaicas fosilíferas es un ejemplo de estos procesos.

Durante el Cuaternario se acumularon fundamentalmente depósitos de origen continental. Buena parte del territorio que actualmente es Uruguay está cubierto por ellos. Se encuentran sedimentitas fluviales y aluviales con episodios de exposición subaérea. En general presentan un rico contenido paleontológico (particularmente las del Pleistoceno Tardío). A lo largo del área costera del Río de la Plata-Atlántico pueden observarse depósitos de cordones litorales muy fosilíferos, eólicos e inclusive áreas asociadas a una sedimentación lacustre, palustre y abuférica. Estos registros se asocian a oscilaciones en el nivel del mar, tal vez promovidos por situaciones tectónicas locales (Ubilla et al., 2009). Para el Pleistoceno y el Holoceno se registran las Formaciones Chuy (sedimentitas marinas), Raigón (sedimentitas fluviales), Libertad (sedimentitas continentales asociadas a la dinámica del Paraná-Uruguay, fosilíferas) y Villa Soriano (sedimentitas marinas y estuarinas, costeras y fosilíferas).

Para este trabajo es relevante el contexto regional cuaternario, por lo que a continuación se hará un resumen de las unidades fosilíferas depositadas en ese período.

Unidades marinas:

Formación Chuy. Arenas amarillo-rojizas, semiconsolidadas, cuarzosas (con presencia de minerales pesados). Incluye también gravas y arcillas. Se encuentran fósiles de moluscos, particularmente bivalvos y gasterópodos. Hay también un registro (escaso) de icnofósiles (Ubilla y Martínez, 2016). Aflora a lo largo de toda la costa

uruguay y tiene un espesor de aproximadamente 30 metros. De acuerdo a sus relaciones estratigráficas, edades numéricas y contenido fosilífero, se formó durante el Pleistoceno (Ubilla y Martínez, 2016).

Formación Villa Soriano. Arcillas grises con contenido abundante de moluscos marinos y/o estuarinos. También se han descrito arenas, gravas, niveles pelíticos y lentes de cenizas para esta unidad (Ubilla y Martínez, 2016). Tiene dos grupos principales de facies: arenas (depósitos shoreface y foreshore) y pelíticos (ambientes con circulación de agua restringida; sistemas isla-barrera-lagoon o bahías muy cerradas. Es común encontrar bivalvos en posición de vida) (Ubilla y Martínez, 2016). Aflora a lo largo del litoral uruguayo y tiene un espesor de hasta 20 metros en subsuperficie, pero de unos 5 metros en afloramientos. De acuerdo a edades numéricas, fue depositada durante el Holoceno (Ubilla y Martínez, 2016).

Unidades continentales:

Formación Salto. Estratos tabulares y lenticulares de areniscas gruesas intercaladas con conglomerados arenosos y pelitas y arenitas finas. Representa depósitos de ríos entrelazados, lacustrinos y probablemente eólicos. Esta unidad es un importante acuífero. Se encuentran maderas silicificadas. Aflora en el noroeste de Uruguay y tiene un espesor de unos 35 metros (en superficie y subsuperficie). La evidencia estratigráfica muestra una edad no menor a Pleistoceno Tardío y no mayor a Oligoceno Tardío. Las edades numéricas apuntan a una edad pleistocénica.

Formación Dolores. Limolitas marrones a verde-grisáceas, pelitas, pelitas arenosas a gravosas y areniscas con matriz arcillosa. Se encuentra polen, moluscos de agua dulce, algunas tortugas y abundantes mamíferos. Aflora en el sur de Uruguay y tiene un espesor de afloramiento de hasta 10 metros. En base a las relaciones estratigráficas y al contenido de mamíferos esta unidad se ha asignado como del Pleistoceno Tardío. Las edades numéricas apuntan a una depositación en el Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano.

Formación Raigón. Arenas gruesas en secuencia granodecreciente con intercalaciones de estratos masivos de arcilla-limo verdes. Esta unidad es un importante acuífero. Su contenido fosilífero es escaso pero interesante, consistente en restos de

vertebrados. Aflora en el suroeste de Uruguay con un espesor de hasta 5 metros en afloramiento pero de hasta 50 metros en subsuperficie. Se considera una unidad del Plioceno, pero las edades numéricas apuntan a que su depositación continuó hasta el Pleistoceno.

Formación Libertad. Fangolitas marrones con areniscas gruesas, loess y carbonato de calcio dispersos. Se observan paleosuelos. Presenta fósiles de vertebrados, mayoritariamente mamíferos. Aflora en el sur de Uruguay y tiene un espesor de hasta 30 metros (en superficie y subsuperficie). En base a las relaciones estratigráficas se considera una unidad del Pleistoceno Temprano a Medio.

La descripción de la Formación Sopas se desarrollará en profundidad en la Sección 4.2 (a continuación), dado que es la que se estudia en este trabajo.

4.2 La Formación Sopas (Pleistoceno)

La Formación Sopas forma parte de las unidades litoestratigráficas definidas para el Cuaternario continental de Uruguay (Martínez y Ubilla, 2004). La unidad aquí denominada Formación Sopas comprende lo que Antón (1975) originalmente definió como Formación Sopas y Formación Mataojo (también recogidas así por Bossi y Navarro, 1991), pero que en posteriores trabajos se tratan en conjunto.

La Formación Sopas aflora en el norte de Uruguay (particularmente en los Departamentos de Tacuarembó, Paysandú, Salto y Artigas) en barrancas costeras de ríos y arroyos, donde suele aparecer expuesta con espesores métricos y con algunos centenares de metros de largo (Goso y Ubilla, 2004).

La Formación Sopas está caracterizada por las siguientes litologías (Ubilla y Martínez, 2016 y referencias en el mismo): diamictitas, areniscas, fangolitas y grauvacas. Las diamictitas tienen sets con espesores de 0,4 a 1,5 m. Los clastos son de tamaño guija a guijarro, de redondeados a angulosos y están compuestos por basaltos, cuarzos, areniscas eólicas y calcedonias. Asociadas a esta litología aparecen estructuras de estratificación cruzada, geometrías canalizadas y bases irregulares. En estas diamictitas se encuentran restos de vertebrados y moluscos. Las areniscas tienen un espesor de pocos centímetros y una matriz limosa. Aparecen interestratificadas con las

otras litofacies y usualmente presentan *ripples* y gradación normal. Las fangolitas y las grauvacas tienen intercalados niveles de gravas de algunos centímetros de espesor y son fosilíferas. Se encuentran fósiles de vertebrados, bivalvos, gasterópodos e icnofósiles. Además, sobre todo en la parte superior de esta secuencia, aparecen concreciones de carbonatos a veces acompañadas por rizo-concreciones.

Goso y Ubilla (2004) definieron tres asociaciones de facies para la Formación Sopas (siguiendo la separación en Formación Mataojo y Formación Sopas propuesta por Antón, 1975) en base al estudio de algunos afloramientos en el norte de Uruguay. Describas de base a tope: la Asociación de Facies A está compuesta por gravas con matriz arenosa con clastos decimétricos de cuarzos, areniscas y basaltos en el esqueleto, de angulosos a subredondeados, con estructura de canal, estratificación cruzada y restos de bivalvos y vertebrados que pasan gradualmente a areniscas conglomerádicas y areniscas gruesas a finas con estratificación cruzada, gradación normal y *ripples*, que presentan fragmentos de vertebrados y madera. La Asociación de Facies B está compuesta por fangos de espesor decimétrico y geometría lobular, aparecen también grauvacas masivas. Presenta bioturbación (cuevas, cámaras de estivación y rizolitos rellenos de carbonatos o materia orgánica), que puede ser intensa, y concreciones carbonáticas (señales de paleosuelos). Aparecen restos de vertebrados y gasterópodos. La Asociación de Facies C comprende arenas finas a medias, cuarzosas, redondeadas, masivas o estratificadas. A veces aparecen grauvacas y arcillas con restos de madera.

Mediante métodos de radiocarbono, OSL (Optically Stimulated Luminescence) y TL (Termoluminiscencia) se obtuvieron edades numéricas para la Formación Sopas. Se utilizaron muestras de madera, moluscos de agua dulce, huesos y dientes de mamíferos y sedimentos de distintos afloramientos. Las edades resultantes caen mayormente en el rango de 25.000 a 50.000 años a. P. (Ubilla y Martínez, 2016 y referencias en el mismo). El contenido paleontológico indica una edad Pleistoceno Superior para la Formación Sopas (Ubilla y Martínez, 2016 y referencias en el mismo). El Pleistoceno Superior está delimitado entre los 129.000 y 11.700 años a. P. (según la Chronostratigraphic Chart de la International Commission on Stratigraphy 2020-01), por lo que las edades numéricas y las edades que los fósiles permiten inferir son concordantes.

La Formación Sopas es una unidad muy fosilífera, que contiene tanto icnofósiles como fósiles de cuerpo. A continuación se sintetiza el registro fósil compilado en Ubilla y Martínez (2016). Como icnofósiles se encontraron paleocuevas y cámaras de estivación (*Castrichnus incolumis* y *Taenidium serpentinum*). Aparece madera fosilizada. Se registraron coprolitos asociados a predadores de tamaño medio a grande, posiblemente cánidos. Se preservan bivalvos de agua dulce (muchas veces articulados), gasterópodos (usualmente completos) y algunos caracoles terrestres. El registro de vertebrados incluye restos de reptiles, algunas aves (el ave no voladora *Rhea*, la seriema *Cariama*, y el ganso de Magallanes *Chloephaga*, entre otras) y numerosos mamíferos. Estos últimos son el grupo dominante (con 25 familias en 9 órdenes, comprendiendo más de 50 especies). Se encuentran taxones que no están representados en las comunidades biológicas actuales de Uruguay, pero que sí viven actualmente en otras áreas de Sudamérica (algunos roedores, pecaríes y tapires), esto evidencia extinciones locales seguramente debido a condiciones ambientales cambiantes. Los ungulados (especialmente ciervos y camélidos) y roedores son los grupos más frecuentemente representados en la asamblea fósil. Se registran también herbívoros como *Toxodon*, *Macrauchenia*, *Equus*, *Hippidion*, *Glossotherium*, *Neolicaphrium*, *Lama* y *Microcavia*, entre otros. Aparecen omnívoros como *Arctotherium*, entre otros. Como predadores aparecen pumas, jaguares, tigres dientes de sable y el cánido extinto *Protocyon*, entre otros. Recientemente se agregaron carroñeros al registro representados, entre otros, por grandes cóndores (Jones et al., 2020).

La asamblea fósil representada en la Formación Sopas provee de información ambiental. Los diversos taxones encontrados representan variados contextos ecológicos. Los carpinchos, nutrias, tapires, ratas de agua, lobos de río, moluscos de agua dulce, aves migratorias (*Chloephaga*), entre otros, representan ambientes fluviales y lacustrinos (Goso y Ubilla, 2004 y referencias en el mismo; Ubilla y Martínez, 2016; Morosi y Ubilla, 2017, 2019). Los caballos, apereás, ratones de campo, ciervos, coendúes, entre otros, implican la presencia de espacios abiertos o semi-abiertos a forestados y de vegetación arbustiva ribereña (Goso y Ubilla, 2004; Ubilla y Martínez, 2016). Algunos roedores, pecaríes y camélidos indican ambientes semi-áridos (Ubilla y Martínez, 2016). Algunos mamíferos, habitantes actuales de áreas tropicales a templadas en Sudamérica, sugieren condiciones climáticas benignas con temperaturas promedio similares o mayores a las actuales para esta área (Goso y Ubilla, 2004; Ubilla

y Martínez, 2016). Hay evidencias de estacionalidad y quizá sequías en base a las cámaras de estivación (que además implican la presencia de paleosuelos) y a la presencia de aves migratorias (Goso y Ubilla, 2004; Ubilla y Martínez, 2016). Datos de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ de ungulados (*Hippidion*, *Equus*, ciervos y camélidos) indican hábitos alimenticios ramoneadores y mixtos probablemente en ambientes semi-abiertos (Ubilla y Martínez, 2016; Morosi y Ubilla, 2017, 2019).

Las condiciones climáticas y ambientales se habrían desarrollado bajo la influencia del contexto climático MIS-3 (Ubilla y Martínez, 2016). La presencia de taxones de ambiente tropical a subtropical que hoy en día no viven en la zona podría explicarse por la existencia de refugios ambientales durante el MIS-3 a las latitudes donde aparecen hoy los afloramientos, implicando la presencia de ríos perennes, bosques en las riberas y áreas semi-forestadas que les permitieran sobrevivir (Ubilla y Martínez, 2016).

En cuanto a las interpretaciones sedimentarias, las asociaciones de facies definidas por Goso y Ubilla (2004) permiten realizar inferencias ambientales. La Asociación de Facies A se habría formado en condiciones de alto régimen de flujo unidireccional en un ambiente con alta energía de tipo aluvial y fluvial. Se interpreta que los sedimentos de la Asociación de Facies B se depositaron por procesos suspensivos gravitacionales como flujos de barro y slumps en los que hubo algunas intermitencias sedimentarias que permitieron la formación de paleosuelos, la bioturbación y un posible retrabajo eólico. La sedimentación correspondiente a la Asociación de Facies C fue interpretada como perteneciente a un ambiente fluvial. Por lo tanto, las capas sedimentarias se originaron predominantemente en contextos fluviales con canales y planicies de inundación y con algunos momentos de condiciones adecuadas para la generación de paleosuelos (Goso y Ubilla, 2004; Ubilla y Martínez, 2016).

5. Metodología

5.1. Sedimentología

Considerando los objetivos planteados, se realizó la secuencia de tareas de campo, laboratorio y gabinete que se detalla a continuación.

5.1.1 Actividades en campo: Obtención de datos en los afloramientos

Se levantaron perfiles combinados en dos puntos de afloramiento seleccionados. El afloramiento 1, dónde se realizó el perfil 1, tiene coordenadas 30°57'04,8'' S, 57°27'12,3'' W y se localiza aguas arriba, al noreste del puente que cruza al Río Arapey Chico en el Paso del Buey Negro (ver Figura 1b). Las coordenadas del afloramiento 2, dónde se realizó el perfil 2, son 30°57'04,8'' S, 57°27'12,3'' W, y se encuentra aguas abajo, al suroeste del mismo puente (ver Figura 1b).

Se definieron la cantidad de estratos, sus relaciones de contacto, espesores, estructuras sedimentarias y presencia de fósiles, además de los atributos litológicos que permiten la caracterización de sedimentos como son el color, la granulometría (a grandes rasgos), la mineralogía (cuando fue posible) y la selección, redondez y esfericidad de los clastos. Para describir el color de los sedimentos se utilizó la carta Munsell Books of Color (1984). Los colores se determinaron en los afloramientos, al sol, en sedimentos en exposición subaérea (que conservan cierta humedad). Para describir el tamaño de grano de los sedimentos se usó la escala granulométrica de Udden - Wentworth modificada por Krumbein (ver Tabla 2).

Se colectaron 9 muestras puntuales para realizar estudios granulométricos en laboratorio mediante el siguiente método: con ayuda de cucharín y piqueta se extrajo aproximadamente un kilogramo de sedimento por muestra, que fue empaquetado en bolsas plásticas y debidamente etiquetadas.

5.1.2 Actividades de laboratorio: Ensayos granulométricos de sedimentos

Todas las muestras recibieron tratamientos preliminares para realizar ensayos granulométricos. Para ello, se dejaron secar en bandejas a temperatura ambiente durante aproximadamente 40 días. En el procesamiento de las muestras P1U4 y P2U3, ambas correspondientes a una unidad con carbonatos, las concreciones y costras de carbonatos fueron removidas manualmente previo al tamizado. Una potencial fuente de error en los resultados del tamizado de esas dos muestras es la presencia de agregados de clastos por

el carbonato presente. No está dentro de los objetivos del trabajo analizar los contenidos de carbonato pulverulento de las muestras.

Se realizó el tamizado en seco de todas las muestras, utilizando tamices con las siguientes medidas: 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4,76 mm, 2 mm, 1 mm, 500 μ , 250 μ , 125 μ , 63 μ y finalmente un ciego. Se tamizó en Ro-Tap durante 10-15 minutos a una frecuencia de 60 Hz.

No se hizo tamizado por vía húmeda por indisponibilidad del laboratorio en tiempos de pandemia.

Tabla 2 - Escala granulométrica utilizada: Udden - Wentworth modificada por Krumbein (Folk, 1980).

ϕ	mm	
<-8	>256	Aglomerado
-6 a -8	65 a 256	Grava gruesa
-5 a -6	32 a 64	Grava media
-4 a -5	16 a 32	
-3 a -4	8 a 16	
-2 a -3	4 a 8	Grava fina
-1 a -2	2 a 4	
0 a -1	1 a 2	Arena muy gruesa
1 a 0	0,5 a 1	Arena gruesa
2 a 1	0,25 a 0,5	Arena media
3 a 2	0,125 a 0,250	Arena fina
4 a 3	0,0625 a 0,125	Arena muy fina
8 a 4	0,0039 a 0,0625	Limo
<10 a 8	<0,0039	Arcilla

5.1.3 Actividades de gabinete: Procesamiento de datos sedimentarios

Se realizaron análisis granulométricos utilizando software GRADISTAT (Blott and Pye, 2001).

En base a todos los datos obtenidos se realizaron perfiles tipo Selley a escala adecuada, utilizando software SedLog (Zervas et al., 2009).

5.2 Estudio de los materiales paleontológicos

5.2.1 Registro faunístico y estudio de caso

El caso de estudio de este trabajo es un cráneo fósil parcialmente completo de carpincho (roedor de la familia Caviidae) cuyo estatus taxonómico debe ser determinado (ver Figura 6). Estos restos cráneo-dentales muy bien preservados están identificados con el número 2934 y pertenecen a la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias. Este fósil fue colectado en el área de estudio, el Paso del Buey Negro.

5.2.2 Metodología aplicada al material fósil

Se tomaron medidas estandarizadas, utilizando un calibre digital, de largos y anchos de cráneo, mandíbula y dientes en un total de 36 ejemplares actuales de *Hydrochoerus hydrochaeris* tanto adultos como juveniles de las colecciones del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) y de la Facultad de Ciencias (FC).

A continuación se describe el set de medidas cráneo-dentales que fueron tomadas (siempre que fue posible) en el material comparativo. No se detallan las mandibulares que también fueron tomadas ya que en este trabajo no serán utilizadas.

Medidas cráneo-dentales:

1. Longitud craneana máxima - desde el punto más anterior del rostro hasta el punto más posterior del cráneo.

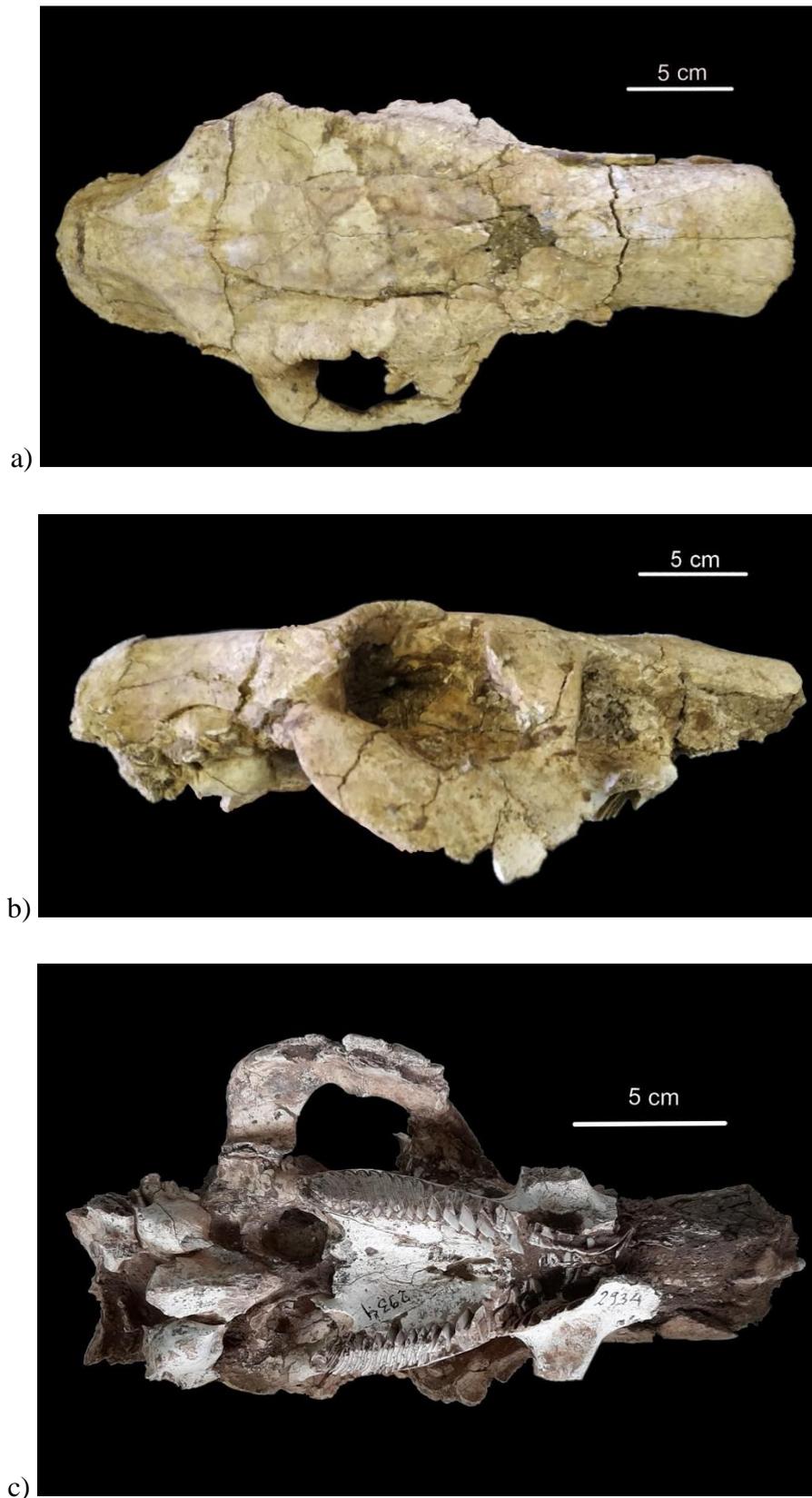


Figura 6 - Material fósil estudiado en este trabajo. Corresponde a un cráneo de carpincho parcialmente completo cuyo estatus taxonómico es analizado. Este material se identifica con el número 2934 de la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias. a) Vista dorsal. b) Vista lateral. c) Vista palatal.

