

MACHUPICCHU

INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO I

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE, editores.



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección
Desconcentrada de Cultura
de Cusco

MACHUPICCHU

INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS

TOMO I

FERNANDO ASTETE y JOSÉ M. BASTANTE. editores



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección
Desconcentrada de Cultura
de Cusco

© MACHUPICCHU. INVESTIGACIONES
INTERDISCIPLINARIAS / TOMO I
Fernando Astete y José M. Bastante, editores

© De esta edición:
Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco
Área Funcional del Parque Arqueológico Nacional de
Machupicchu
Calle Maruri 340, Palacio Inka del Kusikancha. Cusco
Central telefónica (051) – 084 – 582030
1a. edición - Setiembre 2020

Corrección de estilo:
Eleana Llosa Isenrich

Diagramación:
Saúl E. Ponce Valdivia

Arte de portada:
Saúl E. Ponce Valdivia
Miguel A. Aragón Collavino

Foto de portada:
José M. Bastante Abuhadba

Foto de solapa:
Sandro Aguilar

Coordinación:
Alex I. Usca Baca
Alicia Fernández Flórez

Revisión:
Carmen C. Sacsá Fernández
Alicia Fernández Flórez

ISBN: 978-612-4375-13-2
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-03378

Impreso en:
GD Impactos
Calle Mártir Olaya 129, Of 1905, Miraflores - Lima

Tiraje: 1000 ejemplares

Impreso en Perú
Printed in Perú
Perú suyupi ruwasqa

MINISTERIO DE CULTURA DEL PERÚ

Ministro de Cultura
Alejandro Arturo Neyra Sánchez

**Viceministra de Patrimonio Cultural
e Industrias Culturales**
Leslie Carol Urteaga Peña

Viceministra de Interculturalidad
Angela María Acevedo Huertas

**Director de la Dirección Desconcentrada
de Cultura de Cusco**
Fredy D. Escobar Zamalloa

**Jefe del Área Funcional del Parque Arqueológico Nacional
de Machupicchu**
José M. Bastante Abuhadba

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier medio o procedimiento sin autorización expresa y por escrito de los editores.

Índice

TOMO I

Presentación

Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco 11

Prólogo

John Hemming 13

Introducción

Mechtild Rössler 21

Los trabajos de las Expediciones Peruanas de Yale en la *llaqta* de Machupicchu

José M. Bastante 25

Machu Picchu. Entre el cielo y la tierra

Luis Millones 59

Nuevos alcances científicos sobre la vida diaria en Machu Picchu

Richard L. Burger 77

Percepciones sobre inmigración y clase social en Machu Picchu, Perú, basadas en el análisis de isótopos de oxígeno, estroncio y plomo

Bethany L. Turner, George D. Kamenov, John D. Kingston y George J. Armelagos 107

Estado de la cuestión: historia y arqueología de la *llaqta* de Machupicchu

José M. Bastante, Fernando Astete, Alicia Fernández y Alex I. Usca 141

Machu Picchu. Monumento arqueológico

Rogger Ravines 237

Avances de las investigaciones interdisciplinarias en Machupicchu

José M. Bastante y Alicia Fernández Flórez 269

Machu Picchu: el centro sagrado

Johan Reinhard 289

| | |
|---|-----|
| <i>Llaqta</i> de Machupicchu: sacralidad y proceso constructivo <i>José Fernando Astete Victoria</i> | 313 |
| Aspectos constructivos en Machupicchu <i>Arminda Gibaja</i> | 327 |
| Machu Picchu: maravilla de la ingeniería civil <i>Kenneth R. Wright y Alfredo Valencia Zegarra</i> | 335 |
| Tecnomorfología de la <i>llaqta inka</i> de Machupicchu. Materiales, métodos y resultados del levantamiento arquitectónico y paisajístico <i>Adine Gavazzi</i> | 353 |
| Avances preliminares de la investigación con <i>lidar</i> en Machupicchu <i>Roland Fletcher, Nina Hofer y Miguel Mudbidri</i> | 383 |
| Lagunas sagradas de Salkantay. Investigaciones subacuáticas en el Santuario Histórico de Machu Picchu <i>Maciej Sobczyk, Magdalena Nowakowska, Przemysław Trzeźniowski y Mateusz Popek</i> | 393 |
| Ingeniería <i>inka</i> de Machupijchu <i>Jesús Puelles Escalante</i> | 409 |
| Contexto funerario bajo en el sector noreste de Machupicchu, 2002 <i>Alfredo Mormontoy Atayupanqui</i> | 447 |
| Los esqueletos humanos de Machu Picchu. Un reanálisis de las colecciones del Museo Peabody de la Universidad de Yale <i>John Verano</i> | 455 |
| TOMO II | |
| La mayoría silenciosa de Machu Picchu: una consideración de los cementerios incas <i>Lucy C. Salazar</i> | 11 |
| El cementerio de los incas <i>Christopher Heaney</i> | 25 |
| Quilcas en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu: análisis y perspectivas arqueológicas <i>Fernando Astete, José M. Bastante y Gori-Tumi Echevarría López</i> | 35 |

| | |
|---|-----|
| Las quilcas del Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu: evaluación y secuencia arqueológica preliminar <i>José M. Bastante y Gori-Tumi Echevarría López</i> | 59 |
| El calendario solar de Machupicchu y otras incógnitas <i>Eulogio Cabada</i> | 99 |
| Observaciones astronómicas en Intimachay (Machu Picchu): un nuevo enfoque para un antiguo problema <i>Mariusz Ziółkowski, Jacek Kościuk y Fernando Astete Victoria</i> | 131 |
| Acercas de los instrumentos astronómicos de los incas: el mirador de Inkaraqay (Parque Arqueológico Nacional de Machu Picchu) <i>Fernando Astete Victoria, Mariusz Ziółkowski y Jacek Kościuk</i> | 143 |
| Machu Picchu: sobre su función <i>Federico Kauffmann Doig</i> | 159 |
| Machu Picchu, el mausoleo del emperador <i>Luis Guillermo Lumbreras</i> | 193 |
| Investigaciones interdisciplinarias en Machupicchu. Temporada PIAISHM 2017 <i>José M. Bastante, Alicia Fernández y Fernando Astete Victoria</i> | 233 |
| Investigaciones en el monumento arqueológico Choquesuysuy del Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu <i>José M. Bastante y Emerson Pereyra</i> | 269 |
| Investigaciones en el monumento arqueológico Chachabamba <i>José M. Bastante, Dominika Sieczkowska y Alexander Deza</i> | 289 |
| Arqueogeofísica aplicada a la arqueología inca: el caso del monumento arqueológico Chachabamba <i>Nicola Masini, Luigi Capozzoli, Gerardo Romano, Dominika Sieczkowska, Maria Sileo, José M. Bastante, Fernando Astete, Mariusz Ziolkowski y Rosa Lasaponara</i> | 305 |
| Materialización del culto al agua a través de la arquitectura hidráulica en la <i>llaqta</i> de Machupicchu <i>Alicia Fernández Flórez</i> | 321 |

