


# Morfometría geométrica y representaciones rupestres: explorando las aplicaciones de los métodos basados en *landmarks*

 Judith Charlin\* y M. Isabel Hernández Llosas\*\*

Recibido:  
1 de noviembre de 2014

Aceptado:  
17 de noviembre de 2015

## Resumen

El presente trabajo se propone comenzar a explorar la aplicación de las técnicas de morfometría geométrica basadas en *landmarks* para el estudio cuantitativo de la forma y tamaño de las representaciones rupestres. A modo de ejercicio metodológico y con el fin de mostrar las potencialidades analíticas de estos métodos, se analizó una muestra de 116 pinturas y grabados rupestres de la quebrada de Humahuaca y Puna (prov. Jujuy) correspondientes a figuras de camélidos de los sitios Playa Colanzuli, Media Agua, Sapagua y Barrancas, asignadas al Holoceno tardío. Así, en primer lugar se realiza una breve introducción al campo de la morfometría geométrica, sus orígenes, objetivos, distintos métodos y ventajas con respecto a la morfometría tradicional. Luego se describen los procedimientos técnicos de los métodos basados en *landmarks* y el protocolo de trabajo con las imágenes. Finalmente, se presentan tres tipos de análisis estadísticos multivariados factibles de ser implementados para describir: 1) las principales variaciones morfológicas de las representaciones (análisis de componentes principales), 2) las diferencias entre grupos de formas (análisis de variantes canónicas y *test* de hipótesis paramétricos y no paramétricos en base a distancias) y 3) la relación forma-tamaño (regresión múltiple).

## Palabras clave

Morfometría geométrica  
Arte rupestre  
Forma  
Tamaño  
Cuantificación

## Geometric morphometrics and rock art: exploring landmark-based methods

### Abstract

The aim of this work is to explore the application of geometric morphometric landmark-based methods to study shape and size changes on rock art quantitatively. It is done as a methodological exercise, aiming to show the analytic potential of these methods. They have been applied on a sample of 116 paintings and engravings from sites assigned to late Holocene located in Quebrada de Humahuaca and Puna (Jujuy province). The figures are camelids from Playa Colanzuli, Media Agua, Sapagua and Barrancas sites. A brief introduction to geometric morphometrics is presented, including its origins,

### Keywords

Geometric morphometrics  
Rock art  
Shape  
Size  
Quantification

\* CONICET - IMHICIHU - UBA. Saavedra 15 5° piso (CP 1083) Buenos Aires, Argentina. E-mail: judith.charlin@gmail.com

\*\* CONICET - Instituto de Arqueología, Facultad de Filosofía y Letras, UBA. 25 de Mayo 214 3° piso (CP 1002) Buenos Aires, Argentina. E-mail: mihernandezllosas@yahoo.com

aims, different methods and advantages in relation with traditional morphometrics. Then, landmark-based method technical procedures and work images protocol are described. Finally, three types of statistical multivariate analyses are presented. These analyses are applied here to describe: 1) the main morphological variations (principal component analysis), 2) the shape differences between groups (canonical variate analysis and parametric and non parametric hypothesis tests) and 3) the relationship between size and shape (multiple regression).

## Introducción

Las técnicas de Morfometría Geométrica (MG en adelante), de uso corriente en la Biología y ciencias afines, han comenzado a ser aplicadas en la Arqueología en los últimos años. Sin embargo, su área de aplicación por el momento ha quedado restringida a los análisis líticos (Buchanan y Collard 2010; Buchanan *et al.* 2011, 2012, 2014; Cardillo 2009, 2010; Cardillo y Charlin 2009; Cardillo *et al.* 2010; Castiñeira *et al.* 2011; Charlin y González-José 2012; Charlin *et al.* 2010, 2013, 2014; De Azevedo *et al.* 2014; González-José y Charlin 2012; Iovită 2009, 2010, 2011; Iovită y McPherron 2011; Lycett *et al.* 2010; Picin *et al.* 2014; Saragusti *et al.* 2005; Thulman 2012, entre otros) y de huesos humanos (Ackerman 2002; Bastir *et al.* 2005; González-José *et al.* 2003, 2007, 2008; Martínez-Abadías *et al.* 2006; Mitteroecker y Bookstein 2008; Perez 2003; Perez *et al.* 2006, 2009 a y b, entre otros). A pesar de sus potencialidades para el estudio cuantitativo de las variaciones en la forma de distintos tipos de objetos, dichas técnicas aún no han sido aplicadas al estudio del arte rupestre. Por consiguiente aquí nos proponemos comenzar a explorar sus aplicaciones, considerando a las representaciones rupestres (*sensu* Hernández Llosas 1985) como una tecnofactura (Aschero 1988) factible de ser analizada mediante estos métodos. Así, el objetivo de nuestro trabajo es puramente metodológico, persiguiendo el fin de mostrar algunos resultados posibles de obtener mediante el análisis morfogeométrico de las representaciones rupestres. A modo de ejemplo presentamos la aplicación de las técnicas de MG basadas en *landmarks* a una muestra de 116 pinturas y grabados de camélidos de la Quebrada de Humahuaca y Puna (prov. Jujuy) asignada al Holoceno tardío.

## ¿Qué es la morfometría geométrica?

La palabra morfometría se deriva del latín y significa la medición (*metron*) de la forma (*morphe*) (Mitteroecker y Gunz 2009: 235). En las artes plásticas, el interés en la cuantificación de la forma es muy antiguo. Los artesanos egipcios de la dinastía media utilizaban cuadrículas y proporciones estandarizadas para obtener representaciones ajustadas de las figuras a retratar (Slice 2005, Fig.1). Asimismo en el Renacimiento, artistas como Durero y Da Vinci aplican la superposición de cuadrículas a los objetos a representar a fin de controlar las proporciones de una forma estandarizada (Bookstein 1993). Sin embargo, han sido los desarrollos dentro del marco del estudio naturalista y biométrico de la forma de los organismos los que han conducido a conformar una teoría estadística de la forma, de utilidad para otras disciplinas (Bookstein 1993). Así, la MG tiene su origen en la Biología a partir de dos tradiciones diferentes: la estadística biométrica y el estudio de las transformaciones morfológicas de los organismos (Bookstein 1993). Los análisis estadísticos de medidas de tamaño y forma desarrollados por F. Galton y K. Pearson, entre otros, junto con el estudio naturalista de la forma de los organismos mediante grillas de deformación propuesto por D'Arcy Thompson constituyen los cimientos de la morfometría moderna (Bookstein 1993, ver referencias allí). Desarrollos

independientes en ambas ramas condujeron posteriormente a la conformación de un campo unificado (Bookstein 1993). Si bien los primeros avances en este sentido se remontan a fines del siglo XIX y principios del XX, la constitución de la MG como un campo en sí mismo corresponde a fines de los '80 con la invención de los métodos basados en coordenadas, el descubrimiento de una teoría estadística de la forma y el logro computacional de las grillas de deformación (Mitteroecker y Gunz 2009; Rohlf y Marcus 1993). Bookstein (1993) señala que la síntesis entre estas dos tradiciones, que implicó la combinación de viejos métodos en una forma nueva, se produjo entre 1983-1989. Esto desembocó en la conformación de una teoría cuantitativa sobre la forma, la cual es estudiada a partir de la geometría y la estadística.

La MG tiene como fin la descripción cuantitativa de la forma, en un espacio bi o tridimensional, mediante el estudio de las relaciones espaciales entre puntos morfométricos representados por coordenadas cartesianas (Bookstein 1982). Estos puntos son denominados *landmarks* en el vocabulario técnico. De esta manera, la forma se convierte en una variable numérica continua compuesta por coordenadas x,y en el caso de análisis en un plano (2D) o x,y,z en el caso de análisis 3D. La variable forma queda representada por dos o tres coordenadas para cada uno de los puntos morfométricos considerados (siendo la forma más sencilla el triángulo), los cuales varían en número de acuerdo con el objeto de estudio y la problemática de interés.

En morfometría, la forma (*form* en inglés) de un objeto se refiere tanto a la forma propiamente dicha (*shape*) como al tamaño (*size*) (Mitteroecker y Gunz 2009: 237). Lamentablemente, en castellano no contamos con sinónimos para *form* y *shape*, por consiguiente en adelante cada vez que utilicemos la palabra forma nos estaremos refiriendo a ambas dimensiones (*shape+size*). Utilizaremos la denominación "forma propiamente dicha" (siguiendo a Van der Molen *et al.* 2007) para referirnos a *shape*<sup>1</sup>. Lo importante en este punto es que los análisis de MG permiten separar la forma propiamente dicha del tamaño, lo cual posibilita la realización de numerosos análisis estadísticos sobre estas variables independientemente, o asimismo, evaluar la relación de dependencia entre ambas (alometría). Un glosario de los términos, conceptos y métodos más frecuentemente utilizados en MG puede consultarse online en <http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss1.htm> y [gloss2.htm](http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss2.htm) (Slice *et al.* 2009) y existen varios trabajos de revisión sobre el desarrollo de esta metodología relativamente recientes y que en general son de acceso libre (Adams *et al.* 2013; Lawing y Polly 2009; Mitteroecker y Gunz 2009; Slice 2007; Slice *et al.* 2009; Viscosi y Cardini 2011; Webstern y Sheets 2010, entre otros).

1. Técnicamente hablando "coordenadas de forma alineadas", "coordenadas de forma transformadas" o "coordenadas de forma de Procrustes" significan lo mismo que "forma propiamente dicha". Más adelante, luego de la explicación de su cálculo, utilizaremos estas denominaciones para referirnos a *shape*.

Lo revolucionario de las técnicas de MG en comparación con la morfometría tradicional (*sensu* Marcus 1990), es que en lugar de estudiar la forma a partir del análisis de un conjunto de medidas lineales entre puntos, la MG estudia los cambios a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de los puntos de referencia (*landmarks*) utilizados para describir el objeto, conservando de esta manera la información geométrica (Bookstein 1996-1997). Esto constituye una ventaja muy importante con respecto a la morfometría tradicional, ya que es posible la reconstrucción gráfica del cambio morfológico entre los casos analizados a partir de la visualización de los desplazamientos de los *landmarks*. Así, la MG permite representar los resultados estadísticos como formas reales (y sus variaciones).