- 2. Longitud cóndilo basal** - desde el punto más anterior del cráneo hasta el punto más posterior del cóndilo occipital.
- 3. Longitud basal** - desde el borde anterior del premaxilar hasta el punto más anterior del borde del foramen magnum.
- 4. Longitud basilar** - desde el borde posterior del alvéolo de los incisivos superiores hasta el punto más anterior del foramen magnum.
- 5. Ancho del rostro** - ancho del rostro tomado a nivel del extremo anterior de las apófisis anteriores del maxilar.
- 6. Ancho bicondilar máximo** - longitud mayor entre los dos bordes más exteriores de los cóndilos.
- 7. Ancho bicigomático** - mayor distancia entre los márgenes exteriores del arco cigomático.
- 8. Ancho máximo de las apófisis anteorbitarias** - mayor longitud entre las apófisis anteorbitarias.
- 9. Ancho interorbital mínimo** - distancia mínima dorsal entre las órbitas.
- 10. Ancho bimastoideo** - mayor ancho del cráneo incluyendo las apófisis mastoides.
- 11. Constricción postorbital** - menor distancia posterior al proceso postorbital a través del cráneo.
- 12. Longitud palatal** - desde el borde anterior del premaxilar hasta el punto más anterior del borde posterior del palatal.
- 13. Longitud palatilar** - desde el borde posterior del alvéolo del incisivo hasta el punto más anterior del borde posterior del palatal.
- 14. Longitud postpalatal** - desde el punto más anterior del borde posterior del palatal al punto más anterior del foramen magnum.
- 15. Ancho de la escotadura postpalatina** - tomado sobre el palatino, medido por el interior.

- 16. Longitud nasal** - desde el punto más anterior hasta el más posterior de los huesos nasales tomado en la línea media del cráneo.
- 17. Ancho nasal** - mayor ancho de los nasales.
- 18. Longitud del diastema** - desde el margen posterior del alvéolo del incisivo hasta el margen anterior del alvéolo del premolar.
- 19. Longitud alveolar de la hilera de dientes.**
- 20. Longitud de la hilera de dientes.**
- 21. Longitud máxima alveolar del premolar (P1).**
- 22. Ancho máximo alveolar de premolar (P1).**
- 23. Longitud máxima del premolar (P1).**
- 24. Ancho máximo del premolar (P1).**
- 25. Longitud máxima alveolar del molar 1 (M1).**
- 26. Ancho máximo alveolar de molar 1 (M1).**
- 27. Longitud máxima del molar 1 (M1).**
- 28. Ancho máximo del molar 1 (M1).**
- 29. Longitud máxima alveolar del molar 2 (M2).**
- 30. Ancho máximo alveolar de molar 2 (M2).**
- 31. Longitud máxima del molar 2 (M2).**
- 32. Ancho máximo del molar 2 (M2).**
- 33. Longitud máxima alveolar del molar 3 (M3).**
- 34. Ancho máximo alveolar de molar 3 (M3).**
- 35. Longitud máxima del molar 3 (M3).**
- 36. Ancho máximo del molar 3 (M3).**
- 37. Cantidad de lofos/prismas de M3.**

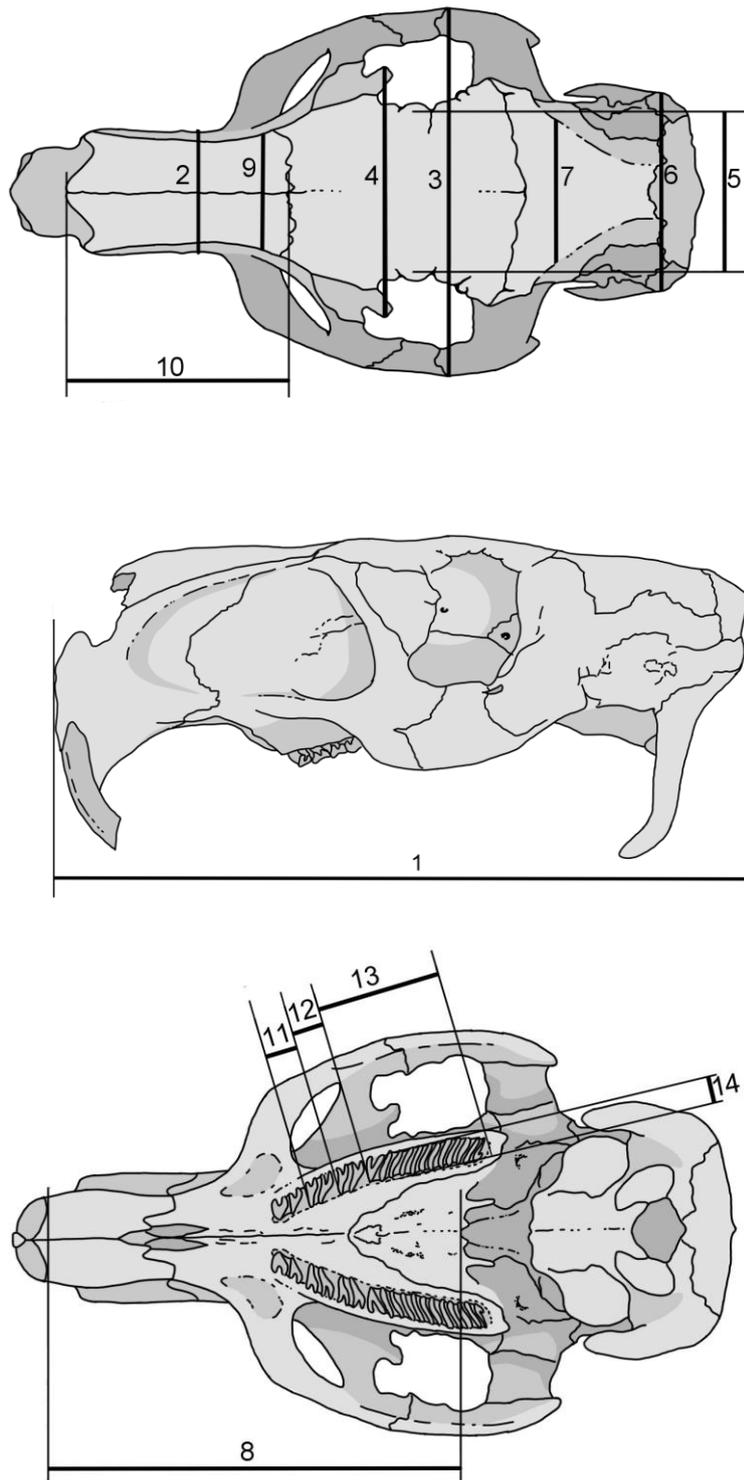


Figura 7 - Ilustración de las medidas tomadas en el cráneo fósil de carpincho que es objeto de estudio en este trabajo. **1.** Longitud total. **2.** Ancho del rostro. **3.** Ancho bicigomático. **4.** Ancho a nivel de las apófisis anteorbitarias. **5.** Ancho interorbital mínimo. **6.** Ancho bimastoideo. **7.** Constricción postorbital. **8.** Longitud palatal. **9.** Ancho nasal. **10.** Longitud nasal. **11.** Longitud del M1. **12.** Longitud del M2. **13.** Longitud del M3. **14.** Ancho del M3.

En base a esta lista se tomaron medidas cráneo-dentales en el cráneo fósil de carpincho parcialmente completo identificado con el número de catálogo 2934 en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias (ver Figura 2). Las medidas que fue posible tomar se muestran en la Figura 7. Las medidas 1 y 11 debieron ser estimadas porque el cráneo fósil está incompleto.

Para ampliar la muestra comparativa de los análisis se incluyeron medidas disponibles de materiales cráneo-dentales de *Nechoerus* tomadas de Ubilla (1996) y de *Nechoerus* y *Hydrochoerus* tomadas de Gomes et al. (2019, Supplementary Data).

Se realizaron análisis bivariantes utilizando como variables las medidas que fue posible tomar en el cráneo fósil. Para comparación, teniendo en cuenta los datos de Colección disponibles y los criterios de determinación de edad craneana considerados en la Sección 3.4.3, se dividieron todos los datos en tres grupos: juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris*; adultos de *Hydrochoerus hydrochaeris*; *Nechoerus sp.*

La planilla con todas las medidas se puede encontrar en el Apéndice 1.

6. Resultados

6.1 Geología descriptiva

Se registraron y describieron un total de cuatro unidades terrígeno-clásticas, que aparecen separadas en la Figura 8.

Se construyeron, en base a las unidades descritas, dos perfiles combinados; uno por cada punto de afloramiento estudiado (ver Figuras 1b, 9 y 10).

A continuación se describen de base a tope las unidades de la Formación Sopas presentes en los dos puntos relevados en el Paso del Buey Negro (posteriormente se definirán las facies).

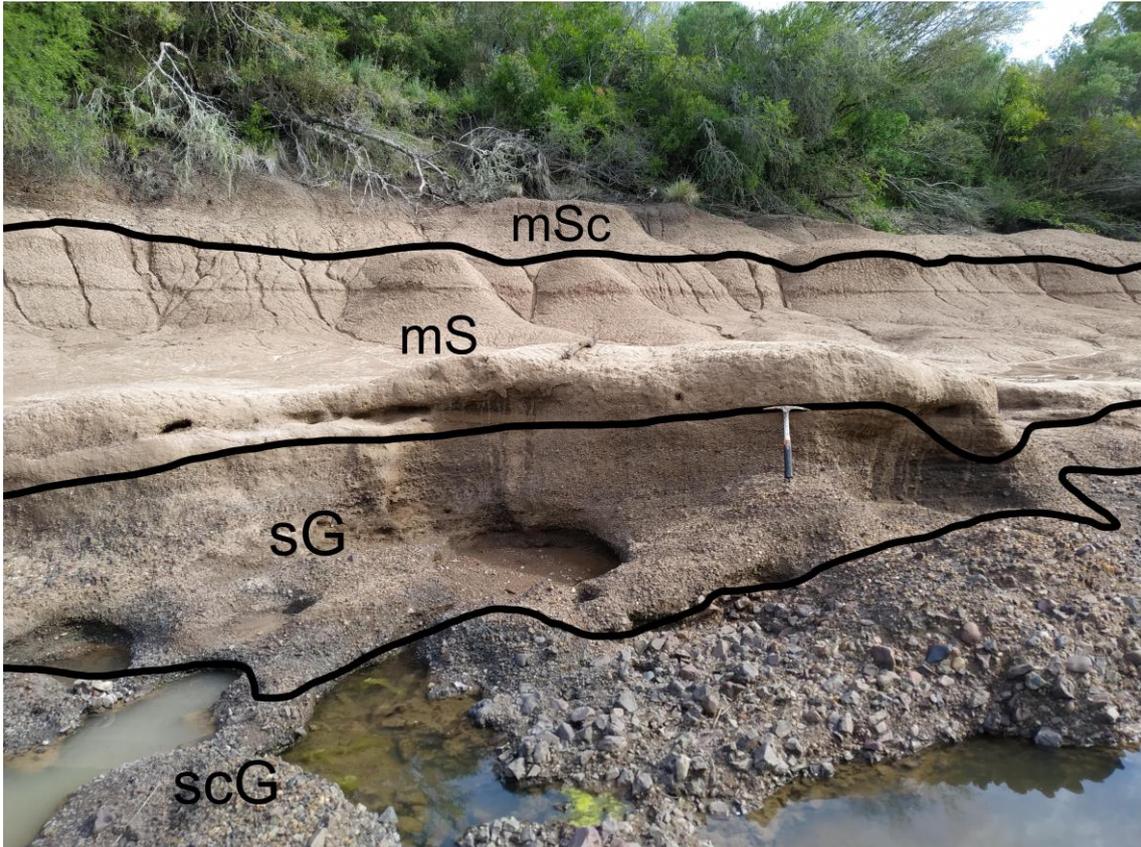


Figura 8 - Vista general del afloramiento 1. De base a tope pueden observarse las gravas gruesas con matriz arenosa gris oliva (scG), las gravas finas a medias con matriz arenosa grises (sG), las arenas fangosas marrón-rojizas (mS) y las arenas fangosas marrón-rojizas con carbonatos (mSc).

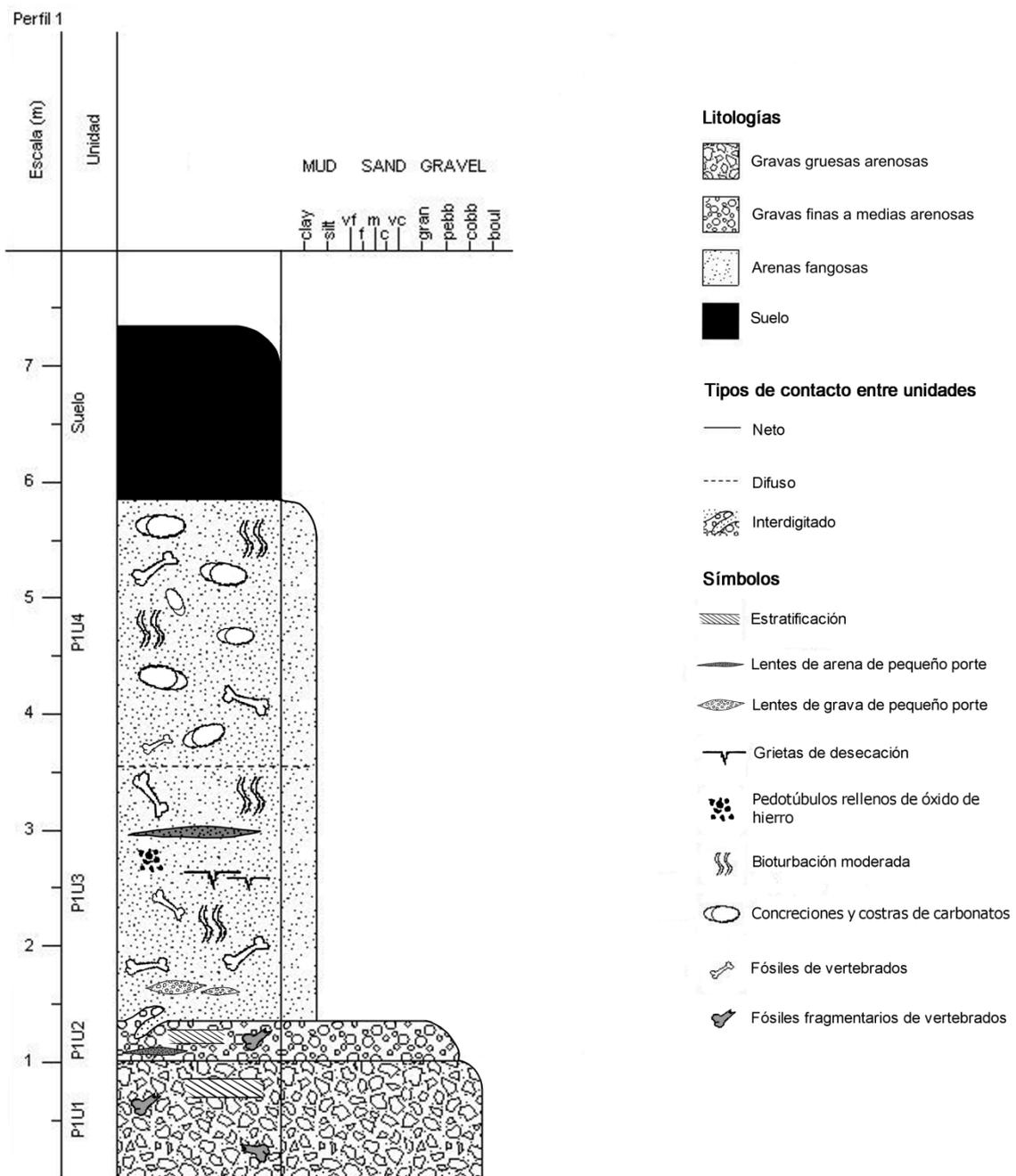


Figura 9 - Perfil combinado del afloramiento 1, de rumbo N260 y coordenadas 30°57'04,8'' S, 57°27'12,3'' W.

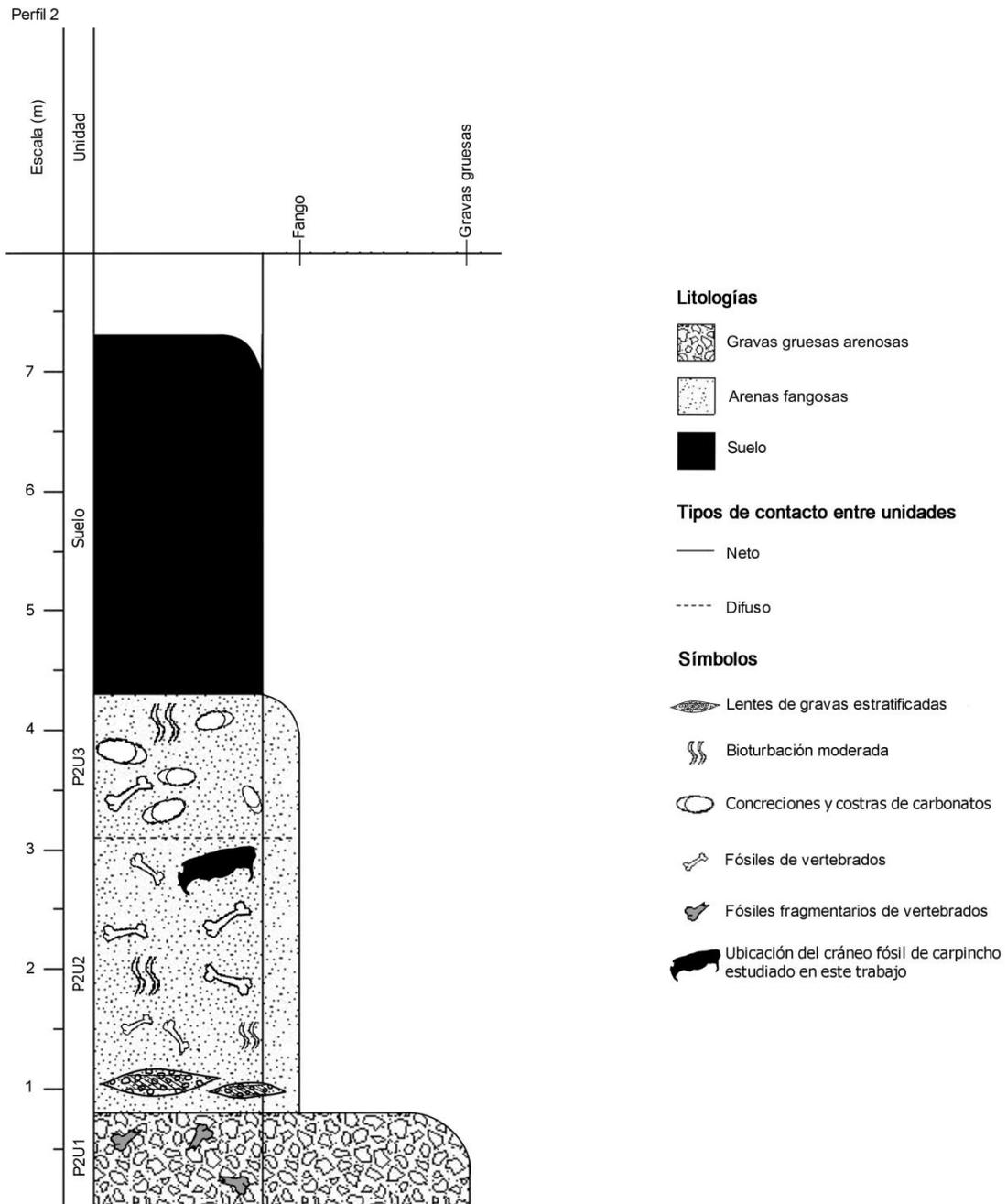


Figura 10 - Perfil combinado, elaborado en base al afloramiento 2, de rumbo N235 y de coordenadas 30°57'04,8'' S, 57°27'12,3'' W.