| | |
|---|-----|
| La Reforma Agraria en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu <i>Alex Usca Baca</i> | 337 |
| La ciudad de San Francisco de Victoria de Vilcabamba y el pueblo antiguo del Ynga nombrado Huaynapicchu <i>Donato Amado Gonzales</i> | 361 |
| Biodiversidad anotada del Santuario Histórico de Machupicchu: especies endémicas y amenazadas <i>Julio Gustavo Ochoa Estrada</i> | 375 |
| Reportes anotados de mamíferos silvestres del Santuario Histórico de Machupicchu <i>Julio Gustavo Ochoa Estrada</i> | 395 |
| Quinquenio orquidáceo del Santuario Histórico de Machu Picchu. Géneros, especies nuevas y nuevos reportes <i>Benjamín Collantes</i> | 407 |
| <i>Vasqueziella</i> boliviana, conocida desde hace tiempo y de amplia distribución, pero muy poco frecuente <i>Benjamín Collantes y Günter Gerlach</i> | 411 |
| Una vista desde la bóveda: fotos de las expediciones a Perú de la National Geographic Society-Yale University <i>Sara Manco, Renée Braden y Matthew Piscitelli</i> | 421 |
| Autenticidad de Machupicchu, 100 años después <i>Ricardo Ruiz Caro y Fernando Astete Victoria</i> | 427 |
| ANEXOS | |
| Anexo 1. Relación de monumentos arqueológicos en el Santuario Histórico-Parque Arqueológico Nacional de Machupicchu y la Zona Especial de Protección Arqueológica | 439 |
| Anexo 2. Términos en quechua en los artículos | 456 |

Percepciones sobre inmigración y clase social en Machu Picchu, Perú, basadas en el análisis de isótopos de oxígeno, estroncio y plomo¹

Bethany L. Turner², George D. Kamenov³, John D. Kingston⁴ y George J. Armelagos⁵

El potencial de los inmigrantes no locales entre los individuos de una población de esqueletos es significativo para interpretar características paleodemográficas y la distribución de patologías en esqueletos, para caracterizar la subsistencia y la paleodieta e incluso para identificar la clase social. Sin embargo, el desarrollo de evidencias empíricas para la movilidad de los individuos y la inmigración en el registro arqueológico sigue siendo difícil. Debido a la naturaleza indirecta de muchos de los datos disponibles, la variación en los antecedentes residenciales de los individuos de poblaciones esqueléticas rara vez se caracteriza de manera explícita y las percepciones obtenidas del análisis bioarqueológico son limitadas.

¹ Este artículo fue publicado originalmente en el *Journal of Archaeological Science* con el título "Insights into Immigration and Social Class at Machu Picchu, Peru, Based on Oxygen, Strontium, and Lead Isotopic Analysis" (2009, N° 36, pp. 317-332). La traducción es de Beidy Ivan Quispe Vilcahuaman.

² Antropóloga biológica; Departamento de Antropología de la Georgia State University (bturnerlivermore@gsu.edu).

³ Geólogo; Departamento de Ciencias Geológicas de la University of Florida, Gainesville (kamenov@ufl.edu).

⁴ Antropólogo biológico; Departamento de Antropología de la Emory University (jkingst@umich.edu).

⁵ Antropólogo estadounidense (1936-2014).

Los análisis de isótopos proporcionan herramientas útiles para evaluar la movilidad en poblaciones antiguas de esqueletos utilizando individuos como unidades de análisis dentro de un contexto ecológico y geológico, tanto en los Andes (Andrushko *et al.* en prensa; Hewitt *et al.* 2008; Knudson y Price 2007; Knudson *et al.* 2004; Slovak 2007; Verano y DeNiro 1993) como en otros lugares (Bentley y Knipper, 2005; Carlson 1996; Chiaradia *et al.* 2003; Evans *et al.* 2006a, 2006b; Montgomery *et al.* 2003; Price *et al.* 1994; Valentine *et al.* 2008; White *et al.* 2004, 2000, 2002, 1998).

Una región que se beneficiaría de estudios empíricos e isotópicos de los orígenes y dinámicas de las poblaciones es la región andina de América del Sur, donde se produjo migración impuesta por el Estado en un grado y forma no documentados en otros Estados antiguos. Según fuentes etnohistóricas, el Estado imperial inca (en quechua, Tawantinsuyu) del centro-sur del Perú comúnmente y por la fuerza reubicó a individuos e incluso a comunidades enteras en todo el reino durante el Horizonte Tardío, ca. 1438-1532 d. C. (figura 1). Esta estrategia ayudó a pre-



Figura 1. Mapa de los Andes Centrales, mostrando la ubicación de Machu Picchu.

venir la secesión o la revuelta total y proporcionó una enorme fuente de trabajo para proyectos estatales y campañas militares (Pease 1982; Rowe 1982; Wachtel 1982).

Durante el período imperial inca, los movimientos de población se vincularon a menudo con la clase social asignada (ver más adelante). La representación relativa de varias clases sociales en los sitios del Horizonte Tardío proporciona una perspectiva potencial sobre la naturaleza del sitio y su importancia en el sistema estatal inca debido a que los miembros de diferentes clases sociales fueron movidos alrededor del reino en distintas maneras y por diferentes razones. En algunas clases, como la de *acllacona* y de *yanacona*, los traslados se realizaron de forma individual y su presencia en un sitio sugiere prestigio o influencia de la élite inca. En el caso de otras clases, como la de *mitmacona*, fueron reubicadas aldeas enteras y su presencia en un sitio sugiere un mayor control inca. Durante las últimas décadas del Imperio, la élite inca también pudo haber usado estas clases sociales específicas, cuyos componentes estaban desconectados de las redes de los ayllus basadas en el parentesco, para eludir las relaciones tradicionales de reciprocidad con las comunidades sujetas. Por lo tanto, reconstruir con precisión los movimientos de las poblaciones incas es fundamental para entender las formas en que se llevó a cabo el imperialismo inca, es decir: quién fue trasladado, de dónde, adónde y por qué.