En Arqueología, la morfometría tradicional es la más comúnmente empleada para el estudio de las diferentes líneas de evidencia a través del uso de medidas lineales como largo, ancho, espesor o índices y ángulos. En los estudios de arte rupestre en particular, la situación es aún más deficiente dado que en pocos casos se aplican análisis cuantitativos (ver excepciones en Basile 2012; Basile y Ratto 2011; Carden 2004; Charlin y Borrero 2012; Scheinshon y Szumik 2007; Scheinshon *et al.* 2009, 2015; Tratebas

2012) y la forma es tratada como una variable nominal. La mayoría de los trabajos son fundamentalmente descriptivos, abocándose a la presentación de frecuencias y porcentajes de tipos de motivos y demás variables clasificatorias. Sin embargo, el arte rupestre es un fenómeno multidimensional por excelencia, que constituye una fuente de gran valor para la aplicación de análisis multivariados y *test* de hipótesis. Si bien los métodos tradicionales han mostrado resultados satisfactorios, no es posible de esta manera reconstruir el cambio morfológico de manera continua y gráfica y estudiarlo de forma cuantitativa e independiente de los cambios de tamaño. A diferencia de estos métodos, los trabajos realizados en años recientes a través de técnicas de MG han mostrado un gran potencial para caracterizar de manera detallada el cambio morfológico y métrico (Buchanan y Collard 2010; Buchanan *et al.* 2011, 2012, 2014; Cardillo 2009, 2010; Cardillo *et al.* 2010; Castiñeira *et al.* 2011; Charlin y González-José 2012; Charlin *et al.* 2010, 2014; González-José y Charlin 2012; Iovità 2009, 2011; Perez 2003; Perez *et al.* 2009 a y b; Thulman 2012, entre otros).

La información numérica a partir de la cual trabajan las técnicas de MG son las coordenadas cartesianas de un conjunto de puntos morfométricos seleccionados para describir el objeto de interés (son configuraciones de *landmarks*). En general, sobre todo en el caso de análisis en 2D, las coordenadas cartesianas son obtenidas a partir de la digitalización de los puntos morfométricos sobre la imagen del objeto<sup>2</sup>. Esto constituye una ventaja a la hora de la conformación de la matriz de datos, especialmente en estudios regionales, ya que posibilita trabajar con imágenes de primera mano, como así también con fotografías o ilustraciones publicadas por otros investigadores a través de su digitalización (mediante escaneo), lo cual ofrece una forma fácil y rápida de incrementar la recolección de datos y realizar estudios comparativos (Webster y Sheets 2010). De esta forma es posible conformar extensas bases de datos a escala local, regional y supra regional que permiten avanzar en el estudio de diferentes problemáticas, como la circulación de información, la interacción entre poblaciones, los cambios en tiempo y espacio de los modos de representación, la incidencia de las técnicas de manufactura sobre las formas representadas, entre otros.

El desarrollo de diversos métodos en MG posibilita el estudio de morfologías de distinta complejidad. Dichos métodos pueden separarse en dos grandes grupos: 1) métodos basados en *landmarks* (Bookstein 1991; Dryden y Mardia 1998; Marcus *et al.* 1993; Rohlf y Bookstein 1990; Slice 2005; Zelditch *et al.* 2004, 2014)<sup>3</sup> y 2) análisis de contornos (Crampton 1995; Ferson *et al.* 1985; Kuhl y Giardina 1982; Lestrel 1989; Lestrel *et al.* 1977; Rohlf y Archie 1984; Rohlf y Bookstein 1990). La principal diferencia entre estos métodos radica en el modo de captura de la forma. Los métodos basados en *landmarks* analizan los cambios morfológicos basándose en las posiciones relativas de un conjunto de puntos morfométricos homólogos (puntos que están presentes en todos los individuos de la muestra y que se corresponden en su localización, presentando una equivalencia morfológica o funcional, ver *infra*). Por el contrario, el análisis de contornos se utilizan en los casos en los que no es posible identificar puntos homólogos entre las figuras, ya que principalmente están compuestas por curvaturas sin puntos de referencia diferenciables. Sin embargo, la incorporación de *semilandmarks* (Bookstein 1991, 1996-1997; Gunz y Mitteroecker 2013; Gunz *et al.* 2005, ver *infra*) en los análisis basados en *landmarks* ha sido un gran avance al respecto, permitiendo incluir información sobre curvaturas y superficies mediante puntos.

En los análisis de contornos la forma no se describe a través de puntos discretos en rasgos homólogos, sino a partir de la cuantificación del contorno mediante funciones. El análisis elíptico de Fourier (Kuhl y Giardina 1982), el cual es uno de los métodos más usados en los análisis de contorno, ha sido aplicado en Arqueología a casos de formas muy irregulares (como los desechos de talla, ver Borel *et al.* 2013; Gero y Mazzullo 1984; Picin *et al.* 2014), o conformadas en su mayor parte por filos con distinto grado

2. Aunque se pueden utilizar brazos digitalizadores como el Microscribe, obteniéndose las coordenadas de *landmarks* directamente sin necesidad de digitalizar los puntos sobre las imágenes.

3. Sólo se han citado algunas de las referencias más difundidas de libros sobre estos métodos (en muchos casos son compilaciones).

de curvatura (como raspadores, ver Cardillo y Charlin 2009, o hachas de mano, ver Iovită 2009, 2010; Iovită y McPherron 2011, entre otros).

Si bien en el presente trabajo nos proponemos explorar la aplicación de los métodos basados en *landmarks*, consideramos que ambos tipos de métodos son factibles de aplicación al estudio de las representaciones rupestres, dependiendo principalmente del nivel de estandarización de los motivos y del trazo rectilíneo o curvilíneo de los mismos. En el arte rupestre los análisis de contorno pueden resultar útiles para los casos de representaciones abstractas sin geometrismo marcado o aquellas de trazos curvilíneos como círculos o manos, entre otros (aunque ver la aplicación de análisis de *landmarks* y *semilandmarks* en pisadas humanas en Domjanic *et al.* 2013).

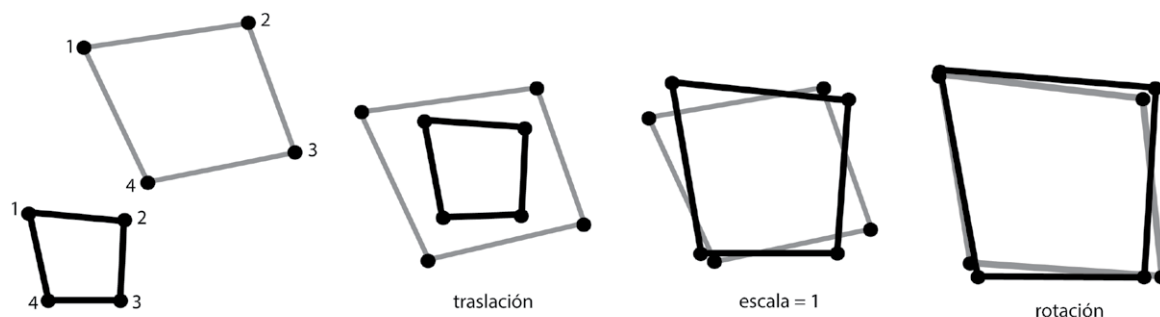
### Los métodos basados en *landmarks*

Como mencionamos anteriormente, los métodos basados en *landmarks* utilizan las coordenadas cartesianas de una secuencia de puntos para describir la forma de un objeto. El requisito fundamental de estos métodos es que dichos puntos sean homólogos, es decir, que puedan ser identificables repetidamente y con seguridad en los diferentes objetos (ver Bookstein 1990 para una discusión sobre el concepto de homología en biología).

Los *landmarks* son caracteres que capturan la geometría de un objeto, indicados por coordenadas en un sistema de ejes (Bookstein 1991). Así, un *landmark* es un punto discreto en el plano (2D) o en el espacio (3D) que corresponde a la posición de un rasgo en particular que es de nuestro interés y tiene su correspondencia en otros especímenes del mismo tipo o clase. Por ejemplo, en estudios osteológicos un *landmark* puede ser el punto que marca la huella de una inserción muscular (Van der Molen *et al.* 2007); en estudios arqueológicos de material lítico, un *landmark* puede estar indicando el ápice en una punta de proyectil o el extremo de las aletas (Charlin y González-José 2012).

Existen diferentes tipos de *landmarks* (Bookstein 1991) según si la correspondencia de los mismos entre objetos es debido a una homología biológica, es decir, anatómica (tipo I, por ejemplo la intersección de suturas craneanas) o simplemente por igual correspondencia geométrica o topográfica (tipo II, por ejemplo puntos extrusivos o intrusivos en dientes y garras o puntos de máxima curvatura). Un caso en particular lo constituyen los *landmarks* tipo III, ya que se refieren a puntos extremos que definen, por ejemplo, el diámetro máximo de un objeto, el cual no se corresponde con un rasgo anatómico ni se ubica geoméricamente en el mismo lugar entre un espécimen y otro. Son puntos que sirven para describir curvas y superficies más extensas cuando no se cuenta con rasgos claramente identificables y de similar localización entre las formas a comparar. Estos puntos han sido denominados *semilandmarks*. Se trata de puntos arbitrarios distribuidos a lo largo de un contorno definido entre dos *landmarks* (Bookstein 1996-1997). En estos casos en los que los puntos individuales no son homólogos, la homología está dada por la estructura (las curvas son homólogas entre los especímenes, ver Perez *et al.* 2006). Cabe aquí señalar que debido al requisito de homología, la MG sólo puede comparar estructuras que estén presentes en todos los individuos de la muestra, no pudiendo dar cuenta de la aparición de nuevas estructuras, lo cual constituye una limitación de estos métodos.

Tanto *landmarks* como *semilandmarks* pueden ser empleados conjuntamente en el estudio de la forma de un objeto, aunque el tratamiento que requiere cada uno de ellos es distinto. Los últimos requieren de un paso extra, ya que como su localización entre los *landmarks* es arbitraria (son deficientes en una coordenada) son deslizados iterativamente en la línea tangente a la curva hasta minimizar la diferencia entre las



configuraciones de landmarks en distintos objetos

Figura 1. Eliminación de los efectos de traslación, escala y rotación en las configuraciones de landmarks mediante el análisis generalizado de Procrustes (tomado de Mitteroecker y Gunz 2009; Figura 3 con modificaciones).

configuraciones y la forma media y así lograr alinearlos óptimamente a lo largo del contorno (se optimiza el espaciamento entre los *semilandmarks* a lo largo de la curva en relación con la forma promedio para reducir las variaciones debido al espaciamento arbitrario). Mediante este proceso (denominado *sliding semilandmarks*, ver detalles del procedimiento y de los diferentes algoritmos en Bookstein 1996-1997; Gunz y Mitteroecker 2013; Gunz *et al.* 2005; Perez *et al.* 2006) los *semilandmarks* adquieren una correspondencia geométrica (se convierten en homólogos) y por consiguiente es posible tratarlos en adelante como típicos *landmarks*.