Unidad 1: Gravas gruesas arenosas gris oscuro (scG; sandy coarse Gravel)

En el afloramiento 1, esta unidad se encuentra con un espesor de 90 cm a 1 m y presenta un color gris oscuro 5Y 4/1. Tiene estructura masiva. Puede presentar una estratificación cruzada tabular planar gruesa y está poco consolidada. Es polimíctica; su esqueleto está compuesto por clastos centimétricos y decimétricos de basaltos, ópalos y areniscas silicificadas, redondeados a subangulosos, que tienden a una esfericidad media. Los clastos de ópalo tienden a ser más redondeados que los clastos de las otras litologías. El clasto de mayor tamaño registrado tiene 20 cm de diámetro. La textura tiende a ser matriz sostén, aunque en algunas zonas los clastos del esqueleto están en contacto entre sí.

La matriz es mayormente arenosa. Está compuesta por cuarzos (60%), feldespatos (20%) y otros líticos (20%). Dentro de los últimos se identificaron algunos aglomerados de arcillas. Los clastos tienden a ser angulosos y subangulosos en su inmensa mayoría (98%). En el 90% la esfericidad no es muy alta, y se reconocen muchos clastos con forma de discoidal. No obstante, fueron observados algunos clastos con alta esfericidad (10%). Se encuentran clastos redondeados o subredondeados con perforaciones superficiales. En esta unidad se encuentran algunos restos fragmentarios de vertebrados. El contacto con la unidad suprayacente (sG) es neto. No fue posible observar el contacto basal.

En el afloramiento 2 esta unidad tiene un espesor de 80 cm y es de color gris oscuro 5Y 4/1 (ver Figura 11 y Figura 12). En el esqueleto aparecen clastos de areniscas, cuarzos, basaltos masivos, basaltos vacuolares, restos de geodas y ópalos. El clasto de mayor tamaño observado tiene 30 cm de diámetro. Los clastos son de redondeados a angulosos (los más pequeños tienden a ser redondeados a subredondeados, mientras que los más grandes tienden a ser angulosos a subangulosos) y tienden a tener baja esfericidad. En algunas zonas presenta textura clasto sostén, mientras que en otras es matriz sostén.

La matriz es arenosa y está compuesta por cuarzos de varios colores (transparente, amarillo, naranja, rojo) (55%), feldespatos (25%) y fragmentos líticos (20%) que incluyen algunos intraclastos pelíticos. Los granos son mayoritariamente angulosos a subangulosos (98%) y tienden a una baja esfericidad (95%). En pequeña proporción aparecen clastos redondeados (2%) y esféricos (5%). Se encuentran clastos

(en general de cuarzo pero no solamente) que tienden a ser redondeados o subredondeados y tienen perforaciones superficiales (como en el otro punto de afloramiento). La unidad aparece poco consolidada y posee un contacto neto con la unidad suprayacente, que en este caso corresponde a mS. El contacto basal no aflora. Se encuentran fragmentos fósiles de vertebrados (ver Figura 13).



Figura 11 - scG en el afloramiento 2.



Figura 12 - Detalle de un clasto de basalto vacuolar, entre otros clastos, en scG del afloramiento 2.



Figura 13 - Fósiles fragmentarios de vertebrados encontrados en scG del afloramiento 2.

Unidad 2: Gravas finas a medias arenosas grises (sG; sandy Gravel)

Esta unidad aparece en el afloramiento 1 con un espesor de 35 cm. Es de color gris medio N3 a gris oscuro N4. Es polimíctica y los clastos del esqueleto están compuestos por cuarzo transparente, arenisca silicificada y ópalo. La mayoría de los clastos tienen un diámetro entorno a los 2 centímetros. El mayor clasto observado en campo tiene 7 centímetros de diámetro. En el esqueleto la mayoría de los clastos son redondeados (90%), pero se encuentran algunos clastos angulosos (10%). La mayoría tienen baja esfericidad (80%), aunque hay algunos con alta esfericidad (20%). La textura en algunas zonas es clasto sostén mientras que en otras es matriz sostén. En la matriz se identifican cuarzos de varios colores (2%) incluyendo fragmentos de geoda (cuarzo violeta), algo de feldespatos (7%) y abundantes fragmentos líticos (93%). Los clastos son mayoritariamente angulosos (98%), pero hay redondeados (2%). Además, mayoritariamente presentan baja esfericidad (95%), pero hay algunos con alta esfericidad (5%).

Fueron reconocidas estratificaciones cruzadas más o menos bien definidas (ver Figura 14). En el afloramiento 1 se midió en una estratificación cruzada una paleocorriente de dirección N210. Además, dentro de la unidad aparecen ciclos de arenas en forma de pequeños pulsos de 5 cm de espesor y geometría lenticular (ver Figura 15). Esta unidad aparece poco consolidada. Presenta un contacto neto con la unidad subyacente, scG. El contacto con la unidad suprayacente, mS, es también neto, pero en algunos lugares ambas unidades aparecen interdigitadas (ver Figura 16).

Unidad 3: Arenas fangosas rojos pálidos (mS; muddy Sand)

Esta unidad corresponde a arenas fangosas de color rojo pálido 10R 6/2 y es muy fosilífera (ver Figura 18 y 19). En el afloramiento 1 tiene un espesor de 2,20 metros. Presenta geometría lobulada; diversos lóbulos se superponen generando, en algunos casos, figuras de arrastre. Los granos tamaño arena están compuestos por cuarzos (50%), feldespatos (45%) y algunos fragmentos líticos (5%) que incluyen algunos intraclastos pelíticos (>1%). La mayoría de los clastos son angulosos a subangulosos y con baja esfericidad (95%), aunque presenta algunos clastos redondeados que tienden a tener alta esfericidad (5%).

En la base, intercalados en esta unidad, aparecen lentes de grava de unos 5 centímetros de espesor. A 1,5 metros de la base de esta unidad se registra un lente de arenas gruesas de espesor 15 centímetros con estratificación irregular (ver Figura 20). El lente está compuesto por cuarzos (45%), feldespatos (35%) y fragmentos líticos (20%). Los clastos son mayoritariamente subangulosos a angulosos (98%) y con baja esfericidad (95%). La unidad también presenta un nivel con grietas de desecación rellenas de arcillas verdes, dónde se registran también pedotúbulos rellenos de óxido de hierro (ver Figura 21). Esta unidad también presenta bioturbación, lo cual, junto con los elementos mencionados en la frase anterior, son signos de generación de paleosuelos. Suelen aparecer fósiles bien conservados de vertebrados, en general completos o parcialmente completos (ver Figura 22). El contacto infrayacente se da en forma neta con scG y sG, aunque en algunos casos esta última unidad aparece interdigitada. El contacto con la unidad suprayacente, mSc, es neto, aunque en ocasiones puede ser irregular.

En el afloramiento 2, esta unidad tiene 2,3 metros de espesor. Las arenas fangosas de este afloramiento son también muy fosilíferas, de hecho el material craneano de carpincho estudiado en este trabajo se encontró hacia el tope de esta unidad en este punto (a 2,2-2,3 metros de la base; ver Figura 10).

En la base de esta unidad, en el afloramiento 2, se encuentran interestratificados numerosos lentes de gravas arenosas de aproximadamente 1,50 metros de extensión lateral, con espesores en torno a 40 centímetros en la parte más ancha. Como clastos del esqueleto en estos lentes se destacan las geodas de basalto con cristales de cuarzo. Los clastos tienden a ser angulosos a subangulosos (90%), aunque hay algunos redondeados (10%). En general la esfericidad es baja (90% con baja esfericidad y 10% con alta esfericidad). Se identifican algunos clastos con perforaciones superficiales (tienden a ser de bordes redondeados, aunque los hay angulosos) que seguramente fueron generadas durante el transporte. La fracción arenosa presente está compuesta por cuarzos (50%), feldespatos (30%) y fragmentos líticos (20%). Los granos tienden a ser angulosos (95%), aunque se identifican algunos redondeados (5%). Tienden a una baja esfericidad (90%), pero también hay algunos muy esféricos (10%). Como estructura en estos lentes se reconoce estratificación cruzada; en algunos lentes es clara, mientras que en otros es más bien un esbozo de estratificación gruesa (ver Figura 17).

a)



b)



Figura 14 - Estratificación en sG. a) Vista general. En la base se aprecian las gravas gruesas con matriz arenosa. En el tope se puede ver mS y en la base, a la izquierda, se puede ver scG. b) Vista de detalle de la misma estructura. Fotografías tomadas en el afloramiento 1.



Figura 15 - Lente de arena en sG. Foto tomada en el afloramiento 1.



Figura 16 - sG interdigitada con mS. Foto tomada en el afloramiento 1.

a)



b)



Figura 17 - a) Lentes de gravas con estratificación que aparecen dentro de la unidad mS. b) Tres lentes de gravas interestratificados en mS; el de arriba a la derecha tiene una estratificación clara. Ambas fotos fueron tomadas en el afloramiento 2.

a)



b)



Figura 18 - mS. a) Foto tomada en el afloramiento 1 (en el tope aparece mSc). b) Foto tomada en el afloramiento 2; se pueden observar lentes de gravas interestratificados. En la base aparece scG.



Figura 19 - Fósil encontrado en mS.



Figura 20 - Lente de arenas con estratificación irregular en mS. Fotos tomadas en el afloramiento 1. Nota: la terminación en cuña propia de los lentes no se ve en las fotos porque fueron tomadas desde una distancia en que la estratificación fuera apreciable.

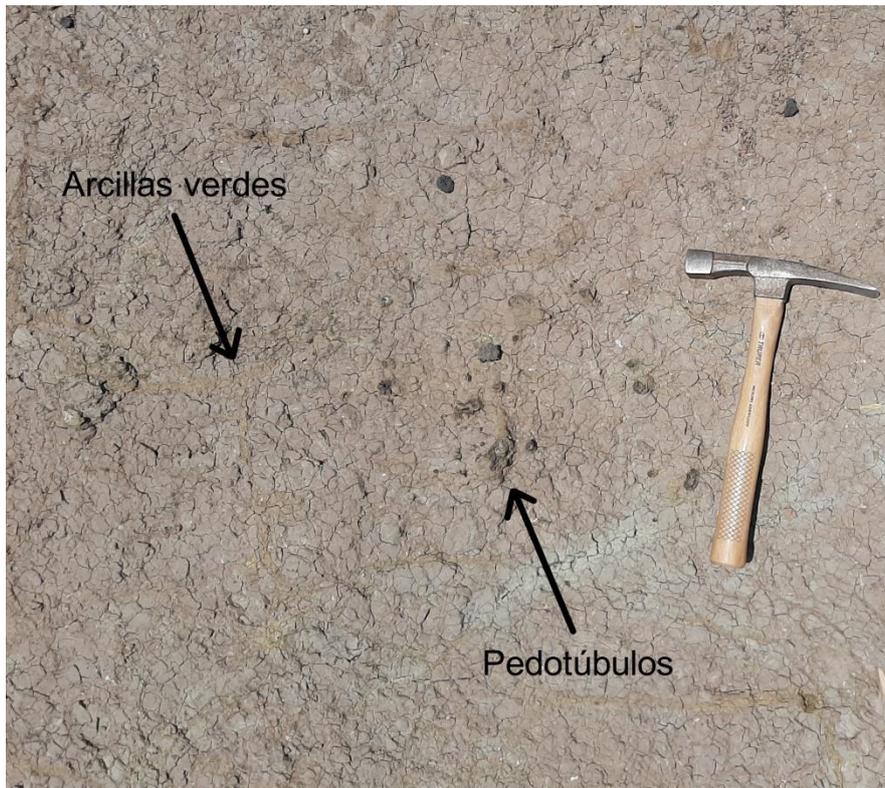


Figura 21 - Arcillas verdes y pedotúbulos rellenos de óxido de hierro en los mS. Fotos tomadas en el afloramiento 1.



Figura 22 - Caparazón fósil de tortuga encontrado dentro de mS, a aproximadamente 1 m de la base. Foto tomada en el afloramiento 1.

Unidad 4: Arenas fangosas pardo-rojizas con carbonatos (mSc; muddy Sand with carbonate)

Esta unidad, si bien tiene una litología muy similar a la de la Unidad 3 (los fangos marrón-rojizos) se separa de la misma porque presenta concreciones y costras de carbonatos. Es masiva y de color pardo rojizo pálido a rojo amarillento 5YR 6/4 - 5YR 5/6. La fracción arenosa está compuesta por cuarzos (50%), feldespatos (30%) y fragmentos líticos (20%). Los clastos son angulosos a subangulosos y presentan baja esfericidad.

En el afloramiento 1 tiene un espesor de 2,3 metros (ver Figura 23). En el afloramiento 2 su espesor es de 1,2 metros. El contacto con la unidad infrayacente, mS, es neto aunque puede ser irregular. Suprayacente a esta unidad aparece suelo, que en el afloramiento 1 tiene un espesor de 1,5 m y en el afloramiento 2 tiene un espesor de 3 m. No entra dentro de los objetivos de este trabajo estudiar en mayor profundidad al suelo.



Figura 23 - mSc. Foto tomada en el afloramiento 1.

6.2 Análisis granulométricos

Se analizaron granulométricamente cinco muestras del afloramiento 1 (P1U1, P1U2, P1U3, P1U3 nivel, P1U4), y cuatro muestras del afloramiento 2 (P2U1, lente intra P2U2, P2U2, P2U3) (ver Figura 1c). En todos los casos el error por pérdida de muestra durante el tamizado estuvo dentro de los parámetros aceptables, ya que todas las pérdidas fueron considerablemente menores al 3% (ver Apéndice 2). En las Figuras 24 y 25 aparecen los datos obtenidos del análisis granulométrico para cada una de las muestras.

Cinco muestras son unimodales (P1U3; P1U3 nivel; P1U4; P2U2; P2U3), dos muestras son bimodales (P1U1; lente intra P2U2) y dos muestras son trimodales (P1U2; P2U1).

Potenciales fuentes de error

Una potencial fuente de error en los resultados del tamizado de las dos muestras de la Unidad 4 es la presencia de agregados de clastos por el carbonato presente, como se mencionó en la Sección 4.1.2. El efecto de la presencia de estos agregados sería una sobrerrepresentación de granulometrías más gruesas. En el caso de esta Unidad es se

podría testear si hay una sobrerrepresentación en materiales gruesos teniendo en cuenta de que se trata del sedimento de la Unidad 3 pero sometido a procesos que generaron costras y concreciones de carbonato. La distribución de las granulometrías de las muestras de ambas unidades no solo es muy similar, sino que las muestras de la Unidad 4 presentan más finos que las de la Unidad 3, por lo que el potencial efecto de los agregados de clastos debido al carbonato debe ser bajo. La otra forma de interpretar estos datos es que el contenido de carbonato aglomerando sedimentos es similar en ambas Unidades.

Dado que dentro de los objetivos de este estudio no se encuentra el estudio detallado de los finos, no se realizaron procesamientos específicos que eviten la formación de intraclastos pelíticos. Como se mencionó en la sección 5.1, se registraron intraclastos pelíticos en las muestras. Esto puede llevar a una sobrerrepresentación de fracciones más gruesas.

Las dos potenciales fuentes de error mencionadas anteriormente (que generarían una sobrerrepresentación de fracciones más gruesas) podrían llevar a que sedimentos fangosos se terminen clasificando como arenas fangosas en los análisis granulométricos realizados.

Es de recibo aclarar una potencial fuente de error en los valores de selección, asimetría y kurtosis (agudeza) para las muestras bimodales y trimodales que se muestran en las Figuras 24 y 25. El programa utilizado para generar todos los datos estadísticos (GRADISTAT), para el caso de los tres valores antes mencionados (selección, asimetría y kurtosis), utiliza ecuaciones de un modelo que está basado en la distribución unimodal. Por ello, los valores de selección, asimetría y kurtosis de las muestras que no son unimodales pueden no ser correctos. Aquí se presentan los valores de las muestras bimodales y trimodales para complementar el análisis y porque son una aproximación adecuada (Blott and Pye, 2001). Se aconseja tener presente esta posible fuente de error si se fuera a hacer alguna interpretación en base estos datos, lo cual no se va a hacer en este trabajo (cuando se discuta sobre la selección se hará tomando en cuenta la selección determinada en las muestras, no en el valor calculado por GRADISTAT). Conviene aclarar que los demás análisis (es decir, los que no tienen que ver con estos tres valores) son válidos para cualquier tipo de muestra.

a)

SIEVING ERROR: 0,1%
SAMPLE IDENTITY: P1U1
 SAMPLE TYPE: Bimodal, Moderately Sorted
 SEDIMENT NAME: Coarse Gravel

SAMPLE STATISTICS

ANALYST & DATE: ,
 TEXTURAL GROUP: Gravel

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 82,0%	COARSE SAND: 5,5%	SAND: 17,7%	MEDIUM SAND: 3,0%
MODE 1:	23750,0	-4,489	MUD: 0,3%	FINE SAND: 1,2%		
MODE 2:	3000,0	-1,500		V FINE SAND: 0,4%		
MODE 3:			V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,0%		
D_{10} :	944,6	-6,533	COARSE GRAVEL: 47,7%	COARSE SILT: 0,0%		
MEDIAN or D_{50} :	14142,0	-3,822	MEDIUM GRAVEL: 13,1%	MEDIUM SILT: 0,0%		
D_{90} :	92628,7	0,082	FINE GRAVEL: 7,0%	FINE SILT: 0,0%		
(D_{90} / D_{10}) :	98,06	-0,013	V FINE GRAVEL: 14,2%	V FINE SILT: 0,0%		
$(D_{90} - D_{10})$:	91684,1	6,616	V COARSE SAND: 7,6%	CLAY: 0,0%		
(D_{75} / D_{25}) :	6,995	0,347				
$(D_{75} - D_{25})$:	16866,0	2,806				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic μm	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	7034,2	406,9	-1,587	5409,6	-2,436	Fine Gravel
SORTING (σ):	8887,7	55,46	1,994	1,723	0,785	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,052	-0,674	0,028	-3,128	3,128	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	2,517	1,723	2,640	0,271	0,271	Very Platykurtic

SIEVING ERROR: 0,3%
SAMPLE IDENTITY: P2U1
 SAMPLE TYPE: Trimodal, Poorly Sorted
 SEDIMENT NAME: Sandy Medium Gravel

SAMPLE STATISTICS

ANALYST & DATE: ,
 TEXTURAL GROUP: Sandy Gravel

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 65,2%	COARSE SAND: 10,1%	SAND: 33,3%	MEDIUM SAND: 8,5%
MODE 1:	3000,0	-1,500	MUD: 1,5%	FINE SAND: 4,7%		
MODE 2:	12000,0	-3,500		V FINE SAND: 1,9%		
MODE 3:	750,0	0,500	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,2%		
D_{10} :	293,2	-4,670	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,2%		
MEDIAN or D_{50} :	3455,7	-1,789	MEDIUM GRAVEL: 33,7%	MEDIUM SILT: 0,2%		
D_{90} :	25451,5	1,770	FINE GRAVEL: 12,2%	FINE SILT: 0,2%		
(D_{90} / D_{10}) :	86,81	-0,379	V FINE GRAVEL: 19,3%	V FINE SILT: 0,2%		
$(D_{90} - D_{10})$:	25158,4	6,440	V COARSE SAND: 8,2%	CLAY: 0,2%		
(D_{75} / D_{25}) :	13,23	-0,046				
$(D_{75} - D_{25})$:	10922,3	3,726				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic μm	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	3409,9	465,3	-0,713	2659,7	-1,411	Very Fine Gravel
SORTING (σ):	4129,4	24,80	2,016	3,276	1,712	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,212	-1,063	0,818	-0,808	0,808	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	3,080	2,698	4,574	0,412	0,412	Very Platykurtic

b)

SIEVING ERROR: 0,2%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **P1U2**

ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Trimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Sandy Gravel