Este estudio presenta resultados isotópicos de oxígeno (O), estroncio (Sr) y plomo (Pb) de una población de esqueletos bien conservada y bien contextualizada del sitio inca de Machu Picchu en el sur del Perú (figura 1). Las proporciones de isótopos de O en la hidroxiapatita de carbonato de esmalte dental preservada representan las proporciones isotópicas de agua ingerida, con algún enriquecimiento a través de procesos metabólicos durante el tiempo en

que se formó la corona dental (ver más adelante). Las proporciones en el agua bebida están a su vez influenciadas por la temperatura, la humedad, la altitud, la distancia desde la costa y otros aspectos del entorno local. La variación de $\delta^{18}\text{O}$ en una población⁶ sugiere, por lo tanto, variación en las fuentes de agua para beber e, indirectamente, en las condiciones ambientales locales. Del mismo modo, las proporciones de isótopos de Sr en la hidroxiapatita preservada en el esmalte dental representan las de los alimentos consumidos, que a su vez representan los encontrados en la roca madre local. Suponiendo importaciones mínimas de alimentos de larga distancia, la variación en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en una población sugiere una variación en el contexto geológico local durante el período de desarrollo en que se forma el esmalte dental. De manera similar, las proporciones de isótopos de Pb en el esmalte dental representan las encontradas en fuentes geológicas locales; por lo tanto, la variación en tres proporciones de isótopos de Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{201}/^{204}\text{Pb}$, por brevedad) sugiere una variación en el contexto geológico local durante la formación del esmalte, lo que es discutido con más detalle más adelante (Knudson 2004; Price *et al.* 2002; Turner 2008; White *et al.* 1998; presente a través de discusiones de isótopos de O, Sr y Pb, tal como se aplica en bioarqueología).

Machu Picchu fue una propiedad real construida durante el reinado del inca Pachacuti a mediados

⁶ Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ representan la proporción de ^{18}O y ^{16}O , dos isótopos del elemento oxígeno. En el entorno natural, el agua (H_2O) tiene estos dos isótopos, pero ^{16}O tiene un peso atómico ligeramente menor a ^{18}O . Entonces, cuando el agua se evapora—por temperatura, aridez, altura u otros factores— ^{16}O se incluye en aquellas moléculas con más fácil evaporación de ^{18}O y hay más ^{18}O en el agua que queda atrás. Además, hay más ^{18}O en la precipitación porque es un poco más pesado. Entonces, en ambientes cálidos y secos, el valor $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ es mayor que en ambientes fríos, húmedos y lluviosos. Debido a que los números absolutos de ^{18}O y ^{16}O son pequeños, es común que sean expresados en relación a un estándar, aquí se usa la media del agua del océano (SMOW; por sus siglas en inglés), usando notación delta (δ).

del siglo XV y estuvo habitada por una población de servidores permanentes hasta su eventual abandono en el año 1570, después de la Conquista española del Perú en 1532 (Rowe 1990). Las excavaciones arqueológicas a principios del siglo XX lograron la recuperación de los esqueletos de 177 individuos enterrados en cuevas a lo largo de tres áreas principales del sitio (Bingham 1979 [1930]; Eaton 1916). La naturaleza utilitaria de los bienes funerarios asociados a ellos sugiere que la población de Machu Picchu no incluía a las élites incas (Salazar 2001); además, las descripciones etnohistóricas sugieren que las momias reales incas eran consideradas ancestros que se veneraban en Cuzco y en otros centros imperiales y no eran enterradas en las propiedades reales (Rowe 1946). Por lo tanto, la población de Machu Picchu probablemente consistió de individuos de una o más clases sociales que no eran de la élite y que estaban bajo el control directo del Estado inca. Varios análisis de documentos coloniales indican que posesiones reales como Machu Picchu habrían sido manejadas por *yanacona* permanentes y/o por una población *yanacona/acllacona* mixta; otros han sugerido que los

colonos de mano de obra *mitmacona* o incluso *hatunruna* locales (comuneros) pudieron haber vivido y trabajado en ellas también (Rostworowski de Diez Canseco, 1999; Rowe, 1946). Los análisis presentados aquí tienen como objetivo estimar directamente la(s) clase(s) social(es) presente(s) en Machu Picchu comparando la distribución de las proporciones isotópicas caracterizadas en la hidroxiapatita del esmalte dental humano y animal del contexto arqueológico con las distribuciones isotópicas esperadas de los *yanacona/acllacona*, *mitmacona* y *hatunruna* locales (figura 2 y más adelante). Los datos multiisotópicos presentados aquí son analizados de maneras novedosas para evaluar la dinámica de la inmigración y las clases sociales en Machu Picchu con mayor precisión de interpretación de la que se conoce hasta hoy.

1. Clases sociales no de élite en el Estado inca

Durante el Horizonte Tardío, el inca reubicó por la fuerza a cientos, por no decir miles, de hogares en todo el imperio. Esto permitió al Estado cerrar las zonas de resistencia (Pease 1982), reubicar a especialistas en áreas donde se necesitaban sus habilidades (Espí-