Como mencionamos en un principio, las coordenadas cartesianas de los puntos morfométricos cuantifican la forma (*shape+size*), pero deben ser transformadas para poder discriminar sus dos dimensiones: la forma propiamente dicha y el tamaño. Esto implica la remoción de los efectos de rotación, traslación y escala, lo cual permite obtener coordenadas morfológicas independientes de la posición, orientación y tamaño (Bookstein 1991). Actualmente, el método más utilizado para la remoción de estos efectos y que ha pasado a formar parte del protocolo en la mayoría de los análisis de MG es el análisis generalizado de Procrustes (Rohlf y Slice 1990), el cual es un método de superposición que se basa en el criterio de mínimos cuadrados (ver referencias en Rohlf y Slice 1990). El mismo consta de tres pasos: 1) **trasladar** a un mismo centroide las configuraciones de *landmarks* de todos los individuos, el cual usualmente es el origen del sistema de coordenadas; 2) **escalar** las configuraciones de *landmarks* al mismo tamaño. Así todas las configuraciones se estandarizan a un tamaño centroide (*centroid size*) igual a uno. El tamaño centroide es la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de los *landmarks* al centroide de la forma (Bookstein 1991). En MG se utiliza dicho estimador porque, en ausencia de alometría<sup>4</sup>, no se correlaciona con ninguna variable de forma (Bookstein 1986), y 3) **rotar** las configuraciones de *landmarks* iterativamente hasta lograr que la suma de las distancias al cuadrado entre *landmarks* homólogos sea mínima (Rohlf y Slice 1990; ver también Bookstein 1996-1997; Mitteroecker y Gunz 2009, entre otros. Figura 1).

4. Por alometría nos referimos a las variaciones en la forma propiamente dicha que son dependientes del tamaño (Zelditch *et al.* 2004), como es típico en los procesos de crecimiento en la especie humana (ontogenia) o en la reducción lítica (Shott *et al.* 2007).

Las coordenadas resultado de centrar, escalar y rotar las configuraciones de *landmarks* son denominadas técnicamente “coordenadas de forma de Procrustes”, siendo la forma en este caso sinónimo de *shape*, lo que nosotros denominamos al comienzo del trabajo como “forma propiamente dicha”, ya que estas coordenadas no poseen ninguna información sobre tamaño.

El promedio de las coordenadas de forma de Procrustes (la media de Procrustes) es la forma cuya suma de distancias al cuadrado es mínima con respecto a las otras formas de la muestra y es lo que se denomina forma consenso o de referencia (Bookstein 1996).



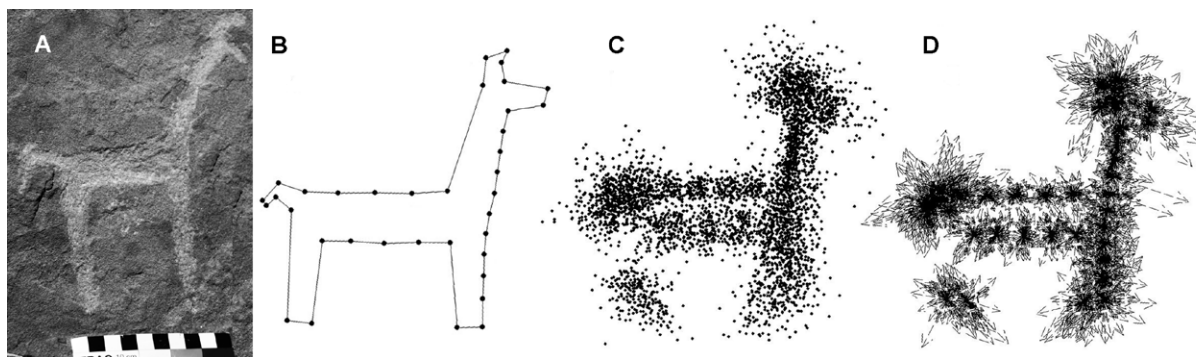


Figura 2. Ejemplo de un camélido grabado de Playa Colanzuli correspondiente al elemento n° 49 (A), forma consenso (B) y variaciones presentes en la muestra: (C) dispersión de puntos que indica las variaciones en la localización de cada uno de los landmarks en las distintas configuraciones (individuos), (D) vectores que indican la dirección e intensidad de los desplazamientos (según su longitud).

La forma consenso es el conjunto de *landmarks* que representa la tendencia central de la muestra estudiada. A partir de la forma consenso se evalúan las variaciones morfológicas de los individuos y es posible representarlas de manera gráfica (Figura 2).

La configuración de coordenadas resultado de estos procedimientos ocurre en un espacio curvado y multidimensional, denominado “espacio de forma de Kendall” (*Kendall shape space*) que tiene tantas dimensiones como número de *landmarks* (Rohlf 1999). El espacio de Kendall para una figura definida por tres *landmarks* (un triángulo) es una esfera. Como dicho espacio no es euclidiano, los análisis estadísticos posteriores requieren proyectar las coordenadas en el espacio lineal tangente al espacio de forma en un punto (Dryden y Mardia 1998). El punto tangente más apropiado es el promedio de las formas bajo estudio (la forma consenso), el cual brinda una buena aproximación al espacio de Kendall (Rohlf 1999), permitiendo que las formas proyectadas en el espacio tangente puedan ser analizadas mediante métodos estadísticos multivariados estándares (Mitteroecker y Gunz 2009). El ajuste de la proyección puede ser evaluado mediante una regresión a través del *tpsSmall* (Rohlf 2004). Este programa permite testear si la variación morfológica entre los especímenes es muy grande y en consecuencia la proyección en el espacio tangente no es adecuada para realizar los análisis estadísticos tradicionales (ver usos del *tpsSmall* en casos de estudio arqueológicos en Buchanan *et al.* 2011, 2014). En general la distancia euclidiana entre las coordenadas de forma de Procrustes es una buena aproximación a la distancia de Procrustes (o distancia parcial de Procrustes, la cual es una distancia geodésica). Dicha distancia es la métrica natural en el espacio de forma de Kendall (Mitteroecker y Gunz 2009; Webster y Sheets 2010).

Las variables de forma transformada (es decir, estandarizando la rotación, traslación y escala) y tamaño (*centroid size*) obtenidas a través de esta metodología pueden ser utilizadas posteriormente como variables dependientes o independientes en diversos análisis estadísticos multivariados o *test* de hipótesis (ver *infra*).

## Protocolo de trabajo con las imágenes

Dado que comúnmente la digitalización de los puntos morfométricos se realiza sobre las imágenes digitales del objeto de estudio, es importante conocer los requerimientos técnicos necesarios para trabajar con dichas imágenes de forma adecuada y cuáles son los pasos implicados.

El primer paso corresponde al relevamiento en el campo de las representaciones ruprestres de forma estandarizada. Para ello se requiere una foto por unidad de análisis. En nuestro

caso de estudio consideramos al elemento (Gradin 1978; Hernández Llosas 1997) como unidad de análisis, pero ésta puede variar de acuerdo con la pregunta bajo estudio.

Para poder estimar el tamaño de las representaciones (*centroid size*) es necesario incluir una escala en cada fotografía (ver Webstern y Sheets 2010; Zelditch *et al.* 2004), para luego escalar la imagen en laboratorio mediante programas específicos diseñados para tal fin, como el tps Digitizing 2 (Rohlf 2013a). En el caso de fotografías sin escala sólo se puede trabajar con la variable forma propiamente dicha, pero en este caso no sería posible evaluar la existencia de alometría, es decir, la dependencia forma-tamaño, por lo cual muchas de las variaciones morfológicas podrían deberse a cambios de tamaño.

Durante la toma de las fotografías es necesario mantener una distancia constante y un ángulo recto para mantener la coplanaridad entre las distintas fotos (Zelditch *et al.* 2004). No debe usarse el zoom ya que introduce cambios en el pixelado de la fotografía que repercuten en la estimación del tamaño de las mismas.

En el laboratorio, las imágenes pueden ser trabajadas a partir de archivos .jpg o .tiff. Cada imagen debe mantener la misma resolución (dpi), orientación e inclinación. En el caso de piezas arqueológicas que pueden ser fotografiadas en el laboratorio es más fácil mantener constante estos requisitos dado que las piezas pueden ser puestas siempre en la misma posición, pero cuando el relevamiento digital debe ser realizado en el campo es necesario luego orientar las figuras de forma estandarizada. En nuestro caso de estudio se decidió como norma orientar las figuras de camélidos con la cabeza hacia la derecha. Las representaciones que no cumplieran con esta norma fueron reflejadas. Asimismo, dado que tampoco se mantiene la inclinación de las mismas, se buscó que al menos alguna de las patas quede en posición horizontal, apoyando virtualmente sobre una línea recta.

Luego de armado el compilado de fotos a ser incluidas en el análisis, el siguiente paso es la digitalización de los puntos morfométricos en cada una de las imágenes. En nuestro caso de estudio, en el cual se incluyeron muestras de distintos sitios arqueológicos de la región que mostraban una gran variabilidad en sus atributos (como pecheras, cargas, rasgos sexuales, etc.), debieron usarse un total de 36 puntos para captar todas las variaciones: 17 *landmarks* fueron usados para indicar los puntos anatómicos y 19 *semilandmarks* para cubrir las superficies intermedias en las cuales se localizan los rasgos antes señalados (principalmente en las zonas del pecho, lomo y panza del animal) y para dar cuenta de las variaciones en orejas y cola que son los rasgos que con más frecuencia varían en la muestra considerada (Figura 3). La selección de la cantidad de puntos morfométricos a utilizar depende de la pregunta a responder, del tipo de comparaciones que se pretenden realizar (*i.e.* de la forma general como un todo o focalizando en algún rasgo en particular) y de la complejidad de la morfología (ver Webstern y Sheets 2010: 166). En estudios exploratorios muchas veces se recomienda una cobertura densa de puntos para capturar la forma en detalle y lograr una efectiva visualización de los cambios morfológicos (sobre todo en el caso de formas curvas, Gunz y Mitteroecker 2013). Sin embargo esto puede resultar desfavorable a la hora de implementar determinados análisis estadísticos multivariados si el número de variables de forma (coordenadas de Procrustes) excede el número de casos (Gunz y Mitteroecker 2013). Idealmente, se requieren dos o tres veces más individuos que variables. Un balance entre ambos factores debe ser considerado en cada caso de estudio en particular. Asimismo, a la hora de decidir los puntos morfométricos a emplear y su cantidad, es importante estimar la repetitividad de los *landmarks* y realizar un ensayo de medida de error.

Mediante los programas de acceso libre tps Utility (ver. 1.40, Rohlf 2008) y tps Digitizing 2 (ver. 2.17, Rohlf 2013a) es posible compilar los archivos de imagen para su estudio y realizar la digitalización de los puntos morfométricos junto con el escalamiento de las imágenes, respectivamente.



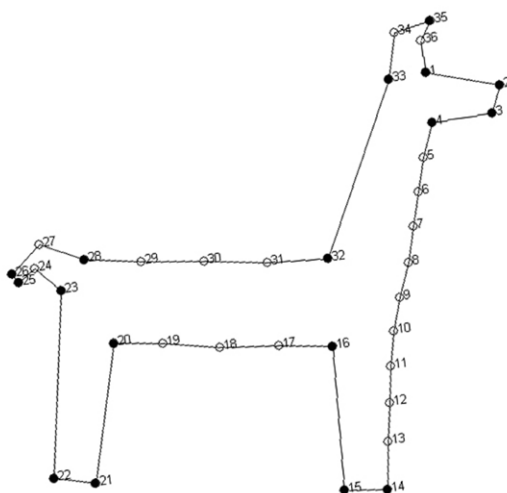


Figura 3. Localización de landmarks (círculos negros) y semilandmarks (círculos blancos) en las representaciones de camélidos analizadas.