SEDIMENT NAME: Sandy Medium Gravel

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION	
MODE 1:	3000,0	-1,500	GRAVEL: 66,9%	COARSE SAND: 10,6%
MODE 2:	12000,0	-3,500	SAND: 32,4%	MEDIUM SAND: 10,6%
MODE 3:	750,0	0,500	MUD: 0,7%	FINE SAND: 3,8%
D_{10} :	329,8	-5,401		V FINE SAND: 1,2%
MEDIAN or D_{50} :	4541,2	-2,183	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,1%
D_{90} :	42250,6	1,600	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,1%
(D_{90} / D_{10}) :	128,1	-0,296	MEDIUM GRAVEL: 40,0%	MEDIUM SILT: 0,1%
$(D_{90} - D_{10})$:	41920,8	7,001	FINE GRAVEL: 12,2%	FINE SILT: 0,1%
(D_{75} / D_{25}) :	16,47	-0,049	V FINE GRAVEL: 14,7%	V FINE SILT: 0,1%
$(D_{75} - D_{25})$:	13583,0	4,042	V COARSE SAND: 6,1%	CLAY: 0,1%

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic μm	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	3082,8	261,4	-0,650	2305,1	-1,205	Very Fine Gravel
SORTING (σ):	4088,8	33,91	1,843	2,505	1,325	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,320	-0,722	0,359	-1,395	1,395	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	3,353	1,912	3,780	0,301	0,301	Very Platykurtic

c)

SIEVING ERROR: 0,8%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **P1U3**

ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Muddy Sand

SEDIMENT NAME: Coarse Silty Fine Sand

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 4,7%	SAND: 86,6%	MEDIUM SAND: 26,2%
MODE 1:	187,5	2,500	MUD: 13,4%	FINE SAND: 39,9%		
MODE 2:				V FINE SAND: 14,7%		
MODE 3:						
D_{10} :	22,01	1,160	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 2,2%		
MEDIAN or D_{50} :	183,0	2,450	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 2,2%		
D_{90} :	447,6	5,506	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 2,2%		
(D_{90} / D_{10}) :	20,34	4,748	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 2,2%		
$(D_{90} - D_{10})$:	425,6	4,346	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 2,2%		
(D_{75} / D_{25}) :	2,780	1,852	V COARSE SAND: 1,2%	CLAY: 2,2%		
$(D_{75} - D_{25})$:	192,8	1,475				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	237,5	134,2	2,858	170,7	2,551	Fine Sand
SORTING (σ):	197,8	3,598	1,801	3,145	1,653	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	2,641	-1,406	1,325	-0,327	0,327	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	14,89	4,351	4,006	1,920	1,920	Very Leptokurtic

SIEVING ERROR: 0,4%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **P2U2**

ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Muddy Sand

SEDIMENT NAME: Very Coarse Silty Fine Sand

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 15,1%	SAND: 83,3%	MEDIUM SAND: 21,3%
MODE 1:	187,5	2,500	MUD: 16,7%	FINE SAND: 26,0%		
MODE 2:				V FINE SAND: 20,8%		
MODE 3:						
D_{10} :	11,92	0,650	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 2,8%		
MEDIAN or D_{50} :	174,8	2,516	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 2,8%		
D_{90} :	637,4	6,391	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 2,8%		
(D_{90} / D_{10}) :	53,49	9,835	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 2,8%		
$(D_{90} - D_{10})$:	625,5	5,741	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 2,8%		
(D_{75} / D_{25}) :	4,400	2,468	V COARSE SAND: 0,2%	CLAY: 2,7%		
$(D_{75} - D_{25})$:	281,6	2,137				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	269,1	130,6	2,934	165,1	2,599	Fine Sand
SORTING (σ):	239,6	4,149	2,050	3,983	1,994	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,222	-0,955	0,950	-0,259	0,259	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	3,905	2,915	2,898	1,507	1,507	Very Leptokurtic

SIEVING ERROR: 0,2%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **P1U3 nivel**

ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Sand

SEDIMENT NAME: Poorly Sorted Medium Sand

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 36,3%	SAND: 97,4%	MEDIUM SAND: 36,8%
MODE 1:	375,0	1,500	MUD: 2,6%	FINE SAND: 10,5%		
MODE 2:				V FINE SAND: 4,9%		
MODE 3:			V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,4%		
D_{10} :	147,9	0,029	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,4%		
MEDIAN or D_{50} :	457,1	1,129	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 0,4%		
D_{90} :	980,1	2,757	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 0,4%		
(D_{90} / D_{10}) :	6,627	95,03	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 0,4%		
$(D_{90} - D_{10})$:	832,2	2,728	V COARSE SAND: 8,9%	CLAY: 0,4%		
(D_{75} / D_{25}) :	2,577	4,087				
$(D_{75} - D_{25})$:	450,4	1,366				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	550,5	370,1	1,308	444,5	1,170	Medium Sand
SORTING (σ):	360,3	3,087	1,317	2,152	1,105	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,097	-2,779	2,064	-0,121	0,121	Fine Skewed
KURTOSIS (K):	4,175	13,41	9,636	1,204	1,204	Leptokurtic

SIEVING ERROR: 0,1%

SAMPLE STATISTICSSAMPLE IDENTITY: **lente intra P2U2**

ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Poorly Sorted

TEXTURAL GROUP: Sandy Gravel

SEDIMENT NAME: Sandy Medium Gravel

	μm ϕ		GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
	μm	ϕ	GRAVEL: 75,9%	COARSE SAND: 6,9%	SAND: 23,4%	MEDIUM SAND: 4,3%
MODE 1:	3000,0	-1,500	MUD: 0,7%	FINE SAND: 1,7%		
MODE 2:				V FINE SAND: 0,8%		
MODE 3:			V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 0,1%		
D_{10} :	646,1	-4,683	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 0,1%		
MEDIAN or D_{50} :	5136,5	-2,361	MEDIUM GRAVEL: 40,5%	MEDIUM SILT: 0,1%		
D_{90} :	25683,7	0,630	FINE GRAVEL: 14,9%	FINE SILT: 0,1%		
(D_{90} / D_{10}) :	39,75	-0,135	V FINE GRAVEL: 20,6%	V FINE SILT: 0,1%		
$(D_{90} - D_{10})$:	25037,6	5,313	V COARSE SAND: 9,7%	CLAY: 0,1%		
(D_{75} / D_{25}) :	6,531	0,279				
$(D_{75} - D_{25})$:	11417,5	2,707				

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic	Geometric	Logarithmic	Geometric	Logarithmic	Description
	μm	μm	ϕ	μm	ϕ	
MEAN (\bar{x}):	4196,0	594,0	-1,234	3770,6	-1,915	Very Fine Gravel
SORTING (σ):	4414,2	29,41	1,748	2,220	1,150	Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	0,864	-1,157	0,817	-1,247	1,247	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	2,263	2,712	5,026	0,389	0,389	Very Platykurtic

d)

SIEVING ERROR: 0,7%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **P1U4** ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Very Poorly Sorted TEXTURAL GROUP: Muddy Sand

SEDIMENT NAME: Very Coarse Silty Medium Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	375,0	1,500	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 21,9%		
MODE 2:			SAND: 82,5%	MEDIUM SAND: 23,0%		
MODE 3:			MUD: 17,5%	FINE SAND: 20,0%		
D_{10} :	10,61	0,433		V FINE SAND: 17,1%		
MEDIAN or D_{50} :	213,3	2,229	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 2,9%		
D_{90} :	740,9	6,558	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 2,9%		
(D_{90} / D_{10}) :	69,80	15,16	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 2,9%		
$(D_{90} - D_{10})$:	730,3	6,125	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 2,9%		
(D_{75} / D_{25}) :	5,441	3,196	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 2,9%		
$(D_{75} - D_{25})$:	377,4	2,444	V COARSE SAND: 0,5%	CLAY: 2,8%		

	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic μm	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	316,2	145,6	2,772	178,9	2,483	Fine Sand
SORTING (σ):	272,6	4,565	2,182	4,508	2,172	Very Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	0,943	-0,961	0,952	-0,349	0,349	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	3,320	2,768	2,730	1,351	1,351	Leptokurtic

SIEVING ERROR: 0,2%

SAMPLE STATISTICS

SAMPLE IDENTITY: **P2U3** ANALYST & DATE: ,

SAMPLE TYPE: Unimodal, Very Poorly Sorted TEXTURAL GROUP: Muddy Sand

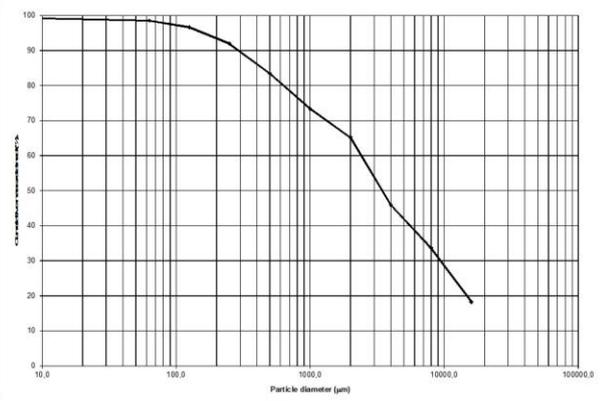
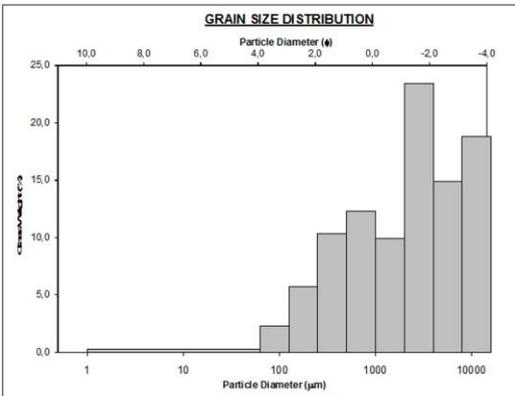
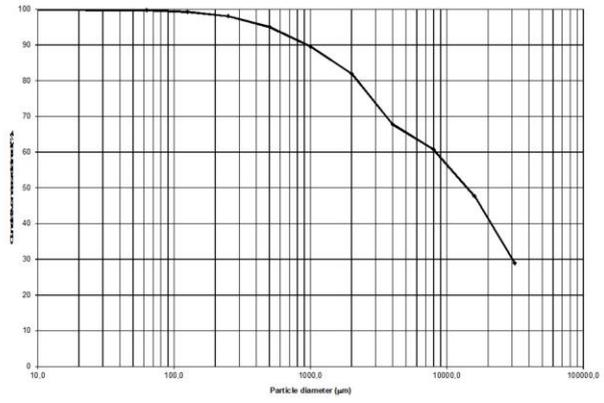
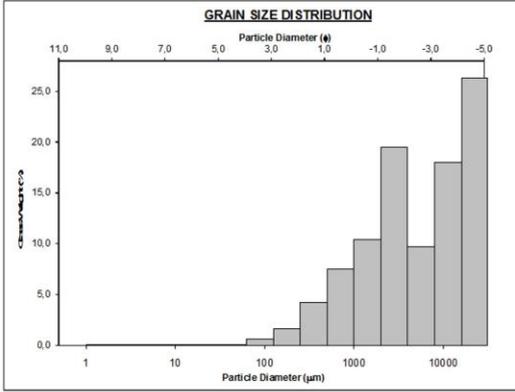
SEDIMENT NAME: Coarse Silty Fine Sand

	μm	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	187,5	2,500	GRAVEL: 0,0%	COARSE SAND: 12,9%		
MODE 2:			SAND: 79,9%	MEDIUM SAND: 23,1%		
MODE 3:			MUD: 20,1%	FINE SAND: 24,7%		
D_{10} :	7,841	0,758		V FINE SAND: 19,0%		
MEDIAN or D_{50} :	169,8	2,558	V COARSE GRAVEL: 0,0%	V COARSE SILT: 3,4%		
D_{90} :	591,4	6,995	COARSE GRAVEL: 0,0%	COARSE SILT: 3,4%		
(D_{90} / D_{10}) :	75,42	9,230	MEDIUM GRAVEL: 0,0%	MEDIUM SILT: 3,4%		
$(D_{90} - D_{10})$:	583,5	6,237	FINE GRAVEL: 0,0%	FINE SILT: 3,4%		
(D_{75} / D_{25}) :	4,660	2,467	V FINE GRAVEL: 0,0%	V FINE SILT: 3,4%		
$(D_{75} - D_{25})$:	275,0	2,220	V COARSE SAND: 0,2%	CLAY: 3,3%		

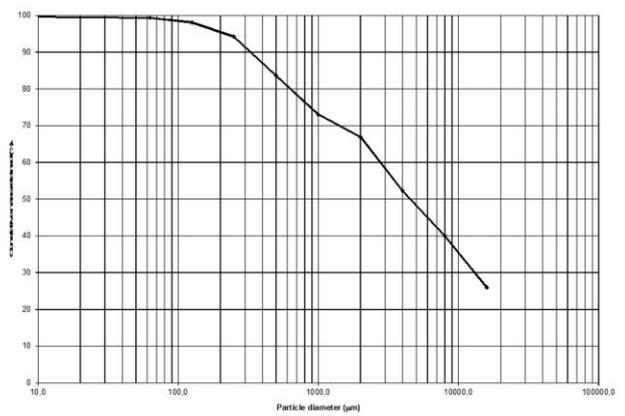
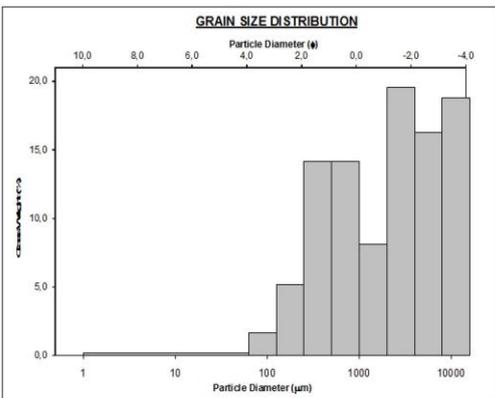
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic μm	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Geometric μm	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	256,0	116,3	3,094	128,1	2,965	Fine Sand
SORTING (σ):	230,8	4,472	2,152	4,759	2,251	Very Poorly Sorted
SKEWNESS (Sk):	1,268	-0,859	0,848	-0,379	0,379	Very Fine Skewed
KURTOSIS (K):	4,194	2,531	2,489	1,497	1,497	Leptokurtic

Figura 24 – Parámetros estadísticos obtenidos con software GRADISTAT (Blott and Pye, 2001) de las nueve muestras analizadas, agrupadas por litofacies. a) Unidad 1. b) Unidad 2. c) Unidad 3. d) Unidad 4.

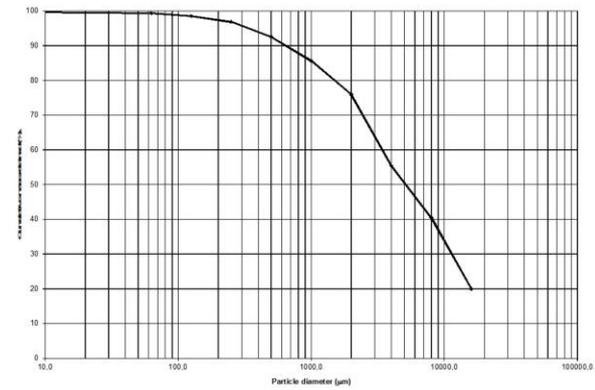
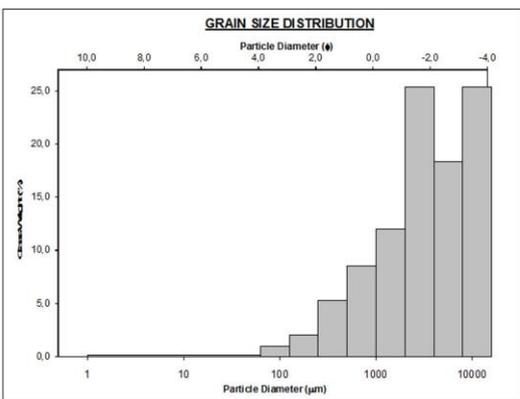
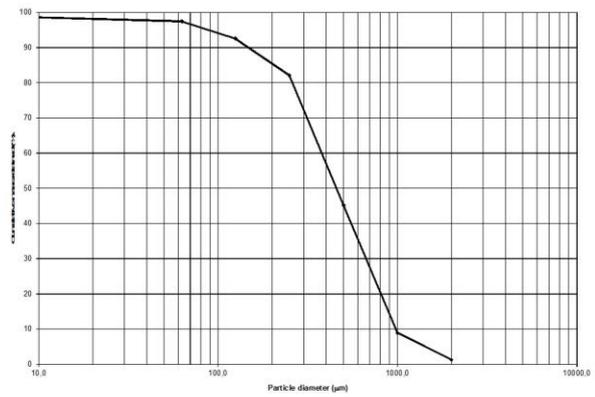
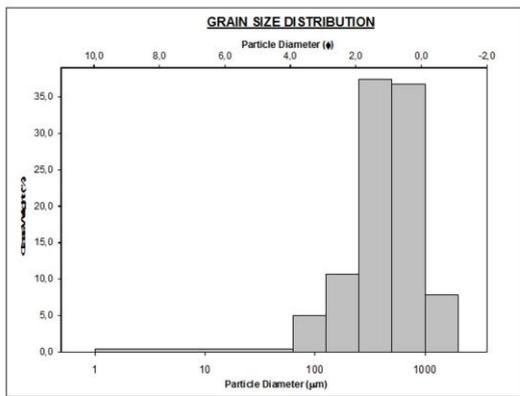
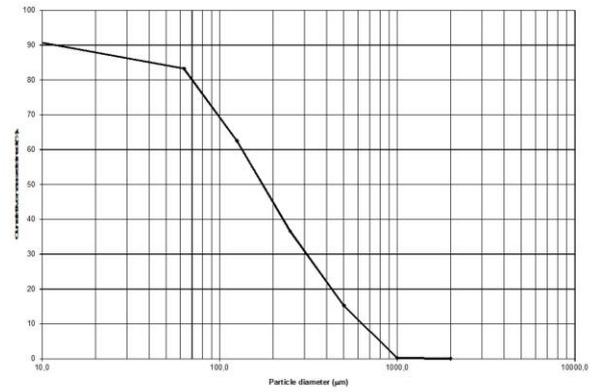
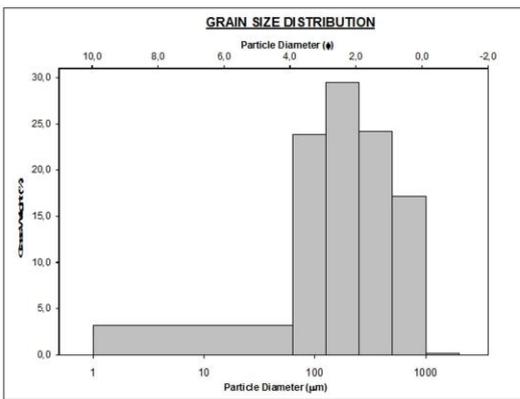
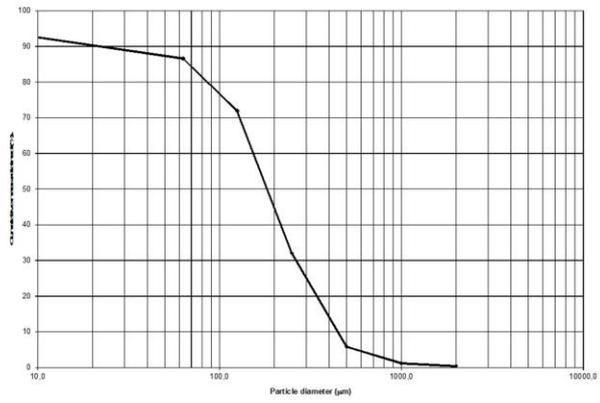
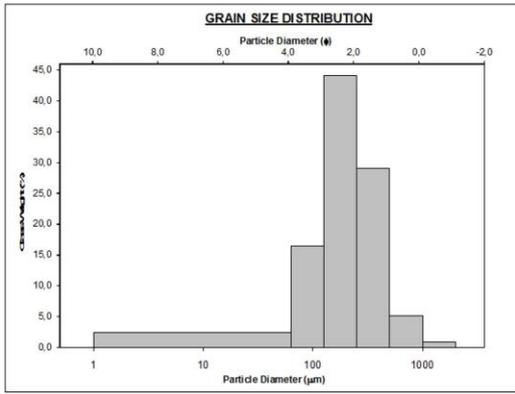
a)



b)



c)



d)

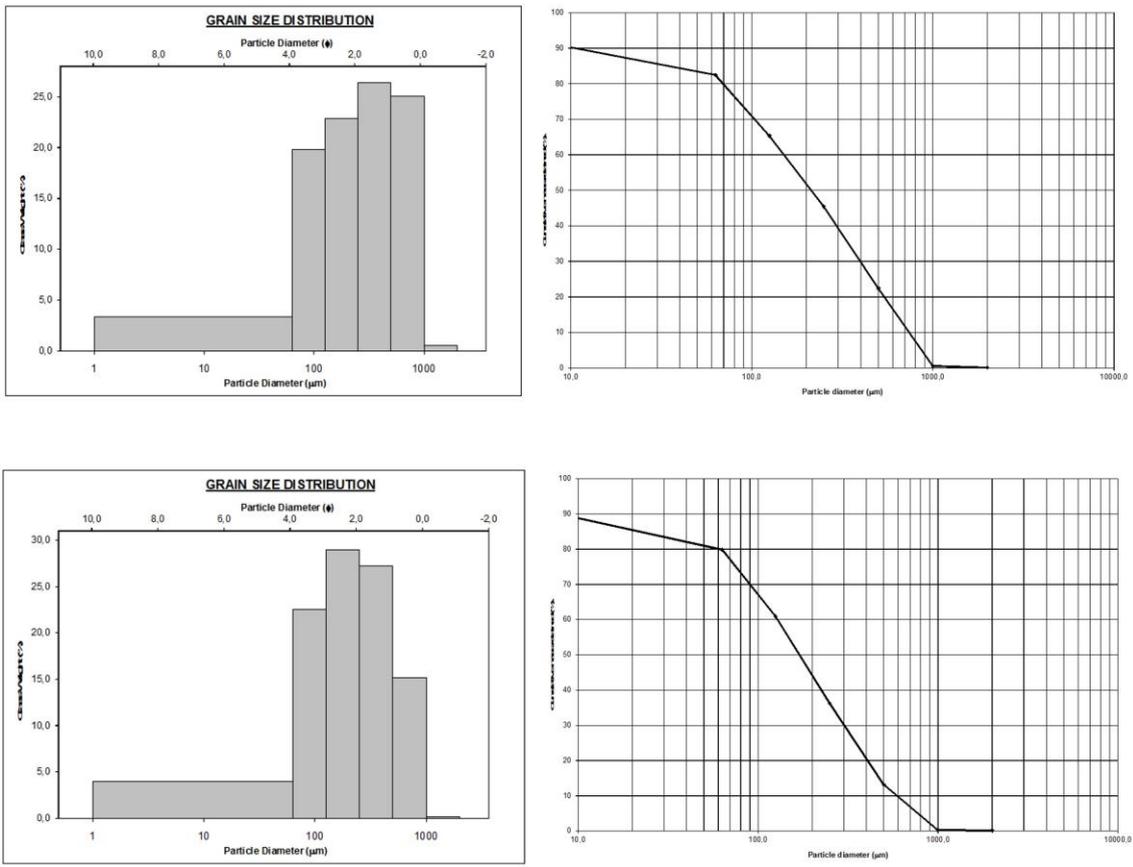


Figura 25 – Para las nueve muestras analizadas (obtenido con software GRADISTAT, Blott and Pye, 2001): a la izquierda, histograma de distribución del tamaño de grano (Y axis: class weight en %), a la derecha curva acumulativa en micrones (Y axis: cumulative mass retained en %). a) Unidad 1 (de arriba hacia abajo: P1U1, P2U1). b) Unidad 2 (P1U2). c) Unidad 3 (de arriba hacia abajo: P1U3, P2U2, P1U3 nivel, lente intra P2U2). d) Unidad 4 (de arriba hacia abajo: P1U4, P2U3).