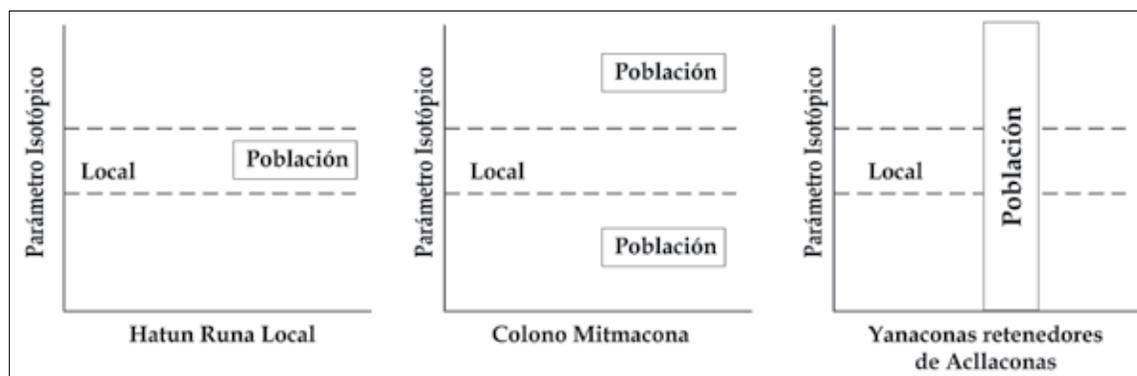


Figura 2. Modelos heurísticos de la distribución esperada de proporciones isotópicas durante la formación de esmalte dental, de acuerdo a clase social. Por cada proporción isotópica caracterizada ($\delta^{18}\text{O}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), se esperaría que una población de Machu Picchu que consista ante todo en *hatunruna* (lado izquierdo) exhiba poca variación intragrupo y se encuentre dentro del intervalo local estimado para el sitio Machu Picchu; a la inversa, para una población que consiste ante todo en *mitmacona* (al centro), se esperaría que muestre escasa variación intragrupo y que se encuentre fuera del intervalo local estimado para Machu Picchu; finalmente, se esperaría que una población que consista ante todo en *yanacona* (lado derecho) exhiba una amplia variación intragrupo, con la mayoría, si no todos los individuos, fuera del intervalo local estimado para Machu Picchu.

noza Soriano 1973) y movilizar una enorme reserva de mano de obra para la construcción de proyectos y la producción de bienes básicos, lo cual formó la base de la economía del Estado (Morris 1998). Rowe (1982: 107) estima que entre 10% y 80% de la población en una zona cualquiera de los Andes Centrales controlados por los incas estuvo formada por colonos no locales instalados por el Estado.

Una característica clave del movimiento de población en el incanato es su relación dinámica con el estatus social del Estado. Las clases sociales en el Tawantinsuyu eran típicas, pero no estrictamente hereditarias y, aunque la estratificación de clases era marcada y rígida, en cierta medida el estatus social podía ser logrado por mérito o maniobra política y no exclusivamente por derecho de nacimiento (Cassman 2000). Además, los individuos podían pertenecer simultáneamente a múltiples clases sociales. Por ejemplo, los comuneros fueron típicamente conocidos como *hatunruna*. Ellos trabajaban las tierras estatales como parte de las obligaciones recíprocas de *mit'a* con el Estado y, en lo demás, vivían con bastante independencia. Sin embargo, fue de este grupo de trabajo que se reclutó a miembros de la comunidad como *mitmacona*, colonos que eran reubicados temporal o permanentemente en otras partes del Estado para el trabajo agrícola, el servicio militar, la construcción u otras formas de trabajo tributario. La clase *mitmacona* era probablemente una antigua institución andina que formaba parte del sistema *mit'a* mayor de reciprocidad y de la estrategia de tierras altas de los archipiélagos verticales (Murra 1980), que se distinguía por la inmigración a áreas distantes para el servicio laboral. Sin embargo, bajo el dominio inca, esta institución se expandió exponencialmente en términos de cantidad y de distancias geográficas. Los *mitmacona* fueron obligados por el Estado a conservar vestido, peinado y otros

signos visibles de su etnia cultural; además, eran provisionados por sus redes de parentesco de ayllu durante el primer o segundo año de sus servicios (Rowe 1982), después de lo cual se volvían en gran parte autosuficientes en tierras asignadas por el Estado (Rostworowski de Diez Canseco 1999).

Tal vez la clase social incaica menos entendida ha sido la clase *yana* (Rowe 1982). Los *yanacona* eran individuos, en su mayoría varones (Silverblatt 1978), seleccionados entre los *hatunruna* y las élites locales para servir como criados a la nobleza inca. Ellos son retratados en muchas crónicas españolas como esclavos y son tratados por algunos investigadores como una clase humilde y degradada. Esto se ha basado en el hecho de que el término quechua *yana* se traduce como “negro” (Silverblatt 1978). Sin embargo, en un análisis en profundidad del término *yana* y de las funciones del *yanacona* en el Estado inca, Villar Córdova (1966) argumenta que los *yanacona* no eran esclavos, sino miembros de una clase especial cuyas funciones exclusivas eran servir a las élites incas. Los deberes de los *yana* incluían el trabajo agrícola en propiedades reales, asistir a nobles en expediciones y campañas militares, llevar a cabo tareas administrativas e incluso servir como funcionarios locales en provincias incas. Más importante aún, sin embargo, y fue lo que distinguió al *yanacona* de casi todas las otras clases sociales que no eran de la élite: 1) los *yana* eran reubicados como individuos; y 2) fueron totalmente eliminados de sus redes familiares en los ayllus. Cabe señalar que este patrón también está presente entre las *aclla*, o mujeres elegidas, una clase social inca que podría considerarse como la análoga femenina de la clase *yana* mayoritariamente masculina (Silverblatt 1978). Las *aclla* eran mujeres elegidas por la nobleza inca por su belleza y talento y fueron alojadas juntas en los *acllawasi* en Cusco y en otros centros incas para tejer, preparar chicha a

base de maíz y servir como esposas en matrimonios arreglados por la nobleza (Rostworowski de Diez Canseco 1999; Silverblatt 1987). A menudo, a los *yana* se les daban esposas escogidas entre las *aclla* como recompensa por su lealtad y servicios, por lo que, cuando se analiza a los *yanacona* como grupo, se puede suponer que al menos algunos hogares *yana* también incluían *aclla*. Los *yana* y las *aclla* fueron seleccionados como individuos por la nobleza incaica y tomados de sus regiones de origen, a diferencia de los *mitimaes*, que eran desplazados por el Estado en grandes grupos. Esta distinción fue notada por Rowe (1982), quien postula que las poblaciones de hogares *yana* probablemente tuvieron una amplia variación en sus antecedentes individuales. Este aislamiento dentro de la propia población se vio reforzado por el desapego de los *yana* y las *aclla* de sus redes de linaje y *ayllus*. A diferencia de la clase *mitmacona*, estas clases de sirvientes dependían por completo de los recursos del Estado y su trabajo no tenía en cuenta las relaciones recíprocas compartidas entre la nobleza inca y su grupo de parentesco original (Rostworowski de Diez Canseco 1999).