## Muestra analizada

Con el objetivo de mostrar las potencialidades de la MG aplicada al arte rupestre, en el presente trabajo se compiló una muestra de 116 fotografías digitales de camélidos de los sitios Playa Colanzuli (n=61), Sapagua (n=27), Media Agua (n=3) y Barrancas (n=25). Dado que nuestra unidad de análisis es el elemento y que la MG requiere de una fotografía por objeto analizado, éstas 116 fotografías representan 116 elementos.

Teniendo en cuenta el objetivo básicamente metodológico de este trabajo, se eligieron sitios de nuestra área de estudio para los cuales contamos con fotografías digitales que cumplieran los requisitos mencionados. Es así que elegimos dos sitios trabajados por nosotras en nuestros proyectos y otros dos del área, si bien fuera de nuestros proyectos de investigación, para los cuales contábamos con fotografías casuales tomadas en visitas esporádicas a dichos sitios. Los criterios de elección de estos sitios fueron, además, los siguientes: a) todos ellos han sido asignados al Holoceno tardío (Fernández Distel 1974, 2001; Hernández Llosas 1997, 1998; Hernández Llosas *et al.* 2013); b) todos contienen representaciones variadas de camélidos y con diferentes técnicas de realización; c) todos están ubicados en nuestra área de interés, en la provincia de Jujuy, tanto en la Puna como en la Quebrada de Humahuaca y corresponden tanto a sitios con pinturas como grabados o grabado-pintados.

Playa Colanzuli se ubica muy cerca del ecotono puneño con las nacientes de quebrada y corresponde a un sitio a cielo abierto multicomponente con grabados rupestres realizados en un afloramiento y en rocas desprendidas del mismo, ubicado en la margen izquierda, sobre la primer terraza del río Colanzuli.

Media Agua se ubica en las nacientes de la Quebrada de Humahuaca, en la margen izquierda de una quebrada tributaria del río Grande en su sector norte, donde aparece una estrecha porción de afloramiento terciario en el cual se conformó un pequeño abrigo que presenta pinturas rupestres. Las mismas, en principio, han sido consideradas como sincrónicas desde el punto de vista arqueológico (unicomponente). Ambos sitios fueron relevados en nuestros proyectos de investigación.

Barrancas se ubica en plena Puna jujeña, sobre el río del mismo nombre, el cual presenta extensos farallones volcánicos. Es sobre estos farallones, tanto a cielo abierto

como dentro de oquedades, que aparece una enorme cantidad de pinturas, grabados y grabados-pintados. Se trata de un sitio multicomponente y muy variado y si bien es objeto de diversos estudios arqueológicos, el relevamiento de su arte rupestre dista de estar completo.

Sapagua se ubica en una quebrada tributaria del río Grande, hacia el final del tramo superior de la Quebrada de Humahuaca y corresponde a un afloramiento con grabados rupestres que, si bien son claramente multicomponentes, parecen corresponder a rangos temporales más acotados que los que presentan Playa Colanzuli y Barrancas. Tanto Barrancas como Sapagua están fuera de nuestros proyectos de investigación.

Nuestro interés en incluir sitios con distinto tipo de manifestaciones rupestres (grabados y pinturas) responde a propósitos comparativos para ejemplificar diversos análisis estadísticos. Como señalamos anteriormente, la muestra utilizada no comprende el total de las representaciones de camélidos presentes en estos sitios, habiéndose utilizado una muestra pequeña, compuesta por las representaciones de las cuales se disponía de fotografías digitales. Por este motivo, los resultados que se presentan probablemente estén sesgados por lo parcial de las muestras consideradas y porque muchas de las fotografías no fueron tomadas de forma estandarizada. En consecuencia, este trabajo debe ser considerado solamente como un ejercicio metodológico y no como un trabajo analítico de las representaciones rupestres de los sitios aquí considerados.

### **Análisis estadísticos multivariados**

A continuación se presentan tres tipos de análisis estadísticos multivariados posibles de realizarse a partir de las coordenadas de forma transformadas (forma propiamente dicha) y del tamaño (*centroid size*) de las representaciones con el objetivo de: 1) describir las principales variaciones morfológicas (análisis de componentes principales), 2) describir y evaluar la existencia de diferencias entre grupos de formas (análisis de variantes canónicas y test de hipótesis paramétricos y no paramétricos) y 3) evaluar la relación forma-tamaño (regresión múltiple).

Los análisis que se presentan a continuación han sido realizados con los programas MorphoJ (ver. 1.06b, Klingenberg 2011 y Viscosi y Cardini 2011 para una explicación detallada de los análisis factibles de realizarse en dicho programa y de los pasos necesarios para su implementación) y Past (ver. 2.13, Hammer *et al.* 2001). Dado que ambos programas sólo trabajan con *landmarks*, fue necesario previamente deslizar y alinear los *semilandmarks* en el tps Relative Warps (ver. 1.53, Rohlf 2013b). Posteriormente las coordenadas alineadas fueron importadas en el MorphoJ y en el Past. Una gran variedad de programas alternativos de acceso gratuito en los cuales numerosos análisis de MG pueden realizarse se encuentra en <http://life.bio.sunysb.edu/morph/> y en los diferentes paquetes de R (como geomorph y Morpho) disponibles en <http://cran.r-project.org/>.

### **Análisis de componentes principales**

El análisis de componentes principales (ACP), también denominado análisis de deformaciones relativas en MG (*“relative warp analysis”*, Bookstein 1991. Ver también Rohlf 1993)<sup>5</sup>, es un método de ordenación que describe las variaciones de los individuos en un conjunto de datos, mostrando las principales tendencias de cambio (Manly 1994). Es un método económico, ya que las variaciones del conjunto se reducen a un número de componentes o índices (variables Z) inferior al de las variables originales (variables X) en base a la covariación entre las mismas<sup>6</sup> (Manly 1994: 76). Dichos componentes (autovectores o *eigenvectors*) son combinaciones lineales de las variables X que covarían y son independientes entre sí (ortogonales). La ausencia de correlación es importante porque significa que los componentes miden diferentes dimensiones en los datos,

5. La equivalencia entre ambos análisis es exacta cuando el parámetro alfa es igual a 0 ( $\alpha=0$ , Bookstein 1991) en el análisis de deformaciones relativas (González-José *com. pers.* 2014)

6. A excepción de los casos en los que la totalidad de las variables no se correlacionan (Manly 1994: 77).

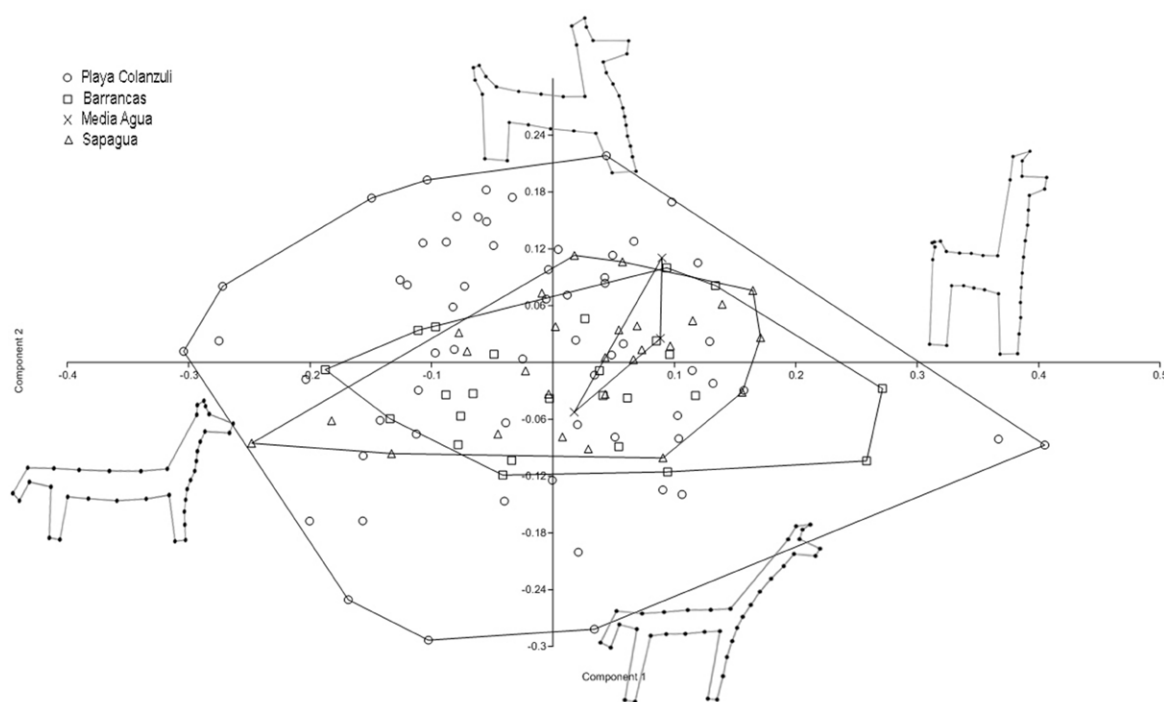


Figura 4. Análisis de componentes principales sobre las coordenadas de forma de Procrustes.

muchas veces subyacentes (Manly 1994: 76). Los componentes están ordenados, dando cuenta de distintos porcentajes de varianza en orden decreciente. En consecuencia, los primeros componentes son los que muestran las variaciones más frecuentes en la muestra. Así, el componente 1 es la dirección en la cual la muestra tiene la mayor varianza (Zelditch *et al.* 2004: 159). La posición de los individuos (casos) en el plano está dada por un puntaje por componente (*component score*) que es el resultado de la combinación lineal de las variables ponderadas por sus respectivos coeficientes. Así, el puntaje para un individuo es esencialmente un promedio ponderado de las variables (Strauss 2010: 76). Estos puntajes pueden ser utilizados posteriormente como variables independientes en otros análisis estadísticos.

En síntesis, el ACP permite explorar los principales ejes de variación morfológica, observar las tendencias de variación entre y dentro de las muestras y reducir la dimensionalidad de los datos. Por otro lado, este análisis, aplicado sobre las coordenadas de forma de Procrustes, permite describir la diversidad de formas en una muestra, identificando las principales variaciones morfológicas (Zelditch *et al.* 2004, Figura 4). Las variaciones de los individuos son evaluadas a partir de la forma consenso (que corresponde a la intersección de los ejes en la Figura 4), que representa la tendencia central de la muestra (Bookstein 1996). En la Figura 3 se puede observar la forma media y sus variaciones en la muestra estudiada.