En la Tabla 3 aparece un resumen de los principales datos obtenidos gracias al estudio de las muestras, al tamizado y al análisis de datos (en el Apéndice 2 aparecen los resultados concretos del tamizado y los porcentajes de cada fracción granulométrica).

Tabla 3 - Resumen de los resultados.

Muestra	Unidad a la que pertenece (ver sección 5.1)	Tipo de sedimento	Selección
P1U1	gravas gruesas arenosas gris oliva (scG)	grava (gruesa)	moderadamente seleccionada
P1U2	gravas finas a medias arenosas grises (sG)	grava (media) arenosa (media)	muy pobremente seleccionada

P1U3	arenas fangosas marrón-rojizas (mS)	arena fangosa	pobrementemente seleccionado
P1U3 nivel	lente encontrado en la unidad mS en el afloramiento 1	arena	pobrementemente seleccionada
P1U4	arenas fangosas marrón-rojizas con carbonato (mSc)	arena fangosa	pobrementemente seleccionado
P2U1	gravas gruesas arenosas gris oliva (scG)	grava (gruesa) arenosa	muy pobrementemente seleccionada
lente intra P2U2	uno de los lentes de grava arenosa que la unidad mS presenta interestratificados en el afloramiento 2	grava (gruesa) arenosa	pobrementemente seleccionada
P2U2	arenas fangosas marrón-rojizas (mS)	arena fangosa	pobrementemente seleccionado
P2U3	arenas fangosas marrón-rojizas con carbonato (mSc)	arena fangosa	muy pobrementemente seleccionado

6.3 Asociaciones de facies

En base a las unidades descritas en campo, a los análisis granulométricos de las muestras y teniendo en cuenta las asociaciones de facies previamente definidas por Goso y Ubilla (2004), se definen y describen las siguientes asociaciones de facies para la Formación Sopas en los afloramientos del Paso del Buey Negro:

Asociación de Facies A

Esta Asociación de Facies incluye a scG (definida como Unidad 1 en la Sección 5.1) y a sG (Unidad 2, definida en la Sección 5.1). El espesor aflorante es de aproximadamente 1,3 metros.

Es una secuencia granodecreciente que, en la base, comprende gravas polimícticas (con clastos de basaltos vacuolares y masivos, areniscas, ópalos y calcedonias) de tamaños de grano entre guija y bloque (30 centímetros de diámetro en el clasto mayor). Los clastos son subredondeados a subangulosos. Tiende a ser matriz sostén, aunque es posible que en algunas zonas presente textura clasto sostén. La matriz es principalmente cuarzosa. Se encuentran restos fragmentarios de vertebrados. Puede presentar estratificación cruzada.

En el afloramiento 1, en el tope de la secuencia se registran gravas de tamaño de grano sábulo/gránulo a guija, con un esqueleto litológicamente compuesto por clastos de cuarzo, areniscas, ópalos y ocasionalmente calcedonias. La textura es variable; de matriz a clasto sostén. Puede presentar estratificación cruzada, que a veces aparece

claramente y a veces no tan clara. En el afloramiento 1 la estratificación registra una paleocorriente de rumbo N210. Se registran, interestratificados, lentes de arenas centimétricas.

En el tope esta asociación muestra contactos netos con la asociación de facies B, con la cual a veces aparece interdigitada. El contacto basal no aflora en los puntos de estudio.

Asociación de Facies B

Incluye a mS y a mSc (Unidades 3 y 4, respectivamente, definidas en la Sección 5.1). Corresponde a arenas fangosas de colores pardos a rojizos, geometría lobular y espesor de entre 3,4 y 4,6 metros. En la base aparecen pequeños lentes de grava de espesor y largo centimétrico. También interestratificados cerca de la base de esta secuencia, se registran lentes de hasta 1,5 metros de largo y 40 centímetros de ancho compuestos por gravas estratificadas. Interestratificados pueden presentarse lentes de arenas con estratificación irregular. Todas estas estructuras pueden denotar intermitencias en flujos menos viscosos. Se encuentran niveles de arcillas verdes con grietas de desecación y pedotúbulos de óxido de hierro. Aparece bioturbada en algunas zonas. En el tope de la secuencia aparecen numerosas concreciones y costras carbonáticas. Es una facies muy fosilífera en la que se encuentran restos de vertebrados muy bien preservados (incluyendo el que es objeto de estudio en el presente trabajo). En la base tiene contacto neto o bien interdigitado con la asociación de facies A.

6.4 Comparación del material craneano

En la Tabla 4 se incluyen todas las medidas del cráneo fósil de carpincho. Es de destacar el largo total de 262,26 milímetros y que el M3 posee 12 lofos, ya que tanto el tamaño como el número de lofos del M3 son características diagnósticas para diferenciar género y especie en carpinchos (Gomes et al., 2019).

Tabla 4 - Número de lofos en M3 y medidas usadas en este trabajo de los especímenes de *Nechoerus* tomadas de Ubilla (1996) y Gomes et al. (2019-Supplementary Data) comparadas con las mismas medidas en el cráneo fósil de carpincho de identificación 2934 en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias. Todas las medidas están en milímetros. A significa ancho y L significa largo.

	Fósil (2934 FC)	<i>Nechoerus aesopi</i> (Ubilla, 1996)	<i>Nechoerus aesopi</i> (Ubilla, 1996)	<i>Nechoerus sulcidens</i> (Gomes et al. 2019)	<i>Nechoerus sp.</i> (Gomes et al. 2019)	<i>Nechoerus tarijensis</i> (Gomes et al. 2019)
L total	262,26	335	318	-	-	-
A bicigomático	149,74	182,3	150	-	-	-
A interorbital mínimo	77,66	95	98,2	-	-	-
L palatal	121	192	185	-	-	-
A nasales	96,93	151,4	130	-	-	-
L nasales	55,8	75,7	65	-	-	-
L M1	11,69	14,7	14,5	-	-	-
A M1	11,18	16,7	15	-	-	-
L M2	11,7	14,5	13,7	17,19	13,6	-
A M2	11,85	16	14,8	16,49	12,7	-
L M3	42,27	60	52,4	61,95	48	55
A M3	14,8	22	20	21,78	18	19
lofos M3	12 lofos	16 lofos	16 lofos	-	-	-

También cabe destacar que los dos lofos el M2 del material fósil son individuales; no están unidos labialmente. Esto es importante a la hora de diferenciar entre especies del género *Hydrochoerus*.

Para los análisis bivariantes se utilizaron variables en las que hubiera datos de al menos dos ejemplares de *Neochoerus spp.* para que la comparación fuera más amplia.

Se construyeron ocho gráficas (ver Figuras 26-33). Las gráficas de las Figuras 26 a 31 consideran variables donde hay datos disponibles de *Neochoerus spp.* reportados por Ubilla (1996). Las gráficas de las Figuras 32 y 33 consideran variables donde hay datos disponibles de *Neochoerus spp.* reportados por Ubilla (1996) y además por Gomes et al. (2019).

En todas las gráficas el cráneo fósil identificado con el número 2934 de la Colección de la Facultad de Ciencias cae dentro o cercano al grupo de adultos *Hydrochoerus hydrochaeris*. En las gráficas de las Figuras 26, 27, 30 y 31 el fósil cae dentro de los ejemplares de mayor tamaño de los adultos de *Hydrochoerus hydrochaeris*. En las gráficas de las Figuras 28, 29, 32 y 33 el fósil cae dentro de los ejemplares de tamaño medio de los adultos de *Hydrochoerus hydrochaeris*.

El cráneo tiene osificadas las suturas exoccipital-supraoccipital y la sutura basiesfenoides-basioccipital. Estas dos son las únicas suturas que se pueden apreciar con claridad.

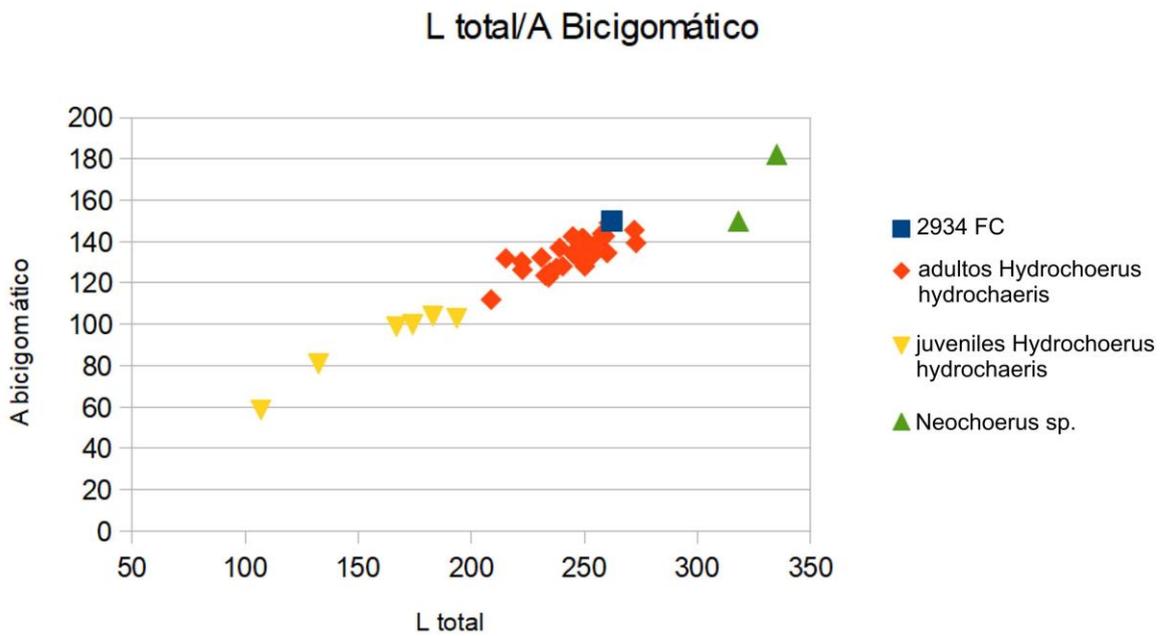


Figura 26 - Largo total vs ancho bicigomático. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

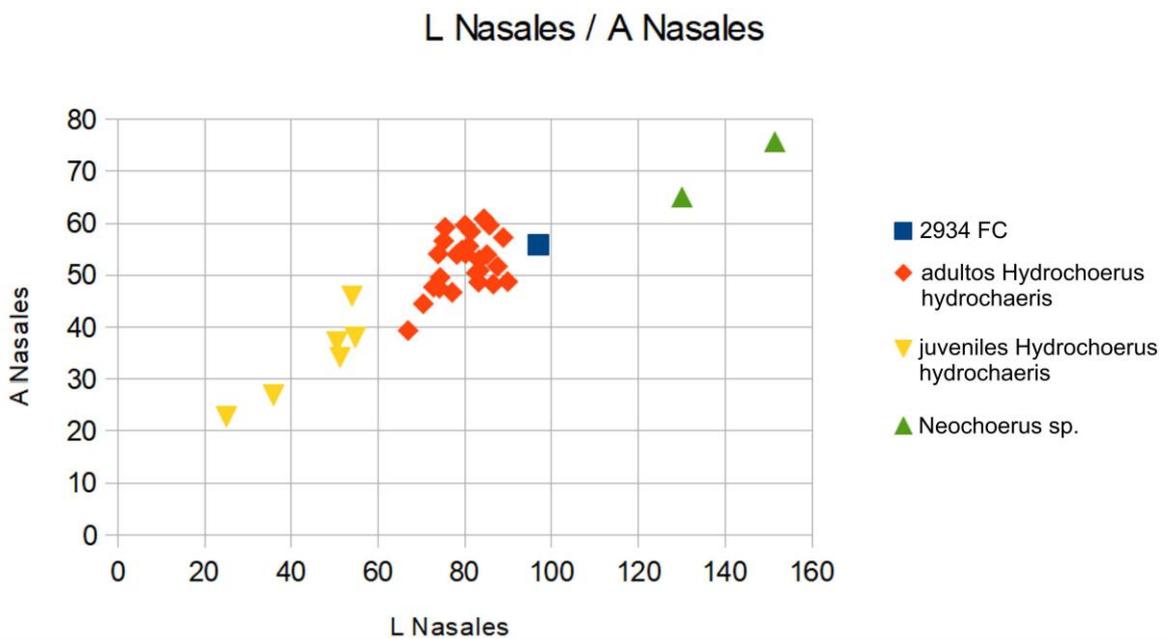


Figura 27 - Largo de los nasales vs ancho de los nasales. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

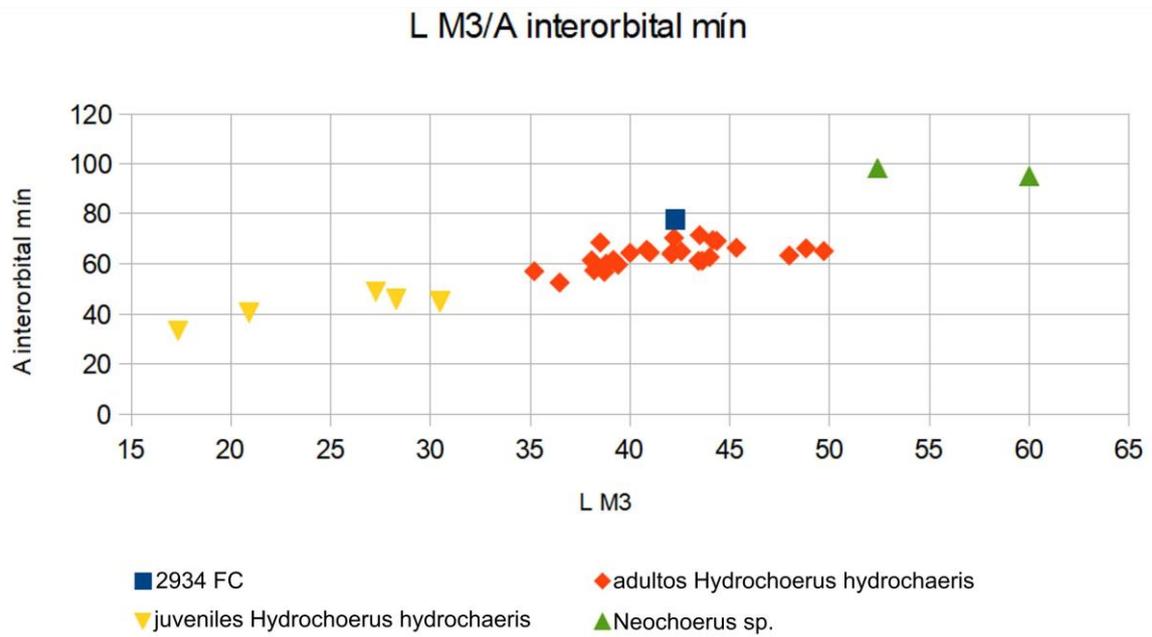


Figura 28 - Largo del M3 vs ancho interorbital mínimo. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

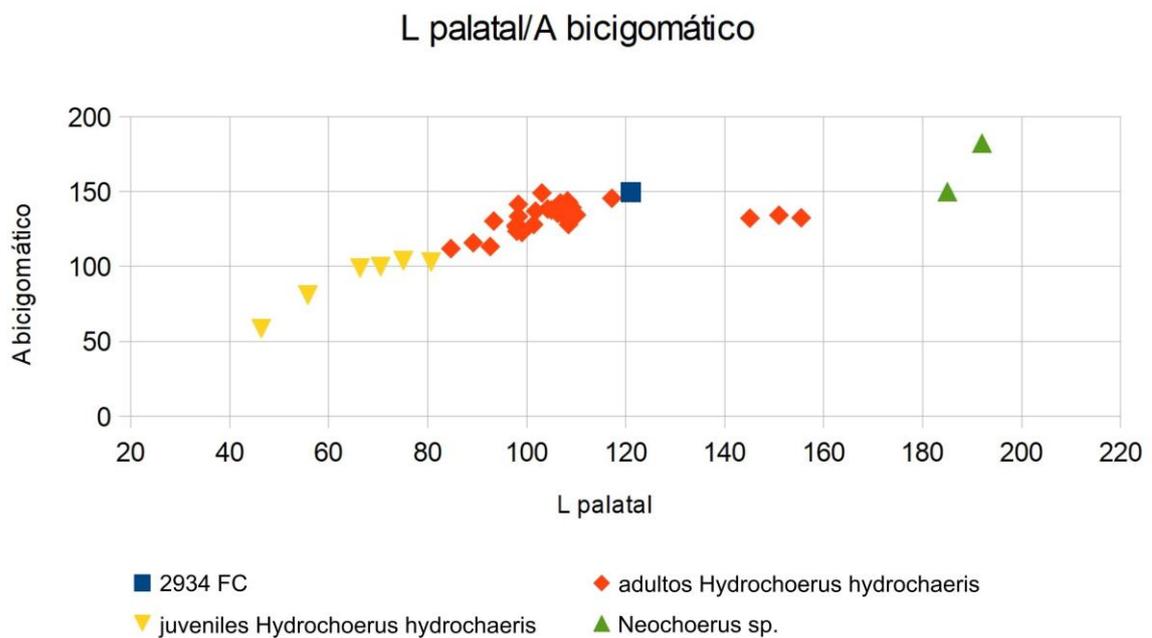


Figura 29 - Largo palatal vs ancho bicigomático. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