La ruptura de los lazos de parentesco y la dependencia del Estado jugaron un papel importante en la economía política inca, ya que el Tawantinsuyu continuó expandiéndose y consolidando su dominio en los Andes. Debido a que el trabajo de *yana* y *aclla* no se contabilizaba en los recuentos de tributo de trabajo en sus *ayllus* nativos, tampoco se contaba en la reciprocidad que el Estado debía a los *ayllus* como parte del sistema *mit'a*. La nobleza incaica pudo en parte eludir sus responsabilidades al respecto para sus provincias en cuestión. En décadas posteriores durante el Tawantinsuyu, incluso la clase *mitmacona* se separó efectivamente de sus *ayllus*; como los colonos a menudo eran enviados a regiones alejadas de sus hogares, los *mitmacona* eran cada vez menos

capaces de mantener vínculos de parentesco con sus *ayllus*, así como con aquellos hogares enviados como *mitmacona* a otros lugares (Murra y Wachtel 1986). Murra (1980, 1982, 1986) y más tarde D'Altroy (1992) y Earle y otros (1987) argumentan que en las últimas décadas del Tawantinsuyu hubo un cambio desde una regla indirecta y hegemónica hacia un control territorial cada vez más directo sobre las diversas regiones del imperio. Los mecanismos mediante los cuales el Estado podía liberarse de sus obligaciones recíprocas y fomentar la dependencia entre la población habrían facilitado en gran medida esta transición. El rápido aumento en el número de *yanacona*, *acllacona* y finalmente *mitmacona* al final del imperio (Rostworowski de Diez Canseco 1962: 133, 1966: 32; Rowe 1946: 268-270), como productores dependientes del Estado y como población eliminada de sus redes de parentesco, probablemente fue una estrategia muy efectiva por parte del Estado. Esto parece especialmente probable dada la creciente inestabilidad política de las últimas décadas del Tawantinsuyu: la rápida expansión, las campañas militares lejanas y el creciente fraccionamiento en la nobleza incaica socavaron la estabilidad del Estado, culminando en una devastadora guerra civil durante la década de 1520 (Rowe 1946: 208-209). El estatus de los *yana*s y las *aclla* se consideraba un honor, y el estatus de los *mitma* se entendía como parte del tributo *mit'a*. El Estado –cada vez más inestable– puede haber sido capaz de cooptar antiguas relaciones laborales y utilizarlas para alterar completamente sus funciones a fin de beneficiarse a expensas de los *hatunruna* (Conrad y Demarest 1984).

Rastrear los movimientos de estas clases de sirvientes en el Tawantinsuyu, tanto en lo geográfico como a lo largo del Horizonte Tardío, ayudaría a entender los cambios en la economía política del Estado inca, específicamente la relación entre este y

su fuerza de trabajo. Además, Rowe (1948: 47), Murra (1972), Rostworowski de Diez Canseco (1999: 174) y Villar Córdova (1966) reconocen la posibilidad, incluso la probabilidad, de que estas clases sociales incas tuvieran precedentes en Estados anteriores, como Wari o Tiwanaku. Sin embargo, Rowe (1982: 97) lamenta la ambigüedad en los documentos coloniales con respecto a las clases sociales incas y señala: “Rara vez [en tales documentos] se pide o se proporciona una explicación completa [de estos estatus y su superposición]”. D’Altroy (2001: 461) también enfatiza la importancia de las clases de mano de obra móvil como la *mitmacona*, aunque reconoce su casi invisibilidad en el registro arqueológico. Cahill (1994) enfatiza aún más que la complejidad del movimiento de poblaciones en tiempos del inca hace que las asociaciones entre etnicidad y clase social sean, en el mejor de los casos, ambiguas. Esto sugiere que los marcadores genéticos o morfológicos utilizados habitualmente para identificar a los inmigrantes en poblaciones arqueológicas no podrían diferenciar a las clases sociales en función de las características físicas. Por lo tanto, el análisis isotópico presentado aquí, con su enfoque en patrones de inmigración y movimiento individual vs. movimiento poblacional es el más adecuado para investigar las clases sociales en Machu Picchu y también proporciona una plantilla analítica aplicable a otros sitios incas.

2. Evaluación isotópica de la migración en la prehistoria

2.1 Isótopos de oxígeno

Los isótopos estables de O en la porción de carbonato de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{CO}_3)_6(\text{OH}_2)$) en huesos y esmalte dental reflejan la composición isotópica del agua corporal ($\delta^{18}\text{O}$) a 37 °C. El agua corporal de $\delta^{18}\text{O}$ está influenciada por la composición isotópica del O del agua meteórica bebida y, en menor me-

didada, del agua en el aire y las fuentes de alimentos, con un fraccionamiento predecible (Longinelli 1984; Luz *et al.* 1984). La composición isotópica del agua meteórica está ligada a la latitud, altitud, aridez, cambio de temperatura estacional y lluvia fluctuante en una región dada, a través de la pérdida variable de ^{16}O durante la evaporación y la pérdida progresiva de ^{18}O durante la precipitación a medida que las masas de aire se mueven tierra adentro y se elevan en forma ascendente (Dansgaard 1964; Gat 1996; White *et al.* 1998). Estos procesos ecológicos hacen del $\delta^{18}\text{O}$ una medida útil de variables ambientales regionales y permiten la evaluación del movimiento de un individuo a áreas geográficas caracterizadas por rangos $\delta^{18}\text{O}$ distintos a aquellos de los cuales él o ella fue originario (White *et al.* 2000, 2002). Las proporciones de $\delta^{18}\text{O}$ en los tejidos que representan los primeros años de vida (principalmente huesos de infantes, primeros molares permanentes, primeros incisivos permanentes y caninos) también reflejan un enriquecimiento trófico comparable a los isótopos de nitrógeno (-3-4‰) debido al equilibrio con el agua corporal materna durante la lactancia (Roberts *et al.* 1988; Wright y Schwarcz 1999: 1161). Por lo tanto, los análisis de $\delta^{18}\text{O}$ en el esmalte dental permanente y/o los huesos de bebés y niños muy pequeños también han sido utilizados para caracterizar tendencias de destete en poblaciones antiguas (Turner *et al.* 2005; Wright y Schwarcz 1998, 1999).