Para realizar el ACP se utilizó la matriz de covarianza de las coordenadas de Procrustes de los 116 elementos de los cuatro sitios considerados. Como las coordenadas de forma están medidas en la misma unidad, en MG siempre se utiliza la matriz de covarianza para efectuar los análisis estadísticos (Mitteroecker y Gunz 2009). Los dos primeros componentes explican un 53.6% de la varianza total y muestran las principales variaciones en las representaciones de camélidos, las cuales se encuentran principalmente en el largo y ancho relativo del tronco, la inclinación y largo relativo del cuello y de las patas, la forma de las orejas y la cola y la presencia de pecheras. El componente 1 resume el 31,6% de las variaciones. Los puntajes positivos dan cuenta de figuras de

tronco corto, cuello largo y recto, patas rectas, cola corta hacia arriba y orejas flexadas hacia adelante. Por el contrario, en los puntajes negativos se observan camélidos de tronco más fino y largo, con el cuello levemente inclinado hacia adelante, patas más cortas que divergen levemente del tronco, cola más larga flexada hacia abajo, orejas rectas y la presencia de pecheras. El eje 2 explica un 22% de las variaciones, que se encuentran principalmente en figuras de cuello corto, levemente inclinado hacia atrás, cola hacia arriba (más larga que en los puntajes positivos del componente 1), orejas levemente flexadas hacia adelante y pecheras en el extremo positivo, y representaciones de cuerpo delgado y largo (tronco, cuello y patas con estas características), con ambas patas levemente inclinadas hacia atrás, el cuello con una inclinación de mayor grado hacia adelante, cola larga hacia abajo y orejas flexadas hacia adelante, en el extremo negativo. En el gráfico, las figuras de camélidos ubicadas al final de los ejes muestran las variaciones de forma representadas por los puntajes más extremos. En el espacio intermedio se encuentran variaciones graduales en los rasgos señalados.

De acuerdo a la dispersión de los puntos en el espacio, que representan a los elementos de los diferentes sitios, se observa que Playa Colanzuli es el conjunto que presenta la mayor dispersión, es decir, la mayor diversidad de formas, representando los extremos en ambos ejes. Posiblemente esta tendencia se encuentre relacionada con el mayor tamaño de la muestra, pero también con variaciones temporales en la ejecución de los grabados producto de un uso prolongado del sitio, lo cual será evaluado en detalle en futuros análisis.

Si bien no se observan agrupaciones discretas de los diferentes sitios (aunque el objetivo del ACP no es ese)<sup>7</sup>, existen ciertos límites en la dispersión de los elementos por sitio (ver polígonos en Figura 4), lo cual marca diferencias en el rango de variación de las formas en los diferentes conjuntos. Mientras Barrancas y Sapagua muestran mayores variaciones a lo largo del eje 1 (correspondientes a las formas antes descritas), Media Agua lo hace en el sentido del eje 2 (aunque el tamaño de la muestra es muy pequeño). Playa Colanzuli muestra una gran diversidad de formas a lo largo de ambos ejes y es el sitio que presenta las mayores desviaciones con respecto a la media (forma consenso).

En general se observa mucha variabilidad en las formas en comparación con los resultados obtenidos de la aplicación de este análisis a otros tipos de evidencia, como las puntas de proyectil líticas (Cardillo y Charlin 2014; Charlin *et al.* 2013, 2014; Charlin y González-José 2012; De Azevedo *et al.* 2014; González-José y Charlin 2012, entre otros). Mientras en el presente análisis los dos primeros componentes solo alcanzan a representar aproximadamente la mitad de las variaciones presentes en la muestra, en los casos de ACP sobre coordenadas de forma de puntas de proyectil líticas, en general los componentes 1 y 2 representan un 80% o más de las variaciones, lo cual se encuentra relacionado con la mayor estandarización de los diseños en este tipo de artefactos en comparación con las representaciones rupestres. En el presente caso de estudio se necesitan cinco componentes para alcanzar un 77,6% y 10 componentes para lograr un 91,6%.

### **Análisis de variantes canónicas**

El ACP es una técnica cuyo fin es describir los ejes de máxima variación, focalizándose en las variaciones de los individuos. Por su parte, el análisis de variantes canónicas (AVC), si bien es muy semejante al ACP en sus procedimientos, centra su descripción en las diferencias entre grupos (Zelditch *et al.* 2004). Por este motivo requiere que los individuos estén clasificados *a priori* en grupos mutuamente excluyentes. El AVC es un análisis discriminante multigrupo (para más de dos muestras), cuyo fin es determinar si los grupos previamente establecidos (en base a variables extrínsecas al análisis) difieren entre sí y en qué forma (Strauss 2010).

7. El ACP es un análisis diseñado para un solo grupo (*single-group procedure*), por consiguiente no garantiza encontrar diferencias entre grupos aunque estas existan (Strauss 2010: 75), dado que no toma en consideración la estructura de grupo. El procedimiento asume que los datos representan una muestra homogénea de una población, aunque dicha estructura de los datos no es necesaria para el cálculo (Strauss 2010: 76).

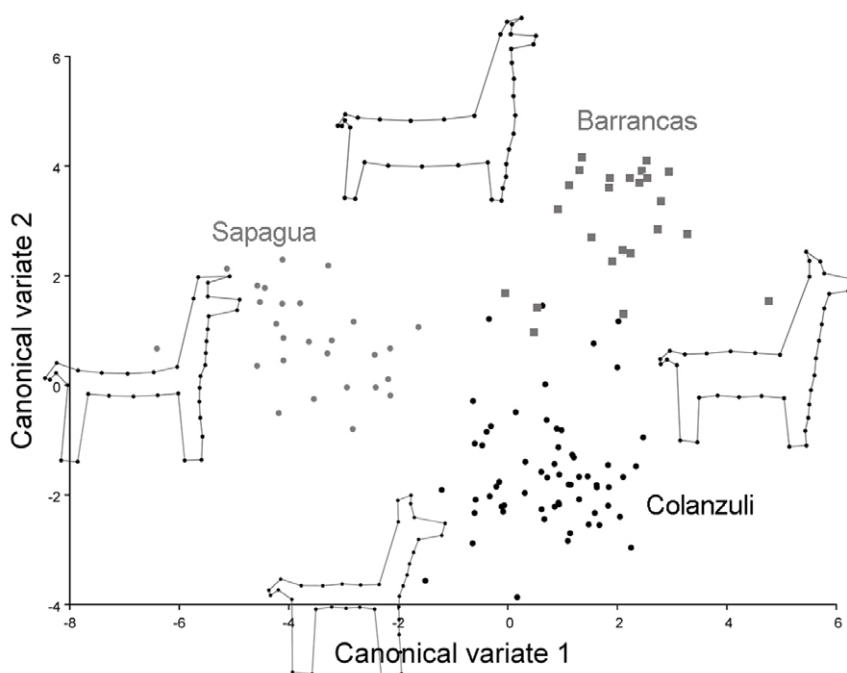


Figura 5. Análisis de variantes canónicas según sitio arqueológico.

Del mismo modo que el ACP, el AVC construye un nuevo sistema de coordenadas, las variantes canónicas, que al igual que los componentes principales son combinaciones lineales de las variables originales y mutuamente independientes. Sin embargo, mientras el ACP se usa para describir las diferencias entre individuos, el AVC es utilizado para describir las diferencias entre las medias de grupo en base a la matriz de covarianza entre grupos (ver problemas asociados con la inversión de la matriz de covarianza intra-grupal en Mitteroecker y Gunz 2009). El AVC busca los ejes que optimizan las diferencias entre grupos en relación con la varianza interna al grupo. Así, la variante canónica 1 es la dirección en la cual los grupos se discriminan de forma más efectiva.

Con el objetivo de identificar diferencias en las representaciones de camélidos entre los sitios se realizó un AVC (Figura 5), siendo los sitios la variable de grupo. En este análisis se excluyó Media Agua por el tamaño pequeño de la muestra, quedando conformada la muestra total por 113 casos<sup>8</sup>. La variante canónica 1 explica el 55.5% de las variaciones entre grupos. En la Figura 5 pueden observarse las formas más frecuentes en cada uno de los sitios de acuerdo con su distribución en el plano.

Mediante diferentes métodos multivariados y *test* de hipótesis como el análisis de la varianza multivariado (MANOVA) y el *test* T<sup>2</sup> de Hotelling es posible evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en la forma entre grupos (Adams *et al.* 2013; ver inconvenientes relacionados con los grados de libertad en Webstern y Sheets 2010). El MANOVA mide la distancia entre las medias multivariadas de cada grupo (centroides) con respecto al promedio de variación entre grupos, ponderada por el tamaño de la muestra de cada uno de ellos (Strauss 2010: 84). La hipótesis nula de dicho *test* sostiene que los diferentes grupos tienen la misma media multivariada. El MANOVA arrojó valores significativos (lambda de Wilk=0.517, F=43.6, p<0.0001). Aquí es importante señalar el valor del estadístico lambda de Wilk, ya que es una medida de la proporción de la varianza total que no se encuentra relacionada con el agrupamiento de los individuos (es decir, con la variable de grupo). Si dicho valor es pequeño, entonces una gran proporción de las variaciones está relacionada con los

8. Se recomienda que el número de individuos que componen la muestra total sea al menos cinco veces más grande que el número de variables para obtener una solución estable, es decir, que no varíe demasiado si se incluye un nuevo conjunto de muestras de la misma población (Strauss 2010: 80). Por este motivo, muchas veces es problemático realizar un AVC en MG (Mitteroecker y Gunz 2009). Debido al problema asociado con el tamaño muestral es que realizamos el AVC de Playa Colanzuli utilizando solamente los tres primeros componentes principales de forma.



A: distancia de Mahalanobis			B: distancia de Procrustes		
Grupos/sitios	Barrancas	Colanzuli	Grupos/sitios	Barrancas	Colanzuli
Colanzuli	<.0001 (4,72)		Colanzuli	<.0001 (0,11)	
Sapagua	<.0001 (6,02)	<.0001 (4,95)	Sapagua	0,0050 (0,09)	0,040 (0,07)

Tabla 1. Valores *p* a partir de test de permutación (1000 rondas) en base a la distancia de Mahalanobis y de Procrustes (valores de distancia entre paréntesis) entre grupos (sitios).

grupos, lo cual sugiere que los grupos tienen diferencias en sus valores medios para una o más variables (Strauss 2010: 84). En nuestro caso de estudio, aproximadamente la mitad de las variaciones están relacionadas con las diferencias entre grupos, en tanto que el otro *ca.* 50% no depende de ello. La comparación *post-hoc* de a pares mediante el test  $T^2$  de Hotelling muestra diferencias significativas entre los tres sitios ( $p < 0.0001$  en todos los casos). Ambos análisis fueron realizados en el Past.