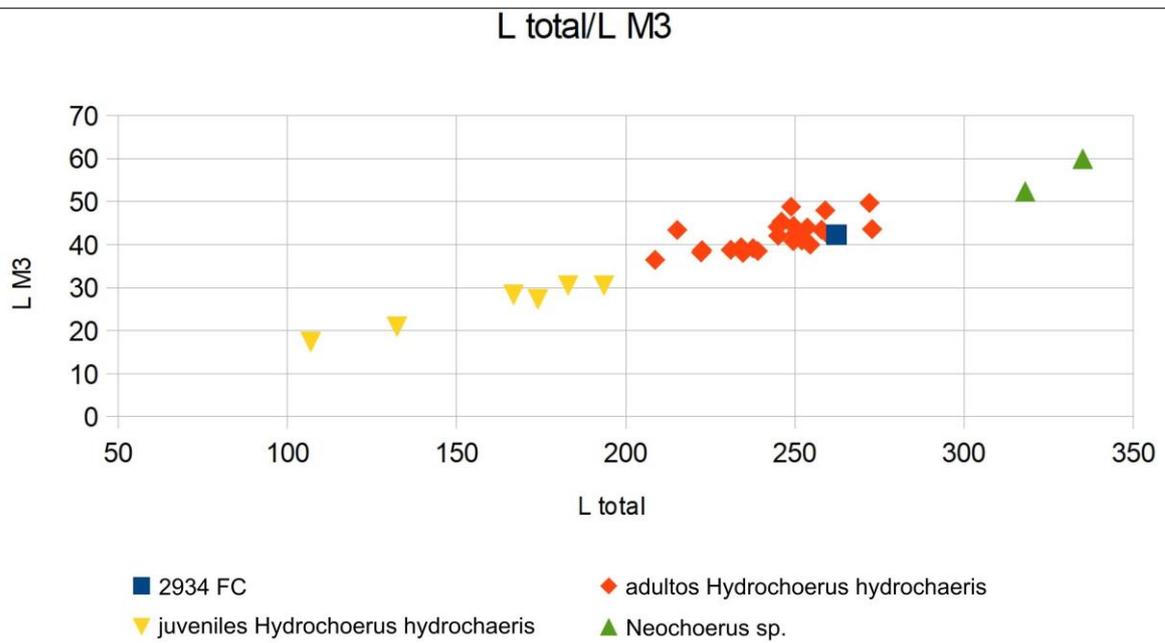


Figura 30 - Largo total vs largo del M3. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

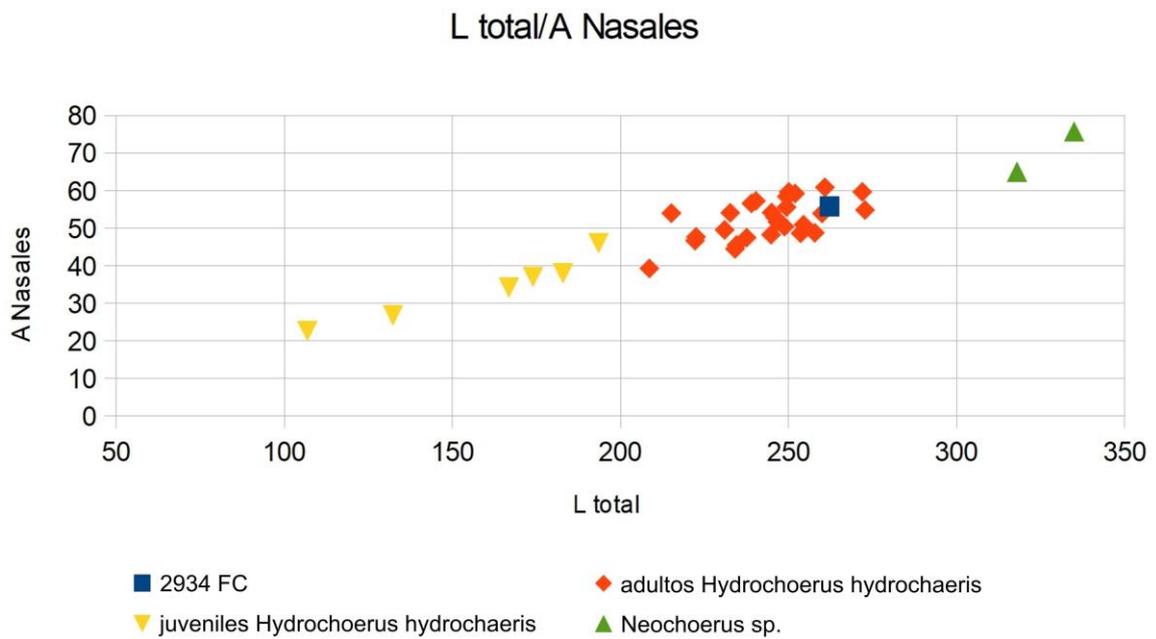


Figura 31 - Largo total vs ancho de los nasales. Incluye datos de adultos y juveniles de *Hydrochoerus hydrochaeris* y datos de *Nechoerus sp.*

7. Discusión

7.1 Interpretación ambiental de las asociaciones de facies

Asociación de Facies A

Se interpreta que esta asociación se formó bajo condiciones de alto régimen en un ambiente de alta energía de tipo fluvial y aluvial, probablemente a partir de flujos unidireccionales en un contexto de pluviosidad importante. En función de la composición mineralógica del esqueleto, se puede inferir que los clastos fueron aportados por el intemperismo y la erosión de basaltos de la Formación Arapey y de los niveles eólicos *intertrapp* asociados a esta. Vistos el desgaste de las partículas y la composición de la matriz, pueden inferirse distancias y tiempos de transporte variables. En la base, la abundancia de clastos de feldespatos y fragmentos líticos, el hecho de que la gran mayoría de los clastos son angulosos a subangulosos y presentan una baja esfericidad y la muy pobre selección indican un corto tiempo de transporte y una distancia no muy larga. Hacia el tope pueden aparecer gravas más finas, probablemente en un ambiente fluvial con un poco menos de energía, donde abundan los fragmentos líticos y cuyos clastos del esqueleto son mayoritariamente redondeados pero los de la matriz son mayoritariamente angulosos. Posiblemente indique un tiempo y distancia de transporte más largos hacia el tope, además de una disminución en la energía del medio de transporte. Se registran también lentes de arena que probablemente se formaron en momentos donde la energía era aún menor.

En resumen: esta asociación de facies es de dominio fluvial con flujos unidireccionales, canalizados y de relativa alta energía.

Asociación de Facies B

Se interpreta a esta asociación como generada por procesos gravitacionales como *slumps* o flujos de barro con episodios de flujos acuosos, a los que se sobreimpusieron procesos de exposición subaérea con la consecuente formación de paleosuelos (horizontes enterrados) y el asentamiento de raíces (bioturbación, concreciones y costras de carbonatos, grietas de desecación rellenas de arcillas verdes, pedotúbulos rellenos de óxido de hierro). Las fracciones arenosas presentan muchos feldespatos (en torno a 30%) y fragmentos líticos (en torno a 20%) y la mayoría de los

clastos sufrieron poco desgaste (son angulosos a subangulosos y tienen baja esfericidad), lo que indicaría un corto tiempo de transporte y una corta distancia recorrida.

El aumento de carbonatos hacia el tope de la secuencia puede haberse generado por procesos relacionados a la formación de paleosuelos y al asentamiento de raíces. También es posible que se formaran por precipitación por evaporación en condiciones climáticas más secas y/o cálidas.

También es posible que la fuente del material fuera el intemperismo de los basaltos de la Formación Arapey y sus niveles asociados.

En definitiva: esta asociación de facies comprende flujos de gravedad densos con intermitencias de flujos acuosos (de mayor y menor energía) localizados.

7.2 Material fósil

La cantidad de lofos del M3 es un carácter diagnóstico, al menos a nivel genérico (Gomes et al., 2019 y referencias incluidas). El material fósil estudiado en este trabajo posee 12 lofos en el M3, lo que se corresponde con lo esperable para *Hydrochoerus hydrochaeris*: entre 11 y 13 lofos según la muestra tomada para este trabajo y según lo apuntado por Gomes et al. (2019 y referencias incluidas). Según este carácter, se puede descartar a *Nechoerus sp.* ya que todas las especies de este género cuentan con al menos 13 lofos (Gomes et al., 2019). El cráneo fósil estudiado aquí presenta proporciones más pequeñas que las presentadas para *Nechoerus* en Ubilla (1996) y Gomes et al. (2019, Supplementary Data) en todas las variables con datos de *Nechoerus* tomadas en cuenta en este trabajo. La única posible excepción es el ancho bicigomático, que en el cráneo fósil estudiado en este trabajo mide 149,74 milímetros y en *Nechoerus aesopi* (Ubilla, 1996) mide 150 milímetros, por lo que son virtualmente iguales, aunque hay que tener en cuenta que el ancho bicigomático en el cráneo fósil se estimó asumiendo simetría, ya que se conserva solamente en uno de los lados. Todo esto se muestra en la Tabla 6. Proporciones más pequeñas que *Nechoerus* son un rasgo diagnóstico de *Hydrochoerus* según Gomes et al. (2019).

Dentro del género *Hydrochoerus* se puede descartar a la especie *H. gaylordi*, que se caracteriza porque los dos lofos de su M2 aparecen unidos labialmente (MacPhee et al., 2000). En el caso del fósil estudiado aquí esto no es así: los dos lofos del M2 aparecen claramente individualizados.

En todos los análisis bivariantes el material fósil cae dentro del grupo de los *Hydrochoerus hydrochaeris* adultos, como se puede ver en las Figuras 25 a 32. Concretamente, el fósil cae dentro de los individuos de tamaño medio a grande en el grupo de los adultos. Todas las gráficas sugieren una correlación lineal entre el tamaño y el estadio ontogenético en los caracteres considerados.

Utilizando los criterios para determinar edad craneana de Aldana-Domínguez et al. (2007), detallados en la sección 3.4.3, la sutura exoccipital-supraoccipital se osifica a partir de la edad craneana VI (entre dos y medio a cuatro años) y la basiesfenoides-basioccipital se osifica a partir de la edad craneana VII (de cuatro a cinco años en adelante). Entonces, el individuo fósil representa el estadio ontogenético de más de cuatro años, lo que corresponde a un adulto (Aldana-Domínguez et al., 2007; ver Secciones 3.4.2 y 3.4.3). Esto, a su vez, es concordante con los análisis bivariantes.

Con la información disponible, el cráneo fósil de identificación 2934 de la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias correspondería a un ejemplar adulto de *H. hydrochaeris*, constituyendo el registro fósil mejor preservado de la especie actual de carpincho en el país.

Desde el punto de vista paleoambiental, según lo ya citado para la especie *H. hydrochaeris* en la sección 3.4.2, la presencia de este fósil podría indicar las características ambientales explicadas a continuación:

- 1) Ambiente templado a cálido (Mones y Ojasti, 1986).

- 2) Presencia de cuerpos de agua permanentes que permitan la termorregulación y otras actividades, con profundidad suficiente para que un carpincho pueda sumergirse ante posibles peligros (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; Gonçalves y Oliveira, 2011; Dunnum, 2015; de Barros Ferraz et al., 2007). Otros fósiles encontrados en la Formación Sopas, como nutrias, tapires, moluscos de agua dulce, aves migratorias, entre otros, también son indicadores de ambientes fluviales y lacustrinos (Goso y Ubilla, 2004 y referencias en el mismo; Ubilla y Martínez, 2016).

3) Presencia de tierras secas, probablemente con pendientes bajas, donde reposar (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; de Barros Ferraz et al., 2007).

4) Posible presencia de vegetación acuática, ya que actualmente es una importante fuente de alimento para los carpinchos (Herrera y Macdonald, 1989; de Barros Ferraz et al., 2007). También presencia de pastizales y otras plantas en tierra (Mones y Ojasti, 1986).

Posiblemente el área alrededor del cuerpo de agua tuviera zonas abiertas así como áreas con monte ribereño cerrado. Los carpinchos suelen preferir los ambientes abiertos, pero además de haber sido registrados viviendo en ambientes cerrados usualmente se los encuentra en ambientes donde hay parches de vegetación de alto porte que pueda cubrirlos totalmente (Mones y Ojasti, 1986; Campos Krauer, 2009; de Barros Ferraz et al., 2007). Fósiles de caballos, apereás, ciervos, coendúes, entre otros, también han aparecido en la Formación Sopas, e indican la presencia de espacios abiertos o semi-abiertos a forestados y de vegetación arbustiva ribereña (Goso & Ubilla, 2004; Ubilla y Martínez, 2016; Morosi y Ubilla, 2017, 2019).

Previo al presente trabajo, para el Cuaternario de Uruguay, el registro de este taxón fue citado por Mones y Ojasti (1986), Mones (1991) y Ubilla (1996) en base a restos fragmentarios. Este taxón por sí mismo no proporciona datos cronológicos. Sin embargo, este trabajo muestra la presencia de *H. hydrochaeris* desde hace aproximadamente unos 50.000 años hasta el presente en este territorio, teniendo en cuenta las edades numéricas más antiguas obtenidas para la Formación Sopas (Ubilla y Martínez, 2016 y referencias en el mismo).

En la localidad estudiada en este trabajo también se han colectado otros materiales de carpincho que parecen pertenecer a diferentes estadios ontogenéticos, particularmente a juveniles. Estos materiales están mayormente compuestos por restos mandibulares y no fueron incluidos en este estudio. Se encuentran disponibles en la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias y en la colección particular M. Ghizzoni (Salto) y aún no han sido estudiados en profundidad, quedando para una etapa posterior. No obstante, estos registros indican la presencia de varios individuos con edades diferentes en el área de estudio, lo que podría implicar que era una zona habitada por manadas. Esto es lo esperable dadas las características gregarias que la especie tiene actualmente (e.g. Mones y Ojasti, 1986).

8. Conclusiones

8.1 Inferencias paleoambientales a partir de las facies

En base a perfilado de afloramientos, análisis granulométricos y análisis de facies de los sedimentos de la Formación Sopas en el Paso del Buey Negro, se identificaron dos asociaciones de facies que de base a tope se describen a continuación. La Asociación de Facies A consta de gravas arenosas polimícticas, gruesas en la base y finas a medias en el tope, donde a veces se registra estratificación cruzada. Presenta algunos restos fósiles fragmentarios. Se interpreta como formada en un ambiente tipo aluvial y fluvial en condiciones de alto régimen, posiblemente a partir de flujos unidireccionales en un contexto con intensas precipitaciones. La asociación de facies B corresponde a arenas fangosas con geometría lobulada donde se encuentran grietas de desecación rellenas de arcillas verdes, pedotúbulos rellenos de óxido de hierro, bioturbación y lentes de arenas y gravas. Es muy fosilífera y tiene concreciones y costras carbonáticas en el tope de la secuencia. Se la interpreta como *slumps* o flujos de barro con intermitencias de flujos que depositaron gravas y arenas, además de períodos sin sedimentación donde se formaron paleosuelos y se asentaron raíces. Hacia el tope, seguramente bajo condiciones climáticas calientes y/o secas propiciaron la precipitación de los carbonatos.

8.2 Interpretación taxonómica del material fósil

En base a la información proporcionada por los análisis bivariantes y por características diagnósticas tales como el número de lofos de M3 y el tamaño, el cráneo fósil de identificación 2934 de la Colección Paleontológica de la Facultad de Ciencias correspondería a un ejemplar adulto, de más de cuatro años, de tamaño medio a grande de la especie aún viviente *Hydrochoerus hydrochaeris*. Esto muestra la presencia de carpinchos actuales en el territorio uruguayo desde hace 25-50 mil años, teniendo en cuenta las edades obtenidas para la Formación Sopas. Además, este cráneo corresponde al material fósil de *H. hydrochaeris* mejor preservado del registro de Uruguay.

8.3 Interpretación ambiental inferida en base al material fósil

El material fósil correspondiente a *Hydrochoerus hydrochaeris* indicaría un ambiente con temperaturas templadas a cálidas, de tipo fluvial y/o lacustre con presencia de agua a lo largo de todo el año, con áreas abiertas y también de monte ribereño, con la posible presencia de vegetación acuática y de pasturas para la Formación Sopas en el Paso del Buey Negro, según los requerimientos ambientales actuales de *H. hydrochaeris*. Estas interpretaciones son consistentes con las geológicas, ya que las facies sedimentarias sugieren la acción de flujos unidireccionales acuosos, más o menos torrenciales y más o menos temporarios en contextos fluviales y aluviales.

8.3 Estudios a futuro

A futuro se puede estudiar en más detalle la cantidad de carbonato que hay a lo largo del perfil. También se puede realizar un estudio detallado los suelos. Sería muy deseable incluir otros análisis sedimentarios (como la vía húmeda para la separación de granulometrías). Otra línea de investigación relevante es el estudio de otros materiales fósiles encontrados en los mismos afloramientos, tanto los restos mandibulares de carpinchos como los restos de otros mamíferos o de vertebrados en general.

9. Referencias

Aldana-Domínguez, J.; Vieira-Muñoz, M.; Ángel-Escobar, D.C. (2007) *Estudios sobre la ecología del chigüiro (Hydrochoerus hydrochaeris): enfocados a su manejo y uso sostenible en Colombia*. Bogotá, Instituto Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, CO-BAC.

Andrews, P.; Lord, J. M.; Evans, E.M.N. (1979) Patterns of ecological diversity in fossil and modern mammalian faunas. *Biological Journal of the Linnean Society*, 11(2), p.177-205.

Antón, D. (1975) *Evolución geomorfológica del norte de Uruguay*. Montevideo, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de Agricultura y Pesca.

Arche, A. (1989) *Sedimentología*. Volumen 1. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Arteaga, M.C.; Jorgenson, J.P. (2007) Hábitos de desplazamiento y dieta del capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) en la Amazonia colombiana. *Mastozoología neotropical*, 14(1), p.11-17.

Ballesteros Correa, J.; Jorgenson, J.P. (2009) Aspectos poblacionales del cacó (*Hydrochoerus hydrochaeris isthmius*) y amenazas para su conservación en el Nor-Occidente de Colombia. *Mastozoología neotropical*, 16(1), p.27-28.

Blott, S.J.; Pye, K. (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, p.1237-1248.

Bode, F.F.; Fernández, J.A.; Cao, J.A.; Resoagli, J. M. (2013) Description of the axial skeleton of capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*). *Revista Veterinaria*, 24(1), p.44-46.

Bossi, J.; Navarro, R. (1991) *Geología del Uruguay*. Montevideo, Departamento de Publicaciones, Universidad de la República.

Campos Krauer, J.M. (2009). *Landscape ecology of the capybara (Hydrochoerus hydrochaeris) in the Chaco region of Paraguay*. Doctoral dissertation, Kansas State University.

Cohen, K.M.; Finney, S.C.; Gibbard, P.L.; Fan, J.-X. (2013; actualizada). The ICS International Chronostratigraphic Chart 2020-01. *Episodes*, 36, p.199-204.

de Barros Ferraz, K.M.P.; de Barros Ferraz, S.F.; Moreira, J.R.; Couto, H.T.Z.; Verdade, L.M. (2007). Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) distribution in agroecosystems: a cross-scale habitat analysis. *Journal of Biogeography*, 34(2), p.223-230.

Delgado, C.; Emmons, L. (2016) *Hydrochoerus isthmius*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T136277A22189896.

Dunnum, J. (2015) Family Caviidae. 690-726. En: Patton, J. L., ed.; Pardiñas, U. F. J., ed.; D'Elía, G., ed. *Mammals of South America, Volume 2, Rodents*. Chicago, The University of Chicago Press, p.690-726.

Folk, R.L.; Ward, W.C. (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: p.3-26.

Folk, R. L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Texas, Hemphill publishing company.

Fortelius, M.; Eronen, J.; Jernvall, J.; Liu, L.; Pushkina, D.; Rinne, J.; Tesakov, A.; Vislobokova, I.; Zhang, Z.Q.; Zhou, L. (2002). Fossil mammals resolve regional

patterns of Eurasian climate change over 20 million years. *Evolutionary Ecology Research*, 4(7), p.1005-1016.

Ghizzoni, M. (2014) Estimación de la masa corporal de un ejemplar cuaternario del carpincho extinto *Nechoerus* a través de medidas cráneo-dentales. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 17, p.83-90.

Goddard, E.N.; Trask, P.D.; De Ford, R.K.; Rove, O.N.; Singewald, J.T. Jr.; Overbeck, R.M. (1984). *Munsell Books of Color by The Rock-Color Chart Committee*. Colorado, Geological Society of America.

Gomes, A.C.; Lessa, G.; Cartelle, C.; Kerber, L. (2019) New fossil remains of Quaternary capybaras (Rodentia: Caviomorpha: Caviidae) from the intertropical region of Brazil: morphology and taxonomy. *Journal of South American Earth Sciences*, 91, p.36-46.

Gonçalves, A. S.; Oliveira, D. G. (2011) The influence of river depth and length of riparian vegetation on the presence of capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris* Mones & Ojasti, 1986). *Ciência e Natura*, 33(1), p.33-42.

Goso, C.; Ubilla, M. (2004). Los depósitos continentales cuaternarios en el norte de Uruguay: estratigrafía y paleontología. En: IV Congreso Uruguayo de Geología, Actas V. Electrónica 13: p.1-6.

Herrera, E.A. (2013) Capybara social behavior and use of space: patterns and processes. En: *Capybara*. Nueva York, Springer, p.195-207.

Herrera, E.A.; Macdonald, D.W. (1989) Resource utilization and territoriality in group-living capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). *The Journal of Animal Ecology*, 58, p.667-679.