En un contexto andino, estas relaciones se complican por la considerable variabilidad climática relacionada con la estacionalidad y los eventos periódicos de El Niño Oscilación Sur, así como por el importante relieve topográfico y la proximidad a la costa. Localmente, el consumo de agua de fuentes ribereñas, que sufre diferentes presiones de evaporación en diferentes puntos, da como resultado magnitudes de variación de $\delta^{18}\text{O}$ dentro de regiones (Knudson

2008). Además, el consumo de agua recolectada en cisternas y expuesta a procesos de evaporación, agua hervida y agua en bebidas elaboradas como la chicha –una cerveza de maíz tradicional consumida– puede sesgar aún más el $\delta^{18}\text{O}$ en los tejidos blandos de quienes las beben con frecuencia. Los datos de referencia de $\delta^{18}\text{O}$ de los estudios de precipitación moderna (Bowen y Wilkinson 2002) proporcionan algunos de los datos de referencia necesarios a partir de los cuales los individuos pueden ser rastreados con mayor precisión en contextos ambientales específicos.

2.2 Isótopos de estroncio y plomo

La utilidad de los isótopos de O para rastrear la procedencia de restos de esqueletos humanos es reforzada cuando se combina con las proporciones isotópicas de Sr y Pb, que sirven como *proxy*, no del medio ambiente local, sino más bien del contexto geológico local. La composición isotópica de Sr de diferentes sustratos geológicos varía según la edad geológica, la composición mineral y los patrones de erosión del lecho rocoso circundante (Dasch 1969; Faure y Powell 1972; Fullagar *et al.* 1971). En general, los tipos de rocas más antiguas con alto contenido de Rb/Sr tienen índices más altos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que las rocas más jóvenes con bajo contenido de rubidio (Rb) (Rogers y Hawkesworth 1989). La proximidad a los ambientes marinos también puede ser un factor, ya que el agua del océano moderno muestra un valor consistente de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.7092 (Veizer 1989). De forma similar a Sr, las proporciones de isótopos de Pb en sustratos geológicos varían según la edad geológica del sustrato y las proporciones originales de U/Pb y Th/Pb (Faure 1986; Gulson 1986).

Pb y Sr sustituyen al calcio en la matriz mineral de huesos y dientes (Rabinowitz 1991; Stack 1990). Los isótopos estables de Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) y Pb ($^{206}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}/^{204}\text{Pb}$; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, abreviando)

varían muy poco en sus respectivas masas atómicas y, como tal ciclo, a través de ecosistemas sin fraccionamiento medible. Las vías de incorporación de Sr desde el lecho de roca en los tejidos biológicos son principalmente a través de los alimentos (Price 1989). Sin embargo, estudios recientes indican que el camino del Pb en el cuerpo humano probablemente no se realice a través de redes por la vía alimentaria (Gulson 1986; Kamenov 2008) porque la presencia de alimentos reduce la absorción de Pb en el tracto gastrointestinal humano (Maddaloni *et al.* 1998). Los datos isotópicos de Pb de alta precisión indican que la inhalación e ingestión del suelo o de polvo del suelo son las vías más probables para la incorporación de Pb en poblaciones de un área determinada (Kamenov *et al.* 2008). La medición de las proporciones isotópicas de Sr y Pb en tejidos tanto animales como humanos preservados proporciona estimaciones indirectas del entorno geológico local del individuo (o al menos de su fuente de Sr y Pb). La variación en las composiciones isotópicas del sustrato de Sr y Pb entre diferentes regiones permite una estimación de dónde, geológicamente, vivió un individuo durante el período de desarrollo de los tejidos específicos que se analizan (Gale 1989). La caracterización de la abundancia de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en el ambiente circundante (Hodell *et al.* 2004) metabolizada por fauna de pequeña escala (es decir, biológicamente disponible; ver Price *et al.* 2002) ha permitido a los investigadores estimar líneas de base “locales” en sitios arqueológicos desde los cuales se puede distinguir a individuos no locales y evaluar el grado y el momento de la inmigración. Estas técnicas se consideran ecológicamente más sólidas que las que equiparan valores atípicos estadísticos en distribuciones isotópicas con inmigrantes no locales, ya que están vinculadas a los rangos isotópicos en lugares específicos (ver discusiones en Bentley *et al.* 2003; Knudson *et al.* 2005).

3. Objetivos de estudio

En este estudio, se determinaron las composiciones isotópicas de O, Sr y Pb a través del esmalte dental en individuos recuperados de enterramientos en Machu Picchu (figura 1). Los análisis etnohistóricos (Rostworowski de Diez Canseco 1999; Rowe 1982) sugieren que la población de Machu Picchu pudo haber sido *yanacona*, tal vez una colonia de *mitmacona* o incluso un grupo local de *hatunruna*. Por lo tanto, uno podría hipotetizar razonablemente distribuciones variables de datos de isótopos de O, Sr y Pb entre la población, reflejando orígenes distintos (figura 2). Si la población consistiera principalmente de *yanacona* y/o *acllacona*, la distribución isotópica esperada tendría un amplio rango y poca modalidad o formación de *clusters*, ya que este grupo de individuos no compartiría antecedentes comunes (Rowe 1982). Por otro lado, si la población fuera principalmente una colonia de *mitmacona*, la distribución isotópica esperada conformaría *clusters* más estrechamente y mostraría unimodalidad o algún grado claro de bi- o multimodalidad, ya que los *mitmacona* podrían ser una fusión de varios grupos (Wachtel 1982). Las dos distribuciones hipotéticas serían distintas no solo una de la otra, sino de lo que se espera para los *hatunruna* locales, como también para posibles descendientes de segunda o tercera generación de inmigrantes anteriores.

La variación geológica y ecológica que caracteriza a los Andes Centrales es sustancial, lo que da como resultado un rango de variación isotópica. Dada esta complejidad, los individuos solo se distinguirían isotópicamente si provienen de regiones geológicamente y/o climáticamente distintas. La incorporación de $\delta^{18}\text{O}$ como un *proxy* del entorno local, con $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ como representantes de la geología local, permite un análisis multifacético, creando perfiles geográficos individualizados que

abarcan las primeras fases de la vida, que es cuando se forman las coronas de esmalte de los dientes.