Por otro lado, la diferencia estadística entre los grupos puede ser evaluada mediante un test no paramétrico como la permutación, el cual no requiere de una distribución normal multivariada. El MorphoJ realiza dicho test en base a la distancia de Mahalanobis y de Procrustes (ambas indican la similitud o diferencia entre las formas, pero miden las distancias de diferente modo). La primera mide la distancia entre puntos tomando en consideración la varianza y la correlación de las variables, otorgando así mayor peso a las diferencias en las direcciones en las que hay menos variación dentro de los grupos con respecto a las que son más variables (Slice *et al.* 2009). Por su parte, la distancia de Procrustes es la distancia euclidiana entre dos conjuntos de coordenadas de forma de Procrustes (esto es, la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de las coordenadas al cuadrado) (Mitteroecker y Gunz 2009). Considerando un nivel de significación de 0,05 ambas distancias han arrojado diferencias significativas (en base a 1000 permutaciones) entre los tres sitios (Tabla 1).

### Regresión múltiple

Como señalamos anteriormente, en casos de alometría la forma varía en respuesta a los cambios en el tamaño (Zelditch *et al.* 2004: 56). En consecuencia, nos interesa conocer cómo es la relación entre ambas variables para evaluar correctamente las causas de los cambios morfológicos. Así, la existencia de alometría puede ser puesta a prueba a través de un análisis de regresión múltiple, considerando al tamaño (estimado mediante el centroid size) como variable predictora y a la forma como variable dependiente (coordenadas de forma alineadas). La hipótesis nula sostiene que no hay covarianza entre tamaño y forma, es decir que ambas variables son independientes (Zelditch *et al.* 2004: 58).

Para realizar este análisis se utilizó una muestra de 27 elementos del mismo tipo de diseño procedentes de Playa Colanzuli, correspondientes la mayoría de ellos a individuos con puntaje negativo en el componente principal 2. Estos elementos parecían mostrar algunas variaciones en su forma en relación con distintos tamaños. Para este análisis el *centroid size* fue transformado a logaritmo con el objetivo de linearizar la relación entre ambas variables y mejorar sus propiedades estadísticas (Strauss 2010; Zelditch *et al.* 2004). La regresión arrojó resultados significativos ( $p = 0.007$ , a partir de 1000 permutaciones) mostrando la existencia de alometría, es decir la dependencia de la forma en relación con el tamaño (Figura 7). Sin embargo, la incidencia de los cambios en tamaño sobre las variaciones de forma es pequeña, ya que solamente un 13% de estos últimos son predichos por el tamaño (suma total de cuadrados = 0.665, suma de cuadrados predicha = 0.086). El 87% de las variaciones morfológicas no son explicadas por el tamaño y constituyen los residuos de la regresión (suma de cuadrados

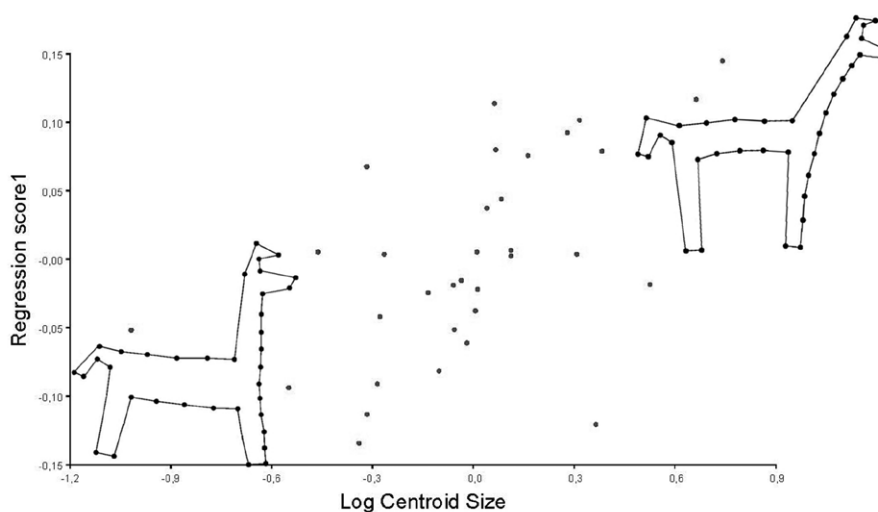


Figura 6. Regresión tamaño-forma en Playa Colanzuli.

residual=0.578). Los residuos son las variaciones de forma que no dependen de la variable explicativa (tamaño), por lo cual pueden ser utilizados en análisis subsiguientes como una variable de forma libre de toda incidencia del tamaño en sus variaciones (ver Charlin y González-José 2012). Por ejemplo, discriminar grupos de formas en base a variables morfológicas “size-free” es altamente recomendado, ya que si las variaciones en el tamaño entre muestras (grupos) no son controladas, pueden conducir a resultados espúreos (Strauss 2010: 82).

Las representaciones de camélidos que se observan en la Figura 6 muestran los cambios en la forma cuando se incrementan los valores de tamaño.

## Discusión y conclusiones

Las representaciones rupestres son un fenómeno gráfico principalmente bi-dimensional (a excepción de determinados casos de grabados profundos), por lo cual las técnicas de MG en 2D pueden ser implementadas apropiadamente como una herramienta de análisis cuantitativo de las formas.

La descripción de las formas a través de variables nominales (cualitativas), como es común en los estudios de arte rupestre, presenta varias desventajas, tales como la introducción de sesgos en la clasificación dependientes de la variabilidad interobservador, la reducción a categorías discretas de la variabilidad continua del fenómeno, la escasez de análisis estadísticos que permite, entre otras. Estos mismos problemas han sido señalados para las clasificaciones tipológicas de los artefactos líticos (Dunnell 1986; Hayden 1984, 1998 [1977]; Hiscock 2007; Hiscock y Attenbrow 2002, 2005; Lyman *et al.* 1997, entre otros).

A través de las nuevas aproximaciones analíticas aquí propuestas se enfatiza la variación de los individuos (en este caso elementos) dentro del total de la población, entendiendo la variación morfológica como un *continuum* más que como discontinuidades entre tipos (Hiscock 2007). Así, los métodos de MG basados en *landmarks* resultan particularmente apropiados para el estudio de representaciones rupestres con rasgos anatómicos discernibles, como camélidos y antropomorfos, entre otros motivos figurativos, o para motivos abstractos de marcado geometrismo. Por otro lado, los

análisis de contornos podrían ser útiles para el análisis de motivos irregulares, en los cuales es difícil identificar puntos homólogos, o formas geométricas muy uniformes, principalmente curvilíneas.

A partir de los análisis propuestos es posible responder preguntas de importancia tales como: ¿cuál es la forma promedio que caracteriza a una población en tiempo y espacio? ¿Cuáles son las variaciones alrededor de esta forma promedio (variabilidad intra-poblacional)? ¿Difieren las formas en tiempo y espacio, por técnica de manufactura, según el soporte, etc.? ¿En cuáles aspectos?

Cabe destacar que el factor más importante de los análisis de MG, además de tratar a la forma como una variable continua (lo cual favorece su análisis estadístico), radica en que la información geométrica de las formas es retenida durante todo el proceso de análisis. Esto facilita una inspección gráfica de las variaciones de gran utilidad para la comprensión de los cambios morfológicos.

Los análisis que aquí se presentaron sólo intentaron ser una muestra de las potencialidades del método para ser aplicado al estudio del arte rupestre y no fueron guiados por ninguna pregunta de investigación específica. Por este motivo el número de puntos morfométricos usados fue grande, en un intento por cubrir todas las variaciones presentes en una amplia variedad de figuras de cámelidos con diferentes rasgos (pecheras, falos, cargas), procedentes de distintos sitios y con un rango temporal amplio. En análisis específicos, con una pregunta dirigida, o en comparaciones orientadas a un solo tipo de diseño o rasgo en particular, el número de *landmarks* se puede reducir notablemente, lo cual favorecería el ajuste de varios métodos estadísticos.

Aquí mostramos sólo algunos análisis factibles de aplicación, pero muchos otros quedan por ser explorados. Por ejemplo pueden ser testeadas diferentes hipótesis relacionadas con el diseño de los motivos rupestres, tales como la existencia de modularidad en la configuración de los motivos, esto es de módulos de forma independientes que muestran una baja covariación, o por el contrario la existencia de integración morfológica (Klingenberg 2008, 2009). Por otro lado el estudio del grado de complejidad de distintas representaciones podría ser abordado mediante análisis de la dimensión fractal D (Slice 1993). La simetría-asimetría de los motivos es otro tema en la agenda (Klingenberg *et al.* 2002; Savriama y Klingenberg 2011). Asimismo, sería importante comenzar a explorar la aplicación de los análisis de contornos y evaluar cuál de los métodos de MG resulta más apropiado para el estudio de diferentes tipos de motivos. Finalmente, la combinación de MG y cladística tiene un gran potencial para la exploración de los patrones de evolución de las representaciones (ver aplicaciones de cladística al estudio del arte rupestre en Scheinshon y Szumik 2007; Scheinshon *et al.* 2009, 2015). Todos estos análisis conforman un conjunto de herramientas que consideramos de suma utilidad para el estudio cuantitativo del arte rupestre. Esperamos que este trabajo haya servido de introducción y estímulo para su implementación en los análisis arqueológicos.

## Agradecimientos

Una versión previa de este trabajo ha sido presentada en el Primer Congreso Nacional de Arte Rupestre, realizado en Rosario del 10 al 12 de septiembre del 2014. En el presente análisis el número de puntos morfométricos ha sido reducido. Agradecemos a Rolando González-José, quien nos brinda su constante asesoramiento en MG y a Marcelo Cardillo por el mismo motivo. También nuestros agradecimientos van dirigidos al Dr. Luis A. Bosio, cuya colaboración fue sustancial en el relevamiento fotográfico digital en el campo.