Jones, W.; Rinderknecht, A.; Montenegro, F.; Vezzosi, R.; Ubilla, M. (2020) First report of large cathartids (Aves, Cathartidae) from the late Pleistocene of Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 197, p.102946.

Lord, R.D. (1994) A descriptive account of capybara behaviour. *Studies on neotropical fauna and environment*, 29(1), p.11-22.

MacPhee, R.D.; Singer, R.; Diamond, M. (2000). Late Cenozoic land mammals from Grenada, Lesser Antilles island-arc. *American Museum Novitates*, 2000 (3302), p.1-20.

Martínez, S.; Ubilla, M. (2004) El cuaternario en Uruguay. En: Veroslavsky, G., ed; Ubilla, M, ed.; Martínez, S. ed. *Cuencas sedimentarias de Uruguay, Cenozoico*. Montevideo, EUDECI, p.195-228.

Mones, A. (1991) Monografía de la familia Hydrochoeridae (Mammalia: Rodentia). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 134: p.1-235.

Mones, A.; Ojasti, J. (1986) *Hydrochoerus hydrochaeris*. *Mammalian Species*, 264, p.1-7

Moore, R. C. (1949) Meaning of facies. *Geological Society America Memorials*, 39, p.1-34.

Morosi, E.; Ubilla, M. (2017) Dietary and palaeoenvironmental inferences in *Neolicaphrium recens* Frenguelli, 1921 (Litopterna, Proterotheriidae) using carbon and oxygen isotopic stable isotopes (Late Pleistocene, Uruguay). *Historical Biology*, 31(2): p.196-202.

Morosi, E.; Ubilla, M. (2019) Feeding and environmental studies on late Pleistocene horses in mid-latitudes of South America (northern Uruguay). *Quaternary Science Reviews*, 225: p.106025.

Nichols, G. (2009) *Sedimentology and stratigraphy*. Nueva Jersey, John Wiley & Sons.

Ojasti, J. (1973) *Estudio biológico del chigüire o capibara*. Caracas, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, p.271.

Pérez, M.E.; Pol, D. (2012) Major radiations in the evolution of caviid rodents: reconciling fossils, ghost lineages, and relaxed molecular clocks. *PLoS One*, 7(10), p.e48380.

Reid, F. (2016) *Hydrochoerus hydrochaeris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T10300A22190005.

Selley, R.C. (1970) *Ancient Sedimentary Environments*. Londres, Chapman & Hall, p.237.

Suárez, R.; Santibáñez, R.; Parra, D.; Coppi, A.A.; Abrahão, L.M.; Sasahara, T.H.; Mpodozis, J. (2011) Shared and differential traits in the accessory olfactory bulb of caviomorph rodents with particular reference to the semiaquatic capybara. *Journal of anatomy*, 218(5), p.558-565.

Suguio, K. (1980) *Rochas sedimentares, propriedades, gênese, importância econômica*. São Paulo, Edgard Blücher, Editora da Universidade de São Paulo.

Ubilla, M. (1996) *Paleozoología del Cuaternario continental de la cuenca norte del Uruguay: biogeografía, cronología y aspectos climático ambientales*. Unpublished Tesis de Doctorado, Udelar-Pedeciba, p. 232, 3 apéndices.

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

Ubilla, M.; Martínez, S.; Veroslavsky, G. (2009) Capítulo I - El Cenozoico. En: Veroslavsky, G., ed; Ubilla, M., ed.; Martínez, S., ed. *Cuencas sedimentarias de Uruguay: Geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico*. Segunda Edición. Montevideo, DIRAC, p.11-36.

Tucker, M.E. (2003) *Sedimentary rocks in the field*. Nueva Jersey, John Wiley & Sons.

Van Kolfshoten, T. (1995) On the application of fossil mammals to the reconstruction of the palaeoenvironment of northwestern Europe. *Acta zoologica cracoviensia*, 38(1), p.73-84.

Vera Torres, J.A. (1994) *Estratigrafía: principios y métodos*. Madrid, Editorial Rueda.

Vucetich, M.G.; Deschamps, C.M.; Pérez, M.E. (2013) Paleontology, evolution and systematics of capybara. En: *Capybara*. Nueva York, Springer, p.39-59.

Zervas, G.J.; Nichols, R.; Hall, H.R.; Smyth, C.L.; Murtagh, F. (2009) SedLog: a shareware program for drawing graphic logs and log data manipulation. *D. Computers & Geosciences*, 35, p.2151-2159.

10. Apéndice 1: Medidas de carpinchos

Se presentan todas las medidas tomadas con calibre digital al material fósil estudiado en este trabajo, a cráneos y mandíbulas de ejemplares de *Hydrochoerus hydrochaeris* adultos y juveniles de las Colecciones Paleontológicas del Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) y de la Facultad de Ciencias (FC). Además se agregan las medidas de *Nechoerus sp.* obtenidas de Ubilla (1996) y las medidas de *Hydrochoerus sp.* y *Nechoerus sp.* obtenidas de Gomes et al. (2019). Todas las medidas tomadas desde bibliografía aparecen debidamente indicadas.

Cada número en las Figuras identifica una medida de cráneo, dientes o mandíbula: **1.** Longitud craneana máxima - desde el punto más anterior del rostro hasta el punto más posterior del cráneo. **2.** Longitud cóndilo basal - desde el punto más anterior del cráneo hasta el punto más posterior del cóndilo occipital. **3.** Longitud basal - desde el borde anterior del premaxilar hasta el punto más anterior del borde del foramen magnum. **4.** Longitud basilar - desde el borde posterior del alvéolo de los incisivos superiores hasta el punto más anterior del foramen magnum. **5.** Ancho del rostro - ancho del rostro tomado a nivel del extremo anterior de las apófisis anteriores del maxilar. **6.** Ancho bicondilar máximo - longitud mayor entre los dos bordes más exteriores de los cóndilos. **7.** Ancho bicigomático - mayor distancia entre los márgenes exteriores del arco cigomático. **8.** Ancho máximo de las apófisis anteorbitarias - mayor longitud entre las apófisis anteorbitarias. **9.** Ancho interorbital mínimo - distancia mínima dorsal entre las órbitas. **10.** Ancho bimaistoideo - mayor ancho del cráneo incluyendo las apófisis mastoides. **11.** Constricción postorbital - menor distancia posterior al proceso postorbital a través del cráneo. **12.** Longitud palatal - desde el borde anterior del premaxilar hasta el punto más anterior del borde posterior del palatal. **13.** Longitud palatilar - desde el borde posterior del alvéolo del incisivo hasta el punto más anterior del borde posterior del palatal. **14.** Longitud postpalatal - desde el punto más anterior del borde posterior del palatal al punto más anterior del foramen magnum. **15.** Ancho de la escotadura postpalatina - tomado sobre el palatino, medido por el interior. **16.** Longitud nasal - desde el punto más anterior hasta el más posterior de los huesos nasales tomado en la línea media del cráneo. **17.** Ancho nasal - mayor ancho de los nasales. **18.** Longitud del diastema - desde el margen posterior del alvéolo del incisivo hasta el margen anterior del alvéolo del premolar. **19.** Longitud alveolar de la hilera de dientes. **20.** Longitud de la hilera de dientes. **21.** Longitud máxima alveolar del

premolar. **22.** Ancho máximo alveolar de premolar. **23.** Longitud máxima del premolar. **24.** Ancho máximo del premolar (P1). **25.** Longitud máxima alveolar del molar 1 (M1). **26.** Ancho máximo alveolar de molar 1 (M1). **27.** Longitud máxima del molar 1 (M1). **28.** Ancho máximo del molar 1 (M1). **29.** Longitud máxima alveolar del molar 2 (M2). **30.** Ancho máximo alveolar de molar 2 (M2). **31.** Longitud máxima del molar 2 (M2). **32.** Ancho máximo del molar 2 (M2). **33.** Longitud máxima alveolar del molar 3 (M3). **34.** Ancho máximo alveolar de molar 3 (M3). **35.** Longitud máxima del molar 3 (M3). **36.** Ancho máximo del molar 3 (M3). **37.** Cantidad de lofos/prismas de M3. **38.** Longitud mandibular - longitud máxima de la mandíbula, sin tomar en cuenta los incisivos. **39.** Alto de la rama ascendente - alto máximo de la rama ascendente. **40.** Longitud del diastema mandibular - desde el margen posterior del alvéolo de los incisivos hasta el margen anterior del alvéolo del premolar. **41.** Longitud alveolar de la hilera de dientes. **42.** Longitud de la hilera de dientes. **43.** Longitud máxima alveolar del premolar (p1). **44.** Ancho máximo alveolar de premolar (p1). **45.** Longitud máxima del premolar (p1). **46.** Ancho máximo del premolar (p1). **47.** Longitud máxima alveolar del molar 1 (m1). **48.** Ancho máximo alveolar de molar 1 (m1). **49.** Longitud máxima del molar 1 (m1). **50.** Ancho máximo del molar 1 (m1). **51.** Longitud máxima alveolar del molar 2 (m2). **52.** Ancho máximo alveolar de molar 2 (m2). **53.** Longitud máxima del molar 2 (m2). **54.** Ancho máximo del molar 2 (m2). **55.** Longitud máxima alveolar del molar 3 (m3). **56.** Ancho máximo alveolar de molar 3 (m3). **57.** Longitud máxima del molar 3 (m3). **58.** Ancho máximo del molar 3 (m3). **59.** Cantidad de lofos/prismas de m3.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2934 FC		262,26	-	-	-	-	61,76	-	149,74	110,76	77,66	72,3	48,97
1311 FC	A	246,7	224,07	213,04	204,94	59,66	55,18	36,19	132,53	93,52	64,76	59,58	73,46
142 FC	A	245	227,18	216,94	207,61	64,69	55,3	39,04	134,3	95,59	63,79	65,11	68,5
1674 FC	A	231	220,68	207,91	198,74	65,47	57,12	39,89	132,26	86,81	59,99	62	66,55
2763 MNHN	A	260	243,21	174,27	216,85	66,43	55,71	42,44	134,51	95,24	64,47	66,08	61,44
2762 MNHN	A	222,5	211,37	156,98	190,56	63,2	54,04	37,99	126,36	80,36	56,67	59,29	54,94
6179 MNHN	A	239	220,23	174,96	206,43	61,07	61,32	39,7	137,02	93,56	68,48	66,14	60,69
2667 MNHN	A	252	233,93	167,5	208,56	65,63	58,75	42,08	137,79	95,76	64,52	66,24	65,87
2853 MNHN	A	246	170,96	170,96	215	64,28	60,88	37,84	135,52	95,45	66,34	64,6	53,97
2588 MNHN	A	237,57	225,99	161,11	199,5	64,89	50,04	42,71	127,41	90,8	61,53	64,77	60,55
3265 MNHN	A	253,63	228,45	165,58	208,45	67,06	55,65	39,19	133,53	92,02	62,6	68,15	63,8
2855 MNHN	A	272,78	253,52	175,21	216,12	64,68	58,67	43,18	139,38	92,74	61,12	67,04	57,92
4354 MNHN	A	234,09	214,76	158,2	190,8	63,36	53,25	39,88	122,74	83,89	59,58	61,61	58,67
2605 MNHN	A	271,97	240,26	182,2	219,34	66,36	66,44	43,28	145,56	94,87	65,05	72,19	68,57
5512 MNHN	A	-	-	-	-	-	-	-	113,34	76,78	56,95	58,22	53
5509 MNHN	A	-	-	150,3	-	60,71	-	35,58	115,86	83,04	54,3	58,97	51,11
323 MNHN	A	232,69	220,48	158,2	196,55	60,96	57,69	40,51	123,64	87,4	59,27	60,16	49,86
320 MNHN	A	254,49	233,87	164,99	62,15	208	59,4	42,26	138,48	95,27	64,28	65,27	60,5
2578 MNHN	A	249,53	238,84	173,55	215,66	67,65	59,22	39,67	138,38	90,97	69,1	70,12	51,36
1231 MNHN	A	215,17	225,39	168,39	203,76	61,49	58,98	40,32	131,88	88,31	61,09	69,44	54,66
972 MNHN	A	260,85	238,29	170,74	216,58	67,21	71,1	41,34	149,11	99,27	70,32	80,26	59,06
2663 MNHN	A	250,12	223,01	160,63	195,39	60,69	62,11	39,53	128,1	92,54	64,93	75,97	51,67
258 MNHN	A	258,93	245,04	178,03	216,17	68,69	62,59	42,42	142,63	94,09	63,32	79,53	53,41
2929 MNHN	A	257,84	244,08	176,38	217,96	68,03	60,26	40,32	143,8	98,73	71,42	79,81	50,73
4704 MNHN	A	240,32	224,06	171,44	209,57	63,77	61,04	41,16	128,07	94,91	68,02	75,85	54,54
2927 MNHN	A	208,63	194,02	140,22	165,5	54,79	46,66	39,33	111,96	74,55	52,42	60,62	48,09
2557 MNHN	A	222,23	210,18	150,81	184,36	59,19	55,24	39,97	130,36	84,69	57,27	66,72	46,11
2229 MNHN	A	249,46	226,66	166,01	208,35	67,25	58,89	43,69	141,5	96,8	65,54	71,73	46,19
2928 MNHN	A	234,57	-	-	-	-	52,61	-	125,21	98,13	61,33	-	49,26
8158 MNHN	A	244,84	234,36	169,11	208,79	105,21	59,15	41,22	142,5	96,75	69,48	72,82	58,72
6066 MNHN	A	248,84	240,62	174,59	121,67	67,53	59,16	40,52	141,64	96,08	66,11	74,64	52,75
2552 MNHN	J	174	161,29	166,22	130,74	34,67	40,96	36,52	99,8	66,18	48,82	51,78	48,53
2579 MNHN	J	193,5	180,5	126,63	158,19	50,15	45,17	33,18	102,97	69,35	44,58	51,45	52,4
2589 MNHN	J	182,93	159,2	120,32	144,14	46,47	41,2	33,82	103,81	68,7	45,18	48,64	47,59
2583 MNHN	J	106,87	94,65	77,61	89,26	31,21	26,5	23,8	58,55	44,17	33,33	36,42	27,09
2609 MNHN	J	132,34	123,26	90,62	109,36	35,86	32,08	27,88	80,87	56	40,37	41,3	40,93
2551 MNHN	J	166,82	157,81	113,65	139,47	45,75	40,94	33,26	98,93	65,4	45,67	55,11	41,35

		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2934 FC		121	-	-	96,93	55,8	-	-	-	-	-	-	-	14,07
1311 FC	155,47	146,73	15,42	87,48	51,67	73,66	78,94	15,16	11,16	13,87	10,87	11,9		
142 FC	150,98	141,51	17,12	80,11	54,14	69,7	83,51	80,43	15,71	10,76	14,96	10,4	13,27	
1674 FC	145,1	72,26	16,14	74,26	49,54	70,69	76,9	12,89	11,59					12
2763 MNHN	110,04	152,07	13,16	85,05	53,93	80,01	80,19	78,7	12,19	10,62	13,1	10,6	11,04	
2762 MNHN	97,89	130,31	15,32	72,74	47,68	64,62	75,08	72,4	13,99	9,4	13,37	9,21	11,61	
6179 MNHN	101,78	139,12	17,26	75,1	56,59	70,37	77,43	73,1	13,23	10,63	12,21	10,59	10,07	
2667 MNHN	104,99	144,38	15,34	75,39	59,21	73,48	82,07	78,61	15,6	11,48	12,62	10,03	10,58	
2853 MNHN	106,25	150,75	15,66	83,24	52,92	71,51	85,87	83	14,81	12,16	14,34	11	12,28	
2588 MNHN	97,85	133,95	15,26	74,07	47,46	65,51	78,58	77,05	14,57	9,88	14,06	9,59	9,82	
3265 MNHN	98,34	141,86	16,84	83,13	48,63	69,48	82,62	80,89	13,98	10,87	14,04	8,82	11,81	
2855 MNHN	109,15	151,42	15,37	79,31	54,83	78,49	83,9	81,7	14,67	11,28	14,51	11,49	12,15	
4354 MNHN	99,05	131,68	14,33	70,38	44,47	66,14	77,73	74,57	13,95	11,5	12,19	9,78	11,83	
2605 MNHN	117,22	154,57	17,79	85,63	59,66	70,85	93,66	87,78	16,52	11,81	15,65	11,62	12,8	
5512 MNHN	92,63	-	13,26	-	-	-	68,84	-	11,45	-	9,8	-	9,89	
5509 MNHN	89,2	-	13,84	-	-	-	80,67	-	13,86	-	19,4	-	11,59	
323 MNHN	98	135,41	16,56	73,83	54,08	65,26	79,04	76,43	15,05	11,29	12,75	9,29	11,25	
320 MNHN	104,23	145,85	13,87	83,28	50,91	73,13	82,39	77,98	15,09	10,45	14,61	9,43	11,96	
2578 MNHN	105,57	146,62	16,29	81,35	58,42	78,3	84,66	80,55	14,21	10,93	14,08	9,91	12,44	
1231 MNHN	108	144,65	18,93	78,13	53,98	69,59	81,42	79,18	13,52	11,61	12,39	9,81	10,11	
972 MNHN	103,07	150,43	17,23	84,34	60,86	73,21	86,46	81,31	15,77	11,99	13,59	9,7	12,21	
2663 MNHN	101,41	139,2	16,33	80,02	59,65	65,63	82,16	-	13,85	11,58	-	-	11,21	
258 MNHN	108,51	180,06	16,5	-	-	70,53	94,88	-	16,63	13,57	-	-	15,81	
2929 MNHN	108,24	153,46	-	89,82	48,75	81,74	84,61	80,9	18,52	11,74	15,24	10,79	12,77	
4704 MNHN	108,45	155,61	14,2	88,81	57,25	72,34	88,58	-	15,62	11,29	-	-	13,9	
2927 MNHN	84,69	114,74	11,78	66,89	39,28	54,81	75,02	71,43	14,48	9,91	12,69	8,03	10,48	
2557 MNHN	93,36	126,91	15,89	77,03	46,66	61,09	76,41	72,9	14,41	11,48	12,88	9,93	10,32	
2229 MNHN	98,3	140,64	14,89	80,88	55,59	71,07	84,95	81,95	15,61	11,91	14,66	10,37	12,37	
2928 MNHN	98,83	133,45	12,6	-	45,51	67,38	76,3	72,71	13,01	10,92	12,98	9,37	11,21	
8158 MNHN	106,81	148,44	17,53	86,5	48,25	74,09	84,94	-	13,41	11,36	13,32	10,51	11,87	
6066 MNHN	107,8	150,15	15,08	82,59	50,41	72,23	90,85	86,77	16,33	12,07	16,08	10,78	11,57	
2552 MNHN	70,47	95,94	10,04	50,48	37	47,87	57,42	54,09	9,73	8,04	9,6	7,05	8,3	
2579 MNHN	80,67	112,09	11,43	53,96	45,96	58,23	63,53	60,98	11,77	9,45	11,77	7,67	8,81	
2589 MNHN	75,09	101,5	13,29	54,69	37,92	48,38	64,23	60,35	12,06	8,6	11,27	7,89	9,49	
2583 MNHN	46,36	58,08	7,72	25	22,71	25,48	37,41	33,68	7,08	5,52	6,61	4,59	6,25	
2609 MNHN	55,78	74,88	9,05	35,86	26,86	45,24	42,46	7,56	6,84	7,9	5,71	6,95	6,28	
2551 MNHN	66,33	92,68	10,5	51,2	34,14	45,87	57,24	53,65	10,36	7,82	9,85	6,91	7,85	