4. Métodos

4.1 Materiales

Aunque la alteración diagenética puede complicar la interpretación de los datos isotópicos en el hueso, numerosos estudios han demostrado que el esmalte dental preserva fielmente las composiciones isotópicas biogénicas de Sr y Pb (Bower *et al.* 2007; Budd *et al.* 2000; Chiaradia *et al.* 2003; Montgomery *et al.* 2005; Valentine *et al.* 2008); por lo tanto, aquí se analiza la hidroxiapatita del esmalte dental. Es de destacar que la gran mayoría de la población de Machu Picchu fue enterrada en tumbas ubicadas en cuevas o afloramientos rocosos (Eaton 1916), dando como resultado poco o ningún contacto entre la dentición y los suelos circundantes y una reducida probabilidad de alteración postdeposicional.

El esmalte dental se forma a tasas incrementales relativamente estables y no se remodela una vez formado (Hillson 1996), preservando así la composición bioquímica y otras características, como los defectos superficiales (Goodman y Rose 1990) de períodos específicos durante el desarrollo (tabla 1). Así, los dientes son con frecuencia el tejido preferido para explorar la dieta de los primeros años de vida y el origen residencial utilizando análisis isotópicos (Bentley *et al.* 2004; Evans *et al.* 2006a, 2006b; Grupe *et al.* 1997; Iacumin *et al.* 1996; Montgomery *et al.* 2003, 2005; Blanco *et al.* 2000, 2002, 1998; por nombrar algunos). En consecuencia, se analizaron muestras de esmalte de múltiples tipos de dientes formados en diferentes momentos para crear un perfil isotópico para cada individuo, abarcando uno o más períodos de desarrollo de la vida temprana, que se definen a continuación. Además, dado que los modelos teóricos en la figura 2 se centran en el lugar donde los individuos nacieron

y pasaron sus primeros años de vida (es decir, en el sitio vs. otro lugar), los primeros tejidos en desarrollo, como el esmalte dental, en comparación con datos de referencia isotópicos “locales” de Machu Picchu, son los más adecuados para probarlos. En consecuencia, la apatita ósea no se incluyó en este estudio porque se remodela continuamente durante la vida y, por lo tanto, representa un promedio aproximado de dieta y contexto residencial durante las últimas décadas de vida, dependiendo del elemento esquelético utilizado (Manolagas 2000; Parfitt 1983). Los datos de referencia locales para este análisis se proporcionan a través del esmalte dental de roedores herbívoros de pequeño tamaño y agua recolectada en el sitio arqueológico de Machu Picchu, así como de los datos publicados sobre la precipitación moderna y la geología regional.

Tabla 1. Categorización de los tipos de dientes según período de desarrollo

| Tipo de dientes | Años de desarrollo ¹ | Período asignado |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|
| I1 | 0.0-5.0 | Infancia, niñez temprana (IEC) |
| I2 | 0.8-5.5 | Infancia, niñez temprana (IEC) |
| C1 | 0.3-7.0 | Niñez media (MC) |
| M2 | 1.0-7.5 | N/A (ninguno presente) |
| M2 | 2.0-8.5 | Infancia media (MC) |
| M1 | 0.0-3.5 | Infancia, niñez temprana (IEC) |
| M2 | 2.5-8.0 | Infancia media (MC) |
| M3 | 8.0-15.0 | Adolescencia (AD) |

Nota

¹ Hillson (1996); White y Folkens (2000).

4.2 Selección de muestras

Los individuos del conjunto esquelético (N = 74, de 177 en total) fueron incluidos en la población de estudio principalmente en base a la disponibilidad de dientes permanentes identificables, resultando en una población de estudio de 67 adultos, 6 subadultos

(10 a 16 años al morir) y 1 niño (5 a 6 años al morir) de las tres áreas del cementerio en el sitio. Idealmente, las muestras habrían consistido en un primer, segundo y tercer molar permanente de cada individuo adulto, proporcionando una ventana isotópica de desarrollo que abarca desde el nacimiento hasta los 13 años de edad. Sin embargo, la pérdida de dientes antes y después de la muerte fue común entre las personas estudiadas, por lo que no era posible recolectar de forma consistente los mismos tres dientes de los adultos. Por lo tanto, los dientes se agruparon en tres amplios períodos de desarrollo: primer y segundo incisivos y primeros molares para la infancia y niñez temprana (IEC)⁷; caninos, segundos premolares y segundos molares para la niñez intermedia (MC); y terceros molares para la adolescencia (AD), como se resume en la tabla 1.

Si se produce una alteración diagenética en el esmalte dental arqueológico, generalmente se encuentra solo en las capas externas del esmalte (Hillson 1996). Por lo tanto, se raspó aproximadamente 1 mm de la superficie del esmalte con una herramienta Dremel equipada con una rueda giratoria de carburo de tungsteno para eliminar el material potencialmente alterado. Este accesorio se limpió con acetona y ddH₂O al raspar las muestras de cada diente. Para el análisis isotópico ligero ($\delta^{18}\text{O}$) y pesado ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{203}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), se extrajo un total de 10 a 30 mg de esmalte de cada diente, abarcando la unión cemento-esmalte hasta el margen oclusal. Secciones de esmalte de tipos de los dientes de infancia y niñez temprana se dividieron longitudinalmente en dos partes iguales, ya que se necesitan procedimientos separados para preparar muestras de apatita para los análisis de Sr y Pb frente a los de O. Entre los individuos que carecían de suficiente esmalte M1 o I1 o a

⁷ *Infancy* se traduce como infancia; *childhood* como niñez (nota de edición).

quienes faltaban completamente esos dientes, en su lugar se dividieron porciones de segundos o terceros molares para ambos análisis. De lo contrario, los segundos y terceros molares se prepararon solos para el análisis de $\delta^{18}\text{O}$.

4.3 Análisis de isótopos ligeros ($\delta^{18}\text{O}$)

Se aisló el carbonato de esmalte para la caracterización de $\delta^{18}\text{O}$ usando métodos adaptados de Van der Merwe *et al.* (1996), Ambrose (1993) y Schoeninger *et al.* (1989), como se describe en Turner *et al.* (2005). Se quitó el esmalte de cada diente y se trituró para obtener un polvo fino usando un mortero de ágata y una maja, el cual fue remojado durante 24 a 72 h en una solución de NaOCl (lejía)/ddH₂O al 2%, hasta que cesó la desgasificación en la solución, lo que significa que se eliminó el material orgánico. Las muestras se centrifugaron, se enjuagaron en un proceso neutro con ddH₂O y se remojaron durante 2 a 4 h en una solución de ácido acético al 0.2% a 4°C para eliminar cualquier elemento exógeno y otros contaminantes diagenéticos (Garvie-Lok *et al.* 2004). Las muestras aisladas de carbonato se centrifugaron y enjuagaron hacia un pH neutro con ddH₂O, se liofilizaron y se digirieron en ácido fosfórico al 100% en un sistema de preparación automatizado a 50 °C, interconectándolas con un espectrómetro de masas de prisma VG en el Departamento de Ciencias Geológicas de la University of Florida, Gainesville. Los valores isotópicos se expresan en unidades por mil (‰) con relación a la SMOW. La media del estándar analítico $\delta^{18}\text{O}$ de NBS-19 es 28.1‰ (vs. SMOW), con una desviación estándar de 0.11‰.