## Bibliografía

- » ACKERMANN, R. (2002) Patterns of covariation in the hominoid craniofacial skeleton: implications for paleoanthropological models. *Journal of Human Evolution* 42: 167-187.
- » ADAMS, D., F. J. ROHLF y D. SLICE (2013). A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21th century. *Hytrix, the Italian Journal of Mammalogy* 24(1): 7-14.
- » ASCHERO, C. (1988). Pinturas rupestres, actividades y recursos naturales: un encuadre arqueológico. En *Arqueología Contemporánea Argentina, Actualidad y Perspectivas*, editado por H. Yacobaccio, pp. 109-145. Ediciones Búsqueda, Buenos Aires.
- » BASILE, M. (2012). Imágenes, recursos visuales y soportes: un recorrido por las manifestaciones rupestres de la región de Fiambalá (Catamarca). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* 37(2): 413-434.
- » BASILE, M. y N. RATTO (2011). Colores y surcos. Una propuesta metodológica para el análisis de las representaciones plásticas de la región de Fiambalá (Tinogasta, Catamarca, Argentina). *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino* 16(2): 75-88.
- » BASTIR, M., A. ROSAS y H. D. SHEETS (2005). The morphological intergration of the hominoid skull: a partial least squares and PC analysis with implications for European Middle Pleistocene mandibular variation. En *Modern morphometrics in physical anthropology*, editado por D. Slice, pp. 265-284. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- » BOOKSTEIN, F. (1982). Foundation of Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 451-470.
- » BOOKSTEIN, F. (1986). Size and shape spaces for landmark data in two dimensions: comment. *Statistical Science* 1: 238-242.
- » BOOKSTEIN, F. (1990). Introduction and overview: geometry and biology. En *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*, editado por J. Rohlf y F. Bookstein, pp. 61-74. Special Publication N° 2, The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor.
- » BOOKSTEIN, F. (1991). *Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology*. Cambridge University Press, New York.
- » BOOKSTEIN, F. (1993). A brief history of the morphometric synthesis. En *Contributions to morphometrics*, editado por L. Marcus, E. Bello y A. García-Valdecasas, pp. 15-37. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- » BOOKSTEIN, F. (1996). Combining the tools of geometric morphometrics. En *Advances in Morphometrics*, editado por L. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor y D. Slice, pp. 131-151. Plenum Press, New York.
- » BOOKSTEIN, F. (1996-1997). Landmarks methods for form without landmarks: Morphometrics of group differences in outline shape. *Medical Image analysis* 1(3): 225-243.
- » BOREL, A., C. GAILLARD, M.H. MONCEL, R. SALA, E. POUYDEBAT, T. SIMANJUNTAK y F. SÉMAH (2013). How to interpret informal flakes assemblages? Integrating morphological description, usewear and morphometric analysis gave better understanding of the behaviors of anatomically modern human from Song Terus (Indonesia). *Journal of Anthropological Archaeology* 32: 630-646.
- » BUCHANAN, B. y M. COLLARD (2010). A geometric morphometric-based assessment of blade shape differences among Paleoindian projectile point types from western North America. *Journal of Archaeological Science* 37: 350-359.

- » BUCHANAN, B., M. COLLARD, M. HAMILTON y M. O'BRIEN (2011). Points and prey: a quantitative test of the hypothesis that prey sizes influences early Paleoindian projectile point form. *Journal of Archaeological Science* 38: 852-864.
- » BUCHANAN, B., M. O'BRIEN y M. COLLARD (2014). Continent-wide or region-specific? A geometric morphometrics-based assessment of variation in Clovis point shape. *Journal of Archaeological Science* 6: 145-162.
- » BUCHANAN, B., M. O'BRIEN, J. KILBY, B. HUCKELL y M. COLLARD (2012). An Assessment of the Impact of Hafting on Paleoindian Point Variability. *PLoS ONE* 7(5): e36364.
- » CARDEN, N. (2004). Valga la redundancia. Arte rupestre e información en el Macizo del Deseado. En *Contra viento y marea. Arqueología de Patagonia*, compilado por T. Civalero, P. Fernández y G. Guraieb, pp. 613-624. Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano y Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires.
- » CARDILLO, M. (2009). Temporal trends in the morphometric variation of the lithic projectile points during the middle Holocene of southern Andes (Puna region)- A coevolutionary approach. En *Theoretical and methodological issues in Evolutionary Archaeology*, editado por H. J. Muscio y G. López, pp. 13-20. BAR International Series 1915, Oxford.
- » CARDILLO, M. (2010). Some applications of Geometric Morphometrics to Archaeology. En *Morphometrics for nonmorphometricians*, editado por A. Elewa, pp. 325-355. Springer, Verlag- Berlin- Heidelberg.
- » CARDILLO, M. y J. CHARLIN (2009). Tendencias observadas en la variabilidad de los raspadores de norte y sur de Patagonia. Explorando las interrelaciones entre forma, tamaño e historia de vida. En *Arqueometría Latinoamericana: Segundo Congreso Argentino y Primero Latinoamericano*, editado por O. Palacios, C. Vázquez, T. Palacios y E. Cabanillas, vol. 2, pp. 351-359. Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires.
- » CARDILLO, M. y J. CHARLIN (2014). Morphological Diversification of Stemmed Projectile Points of Patagonia (Southernmost South America). Assessing Spatial Patterns by Means of Phylogenies and Comparative Methods. En *Multidisciplinary Approaches to the Study of Stone Age Weaponry*, editado por E. Delson y E. Sargis. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Book Series, Springer. En prensa.
- » CARDILLO, M., J. CHARLIN y K. BORRAZZO (2010). Una exploración de la variación métrica y morfológica en instrumentos de filo largo en Patagonia meridional. En *La Arqueometría en Argentina y Latinoamérica*, editado por S. Bertolino, G. R. Cattáneo y A. Izeta, pp. 147-152. Editorial de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- » CASTIÑEIRA, C., M. CARDILLO, J. CHARLIN y J. BAEZA (2011). Análisis de morfometría geométrica en puntas Cola de Pescado del Uruguay. *Latin American Antiquity* 22(3): 335-358.
- » CHARLIN, J., K. BORRAZZO y M. CARDILLO (2013). Exploring size and shape variations in late Holocene projectile points from Northern and Southern coasts of Magellan Strait (South America). En *Understanding Landscapes, from Land Discovery to their Spatial Organization / Le franchissement des détroits et des bras de mer aux périodes pré-et protohistoriques*, editado por F. Djinnian y S. Robert, pp. 39-50. British Archaeological Reports, International Series 2541, Oxford.
- » CHARLIN, J. y L. BORRERO (2012). Rock Art, Inherited Landscapes and Human Populations in Southern Patagonia. En *A Companion to Rock Art*, part IV, editado por J. McDonald y P. Veth, pp. 381-398. Wiley-Blackwell.
- » CHARLIN, J., M. CARDILLO y K. BORRAZZO (2010). Variaciones morfométricas y grupos tipológicos: el caso de los cuchillos y las raederas de Fuego-Patagonia (Argentina). En *Arqueología Argentina en el Bicentenario de la Revolución de Mayo*, editado por J. R. Bárcena y H. Chiavazza, vol. I, cap. 1, pp. 79-84. Universidad Nacional de Cuyo, INCIHUSACONICET y ANPCyT, Mendoza, Argentina.



- » CHARLIN, J., M. CARDILLO y K. BORRAZZO (2014). Spatial Patterns in Late Holocene Lithic Projectile Point Technology of Tierra del Fuego (Southern South America): Assessing Size and Shape Changes. *World Archaeology* 46(1): 78-100.
- » CHARLIN, J. y R. GONZÁLEZ-JOSÉ (2012). Size and shape variation in Late Holocene projectile points of southern Patagonia. A geometric morphometric study. *American Antiquity* 77(2): 221-242.
- » CRAMPTON, J. (1995). Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: Some practical considerations. *Lethaia* 28: 179-186.
- » DE AZEVEDO, S., J. CHARLIN y R. GONZÁLEZ-JOSÉ (2014). Identifying design and reduction effects on lithic projectile point shapes. *Journal of Archaeological Science* 41: 297-307.
- » DOMJANIC, J., M. FIEDER, H. SEIDLER y P. MITTEROECKER (2013). Geometric morphometric footprint analysis of young women. *Journal of Foot and Ankle Research* 6: 27.
- » DRYDEN I.L. y K.V. MARDIA (1998). *Statistical shape analysis*. John Wiley & Sons, Chichester.
- » DUNNELL, R. (1986). Methodological issues in americanist artifact classification. *Advances in Archaeological Method and Theory* 9: 149-207.
- » FERNÁNDEZ DISTEL, A. (1974). Petroglifos de Sapagua. *Jujuy Cultural* 1(1): 17.
- » FERNÁNDEZ DISTEL, A. (2001). *Catálogo del arte rupestre de Jujuy y su región*. Dunken, Buenos Aires.
- » FERSON, S, F. J. ROHLF y R. K. KOEHN (1985). Measuring shape variation among two-dimensional outlines. *Systematic Zoology* 34: 59-68.
- » GERO, J. y J. MAZZULLO (1984). Analysis of artifact shape using Fourier series in closed form. *Journal of Field Archaeology* 11(3): 315-322.
- » GONZÁLEZ-JOSÉ, R., M. C. BORTOLINI, F. RODRIGUES DOS SANTOS y S. BONNATO (2008). The peopling of América: Craniofacial shape variation on a continental scale and its interpretation from an interdisciplinary view. *American Journal of Physical Anthropology* 137: 175-187.
- » GONZÁLEZ-JOSÉ, R. y J. CHARLIN (2012). Relative importance of modularity and other morphological attributes on different types of lithic point weapons: assessing functional variations. *PLoS ONE* 7(10): e48009.
- » GONZÁLEZ-JOSÉ, R., A. GONZÁLEZ-MARTÍN, M. HERNÁNDEZ, H. PUCCIARELLI, M. SARDI, A. ROSALES y S. VAN DER MOLEN (2003). Craniometric evidence for Palaeoamerican survival in Baja California. *Nature* 425: 62-65.
- » GONZÁLEZ-JOSÉ, R., N. MARTÍNEZ-ABADÍAS, A. GONZÁLEZ-MARTÍN, J. BAUTISTA-MARTÍNEZ, J. GÓMEZ-VALDÉS, M. QUINTO y M. HERNÁNDEZ (2007). Detection of a population replacement at the Classic-Postclassic transition in Mexico. *Proceedings of the Royal Society (series B)* 274: 681-688.
- » GRADIN, C. (1978). Algunos aspectos del análisis de las manifestaciones rupestres. *Revista del Museo Provincial* 1(1): 120-133.
- » GUNZ, P. y P. MITTEROECKER (2013). Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 24(1): 103-106.
- » GUNZ, P., P. MITTEROECKER y F. BOOKSTEIN (2005). Semilandmarks in three dimensions. En *Modern morphometrics in Physical Anthropology*, editado por D. Slice, pp. 73-98. Universidad de Chicago, Chicago.
- » HAMMER, Ø., HARPER, D. y P. RYAN (2001). PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4(1): 9.