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
2934 FC	-	11,69	11,18	12,16	-	11,7	11,85	44,45	-	42,27	14,8	12 lofos
1311 FC	12,87	-	-	11,73	12,15	-	-	42,28	14,94	-	-	-
142 FC	12,11	-	-	11,93	11,53	-	-	42,84	15,53	42,07	15,4	12 lofos
1674 FC	12,01	-	-	10,85	11,12	-	-	41,63	15,74	38,8	14,8	12 lofos
2763 MNHN	11,45	11,62	11,18	11,71	11,18	10,78	10,16	42,83	15,89	42,12	15,06	12 lofos
2762 MNHN	10,28	11,64	10,14	10,91	10,8	10,66	10,33	40,32	13,91	38,72	14,29	11 lofos
6179 MNHN	11,56	10,22	9,68	11,53	10,18	10,54	9,72	39,28	13,97	38,51	14,19	12 lofos
2667 MNHN	12,56	11,75	10,26	11,46	11,85	11,99	10,96	44,85	15,83	40,99	14,68	12/13 lofos
2853 MNHN	11,43	12,16	10,93	12,09	12,55	12,1	11,42	46,2	17,69	45,33	16,46	11 lofos
2588 MNHN	11,21	11,22	10,07	11,66	10,29	10,75	10,03	41,74	14,51	39,17	14,23	11 lofos
3265 MNHN	11,26	11,86	9,3	11,53	12,64	10,87	10,25	46,25	15,58	43,99	15,14	12 lofos
2855 MNHN	12,16	11,99	11,39	12,2	11,89	11,67	10,9	46,43	16,61	43,62	15,53	12 lofos
4354 MNHN	11,24	10,36	10,02	10,59	11,59	10,61	10,31	41,55	16,17	39,4	15,6	11/12 lofos
2605 MNHN	13,44	12,8	12,47	13	13,1	13,26	11,97	50,78	16,72	49,71	16,57	13 lofos
5512 MNHN	-	10,75	-	9,74	10,64	9,55	8,26	36,88	12,59	35,2	11,28	12 lofos
5509 MNHN	-	11,68	-	11,69	-	11,15	-	42,52	-	14,86	-	-
323 MNHN	10,56	10,52	9,12	10,62	11,66	9,31	10,39	42,54	41,03	15,33	14,28	12 lofos
320 MNHN	11,57	12,79	10,76	12,42	10,7	11,77	8,91	44,06	15,28	40	14,28	11 lofos
2578 MNHN	12,49	12,27	10,23	10,5	12,24	-	-	46,95	12,72	44,35	13,06	12 lofos
1231 MNHN	11,53	11,04	10,22	10,92	9,66	13,01	10,84	45,12	16,69	43,43	14,31	12 lofos
972 MNHN	12,37	11,24	10,1	12,43	11,7	11,08	10,9	46	16,47	42,2	14,64	12 lofos
2663 MNHN	11,5	-	-	11,54	10,8	-	-	43,78	15,58	42,56	14,59	12 lofos
258 MNHN	14,04	-	-	13,75	13,31	13,32	12,29	48,58	19,32	47,98	18,39	12 lofos
2929 MNHN	11,09	11,66	10,12	11,9	11,41	10,73	10,05	42,33	16,66	43,49	15,51	13 lofos
4704 MNHN	12,06	12,54	12,22	12,33	11,53	-	-	46,74	17,08	-	-	-
2927 MNHN	9,96	10,34	8,16	9,83	9,23	9,68	8,7	37,97	13,1	36,47	13,09	12 lofos
2557 MNHN	10,4	10,58	9,1	10,28	11,14	10,6	9,69	40,96	14,41	38,2	13,47	11 lofos
2229 MNHN	11,56	13,3	10,62	13,37	11,71	12,29	10,76	43,23	15,55	40,83	15,25	12 lofos
2928 MNHN	11,95	11,27	9,33	10,81	10,9	10,2	9,77	42,11	14,18	38,08	14,03	11 lofos
8158 MNHN	12,17	-	-	11,27	12,27	-	-	43,95	16,4	44,15	16,23	13 lofos
6066 MNHN	12,47	12,73	10,81	13,21	12,69	13,54	11,9	50,84	16,98	48,82	16,28	12 lofos
2552 MNHN	8,01	8,19	7,18	7,63	8,6	8,02	7,54	30,05	11,23	27,26	10,01	13 lofos
2579 MNHN	8,82	9,11	8,26	8,8	8,79	9,56	8,43	32,99	11,48	30,47	10,8	12 lofos
2589 MNHN	9,43	9,27	7,96	9,34	8,76	9,29	8,5	32,44	12,57	30,49	10,6	11 lofos
2583 MNHN	5,62	5,95	4,82	5,28	6,05	5,29	5,03	18,68	6,4	17,35	6,27	12 lofos
2609 MNHN	6,75	6,53	5,78	6,83	6,67	6,01	5,7	22,91	8,34	20,91	7,62	11 lofos
2551 MNHN	8,34	7,55	7,09	7,52	7,73	7,91	7,32	29,83	10,06	28,28	9,38	12 lofos

	38	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
1311 FC	20,4	20,4	85,57	47,27	76,52	74,33	20,24	11,28	19,18	9,48	16,85	11,35
2763 MNHN	210,79	210,79	83	53,08	79,95	-	22,05	9,77	-	-	19,02	10,61
2762 MNHN	190,48	190,48	71,85	46,35	74,8	72,6	17,78	9,97	18,59	8,82	15,25	10,85
2667 MNHN	212,16	212,16	86,07	47,66	80,47	79,92	23,08	10,39	21,64	9,76	17,15	11,57
2853 MNHN	215,76	215,76	86,54	45,84	85,34	83,32	23,75	11,55	22,44	10,01	19,26	12,42
2588 MNHN	199,86	199,86	86,68	43,12	79,62	76,59	23,16	10,21	21,98	9,33	18,26	10,55
3265 MNHN	201,45	201,45	81,66	47,78	80,8	78,98	21,13	11,31	20,33	9,42	18,16	11,49
2855 MNHN	211,69	211,69	86,59	48,97	86,35	82,77	22,33	11,16	10,72	10,7	19,77	12,74
4354 MNHN	189,92	189,92	77,22	46,15	78,2	77,21	22,03	10,63	21,39	9,53	18,02	11,64
2605 MNHN	228,42	228,42	86,81	52,07	90,72	88,93	24,76	12,89	23,58	10	19,12	12,98
323 MNHN	194,27	194,27	75,22	42,86	80,61	77,87	22,95	9,49	20,91	7,93	17,02	10,42
320 MNHN	202,17	202,17	86,74	52,79	82,18	79,68	20,96	16,95	20,3	9,57	20,11	11,73
2578 MNHN	216,78	216,78	83,91	53,06	81,61	80,26	21,5	10,28	21	8,92	17,49	11,74
1231 MNHN	192,99	192,99	81,02	47,42	82,45	78,83	22,15	9,72	19,82	8,27	17,95	12,74
972 MNHN	205,91	205,91	86,83	50,35	85,3	81,58	22,41	12,21	21,13	9,93	18,05	12,85
2663 MNHN	209,27	209,27	81,38	42,85	79,47	-	23,56	12	-	-	18,75	12,12
2929 MNHN	215,83	215,83	90,1	53,5	85,51	82,53	23,87	11,78	21,51	9,94	18,44	11,89
2927 MNHN	157,2	157,2	68,03	36,5	74,58	70,52	20,63	8,77	19,74	8,19	15,02	9,89
2557 MNHN	141,53	141,53	44,15	75,32	75	73,07	19,44	11,02	19,43	8,25	16,9	10,69
2928 MNHN	196,34	196,34	79,89	46,14	75,41	72,03	19,19	9,9	18,55	9,05	17,68	10,3
6066 MNHN	216,06	216,06	86,95	48,37	87,7	83,92	22,02	12,18	22,07	11	19,74	11,81
2552 MNHN	140,96	140,96	55,11	31,89	58,78	56,16	14,24	7,64	14,59	6,93	11,78	8,55
2579 MNHN	157,2	157,2	60,86	37,47	63,33	61,5	17,2	7,85	16,9	6,87	12,9	8,5
2589 MNHN	147,84	147,84	55,99	34,07	62,63	60,29	16,79	8	15,99	7,62	14,92	9,29
2583 MNHN	86,91	86,91	30,25	17,85	39,73	35,12	8,87	5,43	8,18	4,36	9,02	6
2609 MNHN	107,67	107,67	41,66	24,91	47,09	42,9	12,18	6,31	10,6	5,61	11	6,57
2551 MNHN	140,11	140,11	56,48	35,76	58,06	-	14,83	8,05	-	-	12,57	8,7

	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
1311 FC	-	-	17,44	13,48	17,97	12,35	22,3	14,74	22,86	14,57	6 lofos
2763 MNHN	18,47	10,78	18,02	12,95	18,13	12,93	20,33	14,74	19,25	15,12	5 lofos
2762 MNHN	16,5	9,9	15,58	13,5	16,28	12,32	21,4	15,14	20,25	14,47	4 lofos
2667 MNHN	18,57	10,77	19,44	14,6	17,97	13,5	23,04	15,49	20,74	16,16	3 lofos
2853 MNHN	18,64	11,15	19,41	14,89	18,81	14,78	24,95	16,69	23,1	16,24	5 o 6 lofos
2588 MNHN	17,8	9,89	17,99	14,19	17,22	13,6	22,85	15,68	20,3	15,21	6 lofos
3265 MNHN	18,33	10,16	18,76	14,05	19	13,49	23,86	15,12	22,36	14,92	4 lofos
2855 MNHN	18,48	10,98	20,09	14,74	19,23	12,82	25,3	16,23	24,05	16,21	5 lofos
4354 MNHN	17,46	10,09	18,19	14,73	17	13,82	21,4	19,37	16,27	15,37	5 lofos
2605 MNHN	19,5	12,38	20,54	16,26	20,86	15,64	27,78	18,9	25,74	17,07	4 lofos
323 MNHN	16,55	8,91	16,46	13	17,86	12,27	24,52	15,63	21,55	15,22	5 lofos
320 MNHN	18,49	10,45	18,92	13,69	18,63	12,62	23,05	15,51	21,56	14,96	5 lofos
2578 MNHN	18,39	10,48	19,85	14,04	18,7	13,2	21,22	17,19	21,08	14,87	4 lofos
1231 MNHN	16,94	9,82	19,79	15,02	18,7	12,97	24,8	15,71	22,31	15,42	4/6 lofos
972 MNHN	17,35	10,54	18,95	13,67	18,26	12,4	25,71	15,91	23,09	13,58	6 lofos
2663 MNHN	17,35	10,74	18,08	13,01	-	-	22,74	15,67	20,23	14,7	6 lofos
2929 MNHN	18,37	11,06	18,39	15,21	18,69	14,08	25,07	16,67	23,64	15,07	5 lofos
2927 MNHN	16,05	8,98	15,62	11,14	16,38	10,51	21,94	13,17	20,36	12,74	4/5 lofos
2557 MNHN	14,98	9,31	17,01	14,22	16,88	12,73	22,36	14,27	20,38	13,87	5 lofos
2928 MNHN	17,05	9,28	17,18	13,16	17,3	10,74	22,02	13,77	20,4	12,73	6 lofos
6066 MNHN	17,97	11,21	19,64	14,71	18,66	14,07	22,84	17,28	22,81	16,38	4 lofos
2552 MNHN	11,45	7,23	12,93	9,9	12,18	9,98	17,88	10,66	16,23	10,06	5 lofos
2579 MNHN	14,06	8,42	13,05	10,8	14,45	10,29	17,91	11,99	16,44	10,9	5 lofos
2589 MNHN	12,61	7,88	15,08	10,84	13,05	9,47	17,07	12,78	16,28	11,58	5 lofos
2583 MNHN	8,54	5,31	9,63	6,66	8,95	5,86	11,66	6,5	8,22	5,99	-
2609 MNHN	9,92	5,71	9,46	7,37	10,22	6,8	13,91	8,07	12,28	7,03	5 lofos
2551 MNHN	11,93	7,04	12,92	9,69	12,14	8,86	17,12	10,74	14,35	10,33	4 lofos

		1	2	3	4	7	8	10	13	15	16	17
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MGT-518	335	331	315	290	58,4	182,3	95	192	-	151,4	75,7
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MHD-P 273	318	-	-	-	-	150	98,2	185	-	130	65
Neochoerus sulcidens (Gomes et al. 2019)	MCL 7223	-	-	-	-	-	-	-	-	22,78	-	-
Neochoerus sp. (Gomes et al. 2019)	UNSGH 645	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neochoerus tarijensis (Gomes et al. 2019)	MACN 587-588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MGT-518	18	19	23	24	27	28	31	32	35	36	37
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MHD-P 273	103,4	115,8	18,6	15,8	14,7	16,7	14,5	16	60	22	16 lofos
Neochoerus sulcidens (Gomes et al. 2019)	MCL 7223	99	104,4	18	13,4	14,5	15	13,7	14,8	52,4	20	-
Neochoerus sp. (Gomes et al. 2019)	UNSGH 645	-	-	-	-	-	-	17,19	16,49	61,95	21,78	-
Neochoerus tarijensis (Gomes et al. 2019)	MACN 587-588	-	-	-	-	-	-	13,6	12,7	48	18	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	55	19	-
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MGT-518	40	41	45	46	49	50	53	54	57	58	
Neochoerus aesopi (Ubilla, 1996)	MHD-P 273	-	107,8	28	12,7	24	13,4	26,6	17,8	28,6	20,5	
Neochoerus sulcidens (Gomes et al. 2019)	MCL 7223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Neochoerus sp. (Gomes et al. 2019)	UNSGH 645	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Neochoerus tarijensis (Gomes et al. 2019)	MACN 587-588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(Gomes et al., 2019)	15	31	32	35	36
MCN-PV 9574	15,06	11,39	11,41	45,99	15,58
MCN-MZ 2830	18,87	11,45	10,23	43,77	15,3
MCN-MZ 3227	15,77	11,9	10,47	40,19	13,66
MCN- MZ 2721	17,52	11,79	10,75	44,68	15,47
MCN- MZ 3223	17,93	12,43	10,59	44,95	15,42
MCN-MZ 3205	16,46	11,31	11,13	43,6	15,4
MCN-MZ 3221	18,22	12,52	12,06	41,88	13,88
MCN-MZ 1697	14,86	10,86	10,64	40,75	13,85
MCN-MZ 3208	12,97	8,53	8,41	31,19	10,36
MCN-MZ 2652	16,81	12,13	12,05	48,84	15,45
MCN-MZ 1098	17,01	13,67	12,99	46,3	16,25
MCN-MZ 1766	8,87	6,4	5,73	23,03	7,31
MCN-MZ 3207	15,22	11,12	10,69	39,81	15,07
MCN-MZ 3370	16,4	12,56	11,14	40,92	14,51
MCN-MZ 3264	15,24	10,84	10,42	42,54	14,51
MCN-MZ 3373	15,82	12,05	10,9	39,34	12,79
MCN-MZ 2679	12,29	10,98	10,48	40,07	15,07
MCN-MZ 3219	12,73	10,09	9,18	29,83	10,9
MCN-MZ 3206	16,33	13,43	10,79	40,29	13,74
MCN-MZ 3222	15,32	12,8	13,12	47,58	18,29
MCN-MZ 3220	12,05	8,7	8,31	29,96	11,33
MCN-MZ 3362	15,33	11,71	10,48	39,66	15,74
MCN-MZ 3239	13,12	8,24	7,24	26,38	9,01
MCN-MZ 3224	12,58	12,16	10,68	37,86	12,97
MCN-MZ 3354	12,21	10,2	9,31	37,18	12,56
MCN-MZ 2812	12,02	9,46	9,41	36,64	12,75
MCN-MZ 60/01	14,24	9,49	8,62	35,39	13,08
MCN-MZ 165	13,01	11,4	10,79	40,91	12,82
MCN-MZ 05/01	15,64	13,14	12,62	47,87	16,02
MCN-MZ 168	17,21	12,27	11,46	44,41	15,21
MCN-MZ 159	11,64	8,82	9,12	35,09	11,89
MNRJ 69153	14,86	11,92	12,95	43,95	15,37
MNRJ 6097	13,44	10,21	10,46	39,19	12,4
MNRJ 60618	17,33	12,16	10,3	44,85	14,82
MNRJ 1766	7,66	5,79	5,51	19,71	7,01
MNRJ 69899	16,9	10,9	9,55	40,01	13,47
MNRJ 79186	14,29	9,89	10,04	39,89	13,9
MNRJ 561	15,24	10,11	9,49	39,21	12,72
MNRJ 79579	13,38	10	9,82	37,86	12,21
MNRJ-not numbered	14,45	10,87	9,77	40,47	13,94
MNRJ – notnumbered	13,73	9,98	9,85	38,62	12,19
MNRJ-not numbered	10,57	7,44	7,48	26,28	10,36
MNRJ 79174	14,14	10,99	9,92	40,73	13,63
MNRJ 71447	15,95	10,88	10,5	42,68	14,01
MNRJ 71068	13,25	10,82	9,63	38,12	14,14
MNRJ 65563	16,21	12,47	10,39	43,58	14,64
MNRJ 276	11,2	7,98	7,93	27,17	9,68
MNRJ 69916	11,2	7,52	8,76	29,9	10,51
MNRJ 278	14,06	9,63	9,22	39,4	12,99
MNRJ 279	15,13	10,82	11,15	42,55	15,36
MNRJ 2652	-	9,83	9,29	32,59	11,7
MNRJ – notnumbered	15,93	10,35	10,2	41,26	14,3
MNRJ – notnumbered	16,68	10,73	10,32	41,39	14,84
MNRJ – notnumbered	16,6	10,81	10,75	39,32	14,56
MNRJ – notnumbered	15,14	11,12	10,28	40,38	15,68
MNRJ – notnumbered	13,01	10,95	9,79	39,78	14,34
MNRJ – notnumbered	17,24	11,34	9,54	38,41	14,08
MNRJ – notnumbered	15,82	11,34	11,62	40,61	15,08
MNRJ 04	15,84	10,9	10,24	39,52	14,22
MNRJ 54	10,68	10,79	10,34	38,04	12,64
MNRJ 5380	13,9	11,34	11,44	41,76	15,58
MNRJ 8488	15,23	11,88	10,18	42,64	14,76
MNRJ 69535	16,76	11,31	10,34	41,59	14,01
MNRJ- notnumbered	15,73	11,34	10,63	40,95	14,76
MNRJ 70780	15,43	11,34	10,48	38,16	14,7
MNRJ 78156	12,56	9,48	9,14	36,85	13,4
MNRJ 75761	14,97	9,35	9,29	37,37	13,34
MNRJ 79174	14,92	10,9	10,41	42,85	15,1
MNRJ 7663	14,26	11,3	10,54	41,01	14,9
MNRJ 73634	13,38	9,41	9,18	35,13	12,82
MNRJ – notnumbered	13,72	10,24	10,27	39,84	14,12

11. Apéndice 2: Resultados del tamizado de sedimentos

Se muestran los datos obtenidos del tamizado de muestras sedimentarias de las diferentes unidades aflorantes en el Paso del Buey Negro.

11.1 Resultados concretos del tamizado

Cada valor representa la masa en gramos del ítem especificado.

	PIU1	PIU2	PIU3	PU13 nivel	P1U4	P2U 1	lente intra P2U2	P2U 2	P2U 3
Inicial	624,3	325,4	454,4	221,8	242,3	481,5	538,6	341,1	203,3
Retenido en el tamiz de 31,5 mm	180,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Retenido en el tamiz de 16 mm	116,8	84,3	-	-	-	87,5	107,2	-	-
Retenido en el tamiz de 8 mm	81,7	45,8	-	-	-	74,3	110,6	-	-
Retenido en el tamiz de 4,76 mm	43,9	39,6	-	-	-	58,7	80,1	-	-
Retenido en el tamiz de 2 mm	88,5	17,7	1,8	2,8	0,2	92,1	110,7	0,1	0,2
Retenido en el tamiz de 1 mm	47,2	19,8	3,4	17	1,1	39,2	52,3	0,6	0,3
Retenido en el tamiz de 500 micras	34,2	34,5	21	80,3	52,6	48,4	37,1	51,2	26,1
Retenido en el tamiz de 250 micras	19	34,5	118,2	81,5	55,4	40,9	23,1	72,4	46,9
Retenido en el tamiz de 125 micras	7,6	12,5	179,8	23,2	48	22,5	9	88,2	50
Retenido en el tamiz de 63 micras	2,7	4	66,1	10,8	41,1	9	4,3	70,4	38,5
Retenido en el ciego	1,7	2,2	60,4	5,7	42,2	7,1	3,6	56,8	40,8
final	623,9	324,9	450,7	221,3	240,6	480	538,1	339,7	202,8
perdido	0,4	0,5	3,7	0,5	1,7	1,5	0,5	1,4	0,5
3,00%	18,7	9,8	13,6	6,7	7,3	14,5	16,2	10,2	6,1

11.2 Porcentaje de las distintas fracciones granulométricas de las muestras

El porcentaje de grava considera los sedimentos de 2 mm y más grandes (es decir, los que quedaron retenidos en el tamiz de 2 mm y en los tamices más gruesos). El porcentaje de arena considera a los sedimentos de entre 0,063 mm a 2 mm (es decir, los retenidos en los tamices 0,063 mm al 1 mm). El porcentaje de limo y arcilla considera a los sedimentos de menos de 0,063 mm (es decir, los retenidos en el ciego). Para definir el tipo de sedimento se utiliza la clasificación de acuerdo al % de grava/arena/limo y arcilla presentada por Folk (1980, p. 26).

muestra	% grava	% arena	% limo y arcilla	tipo de sedimento
P1U1	82	17,7	0,3	grava
P1U2	66,9	32,4	0,7	grava arenosa
P1U3	0,4	86,2	13,4	arena fangosa
P1U3 nivel	1,3	96,1	2,6	arena
P1U4	0,1	82,4	17,5	arena fangosa
P2U1	65,2	33,3	1,5	grava arenosa
lente intra P2U2	75,9	23,4	0,7	grava arenosa
P2U2	0,1	83,2	16,7	arena fangosa
P2U3	0,1	79,7	20,1	arena fangosa