- » HAYDEN, B. (1984). Are emic types relevant to Archaeology? *Ethnohistory* 31(2): 79-92.
- » HAYDEN, B. (1998 [1977]). Stone tool functions in the Western Desert. En *Archaeology of Aboriginal Australia: A reader*, editado por T. Murray, pp. 266-284. Unwin and Allen, Sydney.
- » HERNÁNDEZ LLOSAS, M.I. (1985). Diseño de Investigación para Investigaciones Rupes- tres. En *PROINDARA*, pp. 9-65. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Buenos Aires.
- » HERNÁNDEZ LLOSAS, M.I. (1997). El arte rupestre en la Arqueología Argentina: pasado, presente y futuro. *Revista de Antropología y Arqueología*. <http://www.naya.org.ar/> (Acce- so: 30 de octubre de 2014).
- » HERNÁNDEZ LLOSAS, M.I. (1998). *Pintoscañoc: Arqueología de quebradas altas en Huma- huaca*. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. Ms.
- » HERNÁNDEZ LLOSAS, M.I., J. LEONI, G. FABRON y J. CHARLIN (2013). *Informe del rele- vamiento preliminar del sitio Playa Colanzuli (Depto Cochino)*. Informe presentado a la Dirección de Patrimonio de la Prov. de Jujuy. Ms.
- » HISCOCK, P. (2007). Looking the other way. A materialist/technological approach to classifying tools and implements, cores and retouched flakes. En *Tools versus Cores? Al- ternative approaches to Stone Tool Analysis*, editado por S. McPherron, pp. 198-222. Cam- bridge Scholars Publishing, Newcastle.
- » HISCOCK, P. y V. ATTENBROW (2002). Morphological and reduction continuums in Eastern Australia: Measurement and implications at Capertee 3. *Tempus* 7: 167-174.
- » HISCOCK, P. y V. ATTENBROW (2005). Reduction continuums and tool use. En *Lithics 'Down Under': Recent Australian Approaches to Lithic Reduction, Use and Classification*, edi- tado por Clarkson, C. y L. Lamb, pp. 43-55. British Archaeological Reports International Monograph Series, Oxford.
- » IOVIT, R. (2009). Ontogenetic scaling and lithic systematics: method and application. *Journal of Archaeological Science* 36: 1447-1457.
- » IOVIT, R. (2010). Comparing stone tool resharpening trajectories with the aid of Elliptical Fourier Analysis. En *New Perspectives on Old Stones: Analytical Approaches to Palaeolithic Technologies*, editado por S. J. Lycett y P. R. Chauhan, pp. 235-253. Springer, Nueva York.
- » IOVITA, R. (2011). Shape Variation in Aterian Tanged Tools and the Origins of Pro- jectile Technology: A Morphometric Perspective on Stone Tool Function. *PLoS ONE* 6(12):e29029.
- » IOVITA, R. y S. MCPHERRON (2011). The handaxe reloaded: A morphometric reassessment of Acheulian and Middle Paleolithic handaxes. *Journal of Human Evolution* 61: 61-74.
- » KLINGENBERG, C. (2008). Morphological integration and developmental modularity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 39: 115-132.
- » KLINGENBERG, C. (2009). Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: Tools for evaluating a-priori hypotheses. *Evolution & Development* 11: 405-421.
- » KLINGENBERG, C. (2011). MORPHOJ: an integrated software package for geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11: 353-357.
- » KLINGENBERG, C., M. BARLUENGA y A. MEYER (2002). Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution* 56(10): 1909-1920.
- » KUHL F. y C. GIARDINA (1982). Elliptical Fourier features of a closed contour. *Computer graphics and image processes* 18: 236-258.

- » LAWING, A. y P. POLLY (2009). Geometric morphometrics: Recent applications to the study of evolution and development. *Journal of Zoology* 280: 1-7.
- » LESTREL, P. (1989). Method for analyzing complex two-dimensional forms: Elliptical Fourier Functions. *American Journal of Human Biology* 1: 149-164.
- » LESTREL, P., W. KIMBEL, F. PRIOR y M. FLEISSMANN (1977). Size and shape of the hominoid distal femur: Fourier analysis. *American Journal of Physical Anthropology* 46(2): 281-290.
- » LYCETT, S. J., N. VON CRAMON-TAUBADEL y J.A. GOWLETT (2010). A comparative 3D geometric morphometric analysis of Victoria West cores: Implications for the origins of Levallois technology. *Journal of Archaeological Science* 37: 1110-1117.
- » LYMAN, E., M. O'BRIEN y R. DUNNELL (1997). *The rise and fall of culture history*. Plenum press, New York.
- » MANLY, B. (1994). *Multivariate statistical methods: A primer*. Chapman & Hall/CRC, Londres
- » MARCUS, L. (1990). Traditional Morphometrics. En *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*, editado por J. Rohlf y F. Bookstein, pp. 77-122. Special Publication Nº 2, The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor.
- » MARCUS, L., E. BELLO y A. GARCIA-VALDECASAS (EDS.) (1993). *Contributions to Morphometrics*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- » MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., R. GONZÁLEZ-JOSÉ, A. GONZÁLEZ-MARTÍN, S. VAN DER MOLEN, A. TALAVERA, P. HERNÁNDEZ y M. HERNÁNDEZ (2006). Phenotypic Evolution of Human Craniofacial Morphology After Admixture: A Geometric Morphometrics Approach. *American Journal of Physical Anthropology* 129: 387-398
- » MITTEROECKER, P. y F. BOOKSTEIN (2008). The evolutionary role of modularity and integration in the hominoid cranium. *Evolution* 62(4): 943-958.
- » MITTEROECKER, P. y P. GUNZ (2009). Advances in Geometric Morphometrics. *Evolutionary Biology* 36: 235-247.
- » PEREZ, S.I. (2003). Morfometría de poblaciones humanas prehistóricas: Una comparación de técnicas Tradicionales y Geométricas. *Intersecciones en Antropología* 4: 121-129.
- » PEREZ S.I., V. BERNAL y P. GONZÁLEZ (2006). Differences between methods to sliding semi-landmarks: Its importance in human population analyses. *Journal of Anatomy* 208(6): 769-784.
- » PEREZ, S.I., V. BERNAL, P. GONZALEZ, M. SARDI y G. POLITIS (2009a). Discrepancy between Cranial and DNA Data of Early Americans: Implications for American Peopling. *PLoS ONE* 4(5):e5746.
- » PEREZ, S.I., M. CARDILLO y P. GONZÁLEZ (2009b). Artificial cranean deformations in South America: a quantitative approach to cultural variation. En *Arqueología y Evolución. Teoría, metodología y casos de estudio*, editado por G. López y M. Cardillo, pp. 87-108. Editorial Sb, Buenos Aires.
- » PICIN, A., M. VAQUERO, G. C. WENIGER y E. CARBONELL (2014). Flake morphologies and patterns of core configurations at the Abri Romaní rock-shelter: A geometric morphometric approach. *Quaternary International* 350: 84-93.
- » ROHLF, J. (1993). Relative warps analysis and an example of its applications to mosquito wings. En *Contributions to morphometrics*, editado por L. Marcus, E. Bello y A. García-Valdecasas, pp. 131-159. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- » ROHLF, J. (1999). Shape statistics: procrustes superimpositions and tangent spaces. *Journal of Classification* 16: 197-223.

- » ROHLF, J. (2004). *tpsSmall version 1.30*. Department of Ecology and Evolution, State University. Stony Brook, New York.
- » ROHLF, J. (2008). *tps Utility version 1.40*. Department of Ecology and Evolution, State University. Stony Brook, New York.
- » ROHLF, J. (2013a). *tpsDig2 version 2.17*. Department of Ecology and Evolution, State University. Stony Brook, New York.
- » ROHLF, J. (2013b). *tps Relative Warps. version 1.53*. Department of Ecology and Evolution, State University. Stony Brook, New York.
- » ROHLF, J. y J. ARCHIE (1984). A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Systematic Zoology* 33(3): 302-317.
- » ROHLF, J. y F. BOOKSTEIN (editores) (1990). *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*. Special Publication N° 2, The University of Michigan Museum of zoology, Ann Arbor.
- » ROHLF, J. y L. MARCUS (1993). A revolution in Morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 129-132.
- » ROHLF, J. y D. SLICE (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39(1): 40-59.
- » SARAGUSTI, I., A. KARASIK, I. SHARON y U. SMILANSKY (2005). Quantitative analysis of shape attributes based on contours and section profiles in artifact analysis. *Journal of Archaeological Science* 32: 841-853.
- » SAVRIAMA, Y. y C. KLINGENBERG (2011). Beyond bilateral symmetry: geometric morphometric methods for any type of symmetry. *BMC Evolutionary Biology* 11: 280. <http://www.biomedcentral.com/1471-2148/11/280>.
- » SCHEINSHON, V. y C. SZUMIK (2007). Distribuciones arqueológicas en la Patagonia norte: una perspectiva biogeográfica. En *Arqueología de Fuego-Patagonia. Levantando piedras, desenterrando huesos...y develando arcanos*, editado por F. Morello, M. Martinic, A. Prieto y G. Bahamonde, pp. 109-116. CEQUA, Punta Arenas.
- » SCHEINSHON, V., C. SZUMIK, S. LEONARDT y F. RIZZO (2009). Distribución espacial del arte rupestre en el bosque y la estepa del norte de Patagonia. Nuevos resultados. En *Arqueología de la Patagonia. Una mirada desde el último confín*, editado por M. Salemme, F. Santiago, M. Alvarez, E. Piana, M. Vazquez y M.E. Mansur, tomo II, pp. 541-560. Editorial Utopías, Ushuaia.
- » SCHEINSHON, V., C. SZUMIK, S. LEONARDT y F. RIZZO (2015). The "hidden" code: coding and classifying in rock art. The case of northwestern Patagonia. *Journal of Archaeological Method and Theory* 22(1). En prensa.
- » SHOTT, M., D. HUNZICKER y B. PATTERN (2007). Pattern and allometric measurement of reduction in experimental Folsom bifaces. *Lithic Technology* 32(2): 203-217.
- » SLICE, D. (1993). The Fractal Analysis of Shape. En *Contributions to Morphometrics*, editado por L. Marcus, E. Bello y A. Garcia-Valdecasas, parte 3, pp. 161-189. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- » SLICE, D. (2007). Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology* 36: 261-281.
- » SLICE, D. (editor) (2005). *Modern morphometrics in Physical Anthropology*. Universidad de Chicago, Chicago.
- » SLICE, D., F. BOOKSTEIN, L. MARCUS y J. ROHLF (2009). A Glossary for Geometric Morphometrics. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss1.html>, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss2.html> (Acceso: 28 de octubre de 2014).

- » STRAUSS, R. (2010). Discriminating groups of organisms. En *Morphometrics for nonmorphometricians*, editado por A. Elewa, pp. 73-91. Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- » THULMAN, D. (2012). Discriminating Paleoindian point types from Florida using landmark geometric morphometrics. *Journal of Archaeological Science* 39: 1599-1607.
- » TRATEBAS, A. (2012). North American-Siberian connections: Regional rock art patterning using multivariate statistics. En *A Companion to Rock Art*, editado por J. McDonald y P. Veth, pp. 143-159. Wiley-Blackwell.
- » VAN DER MOLEN. S., N. MARTÍNEZ ABADÍAS y R. GONZÁLEZ-JOSÉ (2007). *Introducción a la Morfometría Geométrica*. Conicet-Cenpat y Universitat de Barcelona.
- » VISCOSI, V. y A. CARDINI (2011). Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: A simplified protocol for beginners. *PLoS ONE* 6(10):e25630.
- » WEBSTERN, M. y H.D. SHEETS (2010). A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. En *Quantitative Methods in Paleobiology*, editado por J. Alroy y G. Hunt, pp. 163-188. The Paleontological Society Papers, Volume 16. The Paleontological Society.
- » ZELDITCH, M. L., D.L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS y H. DAVID (2014). *A Practical Companion for Geometric Morphometrics for Biologists: Running analyses in freely-available software*. <http://booksite.elsevier.com/9780123869036/content/Workbook.pdf>
- » ZELDITCH, M. L., D.L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS y W. L. FINK (2004). *Geometric Morphometrics for Biologists: A primer*. Elsevier Academic Press.