4.4 Análisis de isótopos pesados ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)

El procesamiento de muestras para el análisis de isótopos se realizó en un laboratorio limpio clase 1000, equipado con campanas de flujo laminar clase

10, en el Departamento de Ciencias Geológicas de la University of Florida. Se disolvieron muestras de esmalte humano y animal en viales de teflón pre-limpiados en una placa caliente durante 24 horas en HNO₃ 8 N (óptimo). Después, se abrieron los viales y la solución fue evaporada hasta secar en una campana de flujo laminar. El Sr y el Pb fueron separados secuencialmente por cromatografía iónica a partir de alícuotas individuales. Los tallos de columnas de 100 ml se empacaron con resina Dowex 1X-8 (malla de 100-200) enjuagada con 2 ml de HCl 6 N (óptimo). Cada muestra de esmalte fue disuelta en 100-200 ml de 1 N Seastar HBr y se cargó en la columna de resina, luego se lavó tres veces con 1 ml de Seastar HBr. El Pb se recogió en un lavado final de 1 ml de HNO₃ al 20% (óptimo) y se evaporó hasta secar sobre una placa caliente en una campana de flujo laminar.

Durante la etapa de elución del Pb, se recogió el lavado para la posterior separación de Sr, ya que este no se absorbe en la resina Dowex. Los residuos secos de los lavados se disolvieron en HNO₃ 3.5 N y se cargaron en columnas de intercambio catiónico empaquetadas con resina de éter de corona selectiva de Sr (Sr-spec, Eichrom Technologies) para separar Sr de otros iones siguiendo procedimientos de Pin y Bassin (1992). Cada vástago de columna de 100 ml se empaquetó con resina Sr-spec, se lavó con 2 ml de H₂O y se equilibró con 2 ml de HNO₃ 3.5 N (óptimo). Las muestras disueltas se cargaron en las columnas de resina y se lavaron cuatro veces con 100 ml de HNO₃ 3.5 N (óptima), luego se lavaron con 1 ml de HNO₃ 3.5 N. El Sr se recogió en 1.5 ml de H₂O y se evaporó hasta secar sobre una placa caliente en una campana de flujo laminar.

Las relaciones isotópicas de Sr y Pb fueron medidas usando un espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente a un colector múltiple Nu-Plasma (MC-ICP-MS) usando el método

de análisis de resolución temporal de Kamenov *et al.* (2008). Para el análisis del isótopo Sr, se determinó el pico cero antes de cada introducción de la muestra con el objetivo de corregir las interferencias isobáricas causadas por las impurezas de Kr en el gas portador de Ar. El $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ fue corregido por sesgo de masa usando la ley exponencial y $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$. El ^{87}Sr se corrigió por la presencia de Rb al monitorizar la intensidad de ^{85}Rb y restar la intensidad de ^{87}Rb de la intensidad de ^{87}Sr , usando $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb} = 0,386$ y un factor de corrección de polarización de masa determinado a partir de $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$. El valor promedio de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ medido por TRA de NBS 987 es 0.710246 ($2\sigma = 0.000030$), que es indistinguible de los resultados de TIMS NBS 987 a largo plazo (0.710240; $2\sigma = 0.000023$). Los análisis isotópicos de Pb se realizaron utilizando una técnica de normalización de Tl en mezclas frescas para evitar la oxidación de talio a Tl^+ (Kamenov *et al.* 2004).

Los análisis del estándar NBS 981 realizado en modo de plasma húmedo junto con los análisis de muestra dieron los siguientes resultados: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.94 (\pm 0.004 2\sigma)$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.49 (\pm 0.003 2\sigma)$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.70 (\pm 0.009 2\sigma)$.

5. Resultados

Los resultados de todos los análisis isotópicos se resumen en la tabla 2 (humanos) y en la tabla 3 (fauna y agua). La tabla 2 enumera todos los parámetros de interés para cada individuo, incluidos los datos publicados sobre la edad al momento de la muerte y el sexo (Verano 2003); los asteriscos indican ausencia de datos. Cada parámetro isotópico sirve como un *proxy* de distintos contextos geológicos o ambientales, por lo que los datos de cada uno se analizan y discuten por separado y luego se combinan. Los análisis estadísticos se realizaron usando SPSS 14.0 y SAS 9.1.

Tabla 2. Sumario de los parámetros isotópicos residenciales por individuo

| Número de entierro | Edad al morir (años) | Sexo | Infancia/ niñez temprana $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Niñez media $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Adolescencia $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|--------------------|----------------------|------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PA3195 G41 | 40-50 | F | 21.6 | 20.6 | * | 0.72069 | 18.82 | 15.65 | 38.62 |
| PA0531 G70 | * | * | 21.2 | * | 20.7 | 0.70942 | 18.59 | 15.63 | 38.43 |
| PA4747 G3B | * | * | * | 25.6 | * | 0.70804 | 18.81 | 15.65 | 38.52 |
| PA3192 G40 | 30-40 | F | 20.4 | 19.1 | 17.8 | 0.71459 | 18.75 | 15.65 | 38.44 |
| PA3163 G9 | 20-25 | M | 20.4 | * | 20.1 | 0.70749 | 18.53 | 15.63 | 38.38 |
| PA4761 G99 | Adulto | M | 21.6 | 21.3 | 21.0 | 0.71342 | 18.92 | 15.67 | 38.88 |
| PA3232 G77 | 40-50 | F | 22.6 | 21.6 | * | 0.70771 | 18.71 | 15.64 | 38.47 |
| PA3168 G16 | 25-30 | M | 22.3 | * | 23.4 | 0.70631 | 18.78 | 15.64 | 38.71 |
| PA3246 G102 | * | * | 19.7 | * | 18.1 | 0.70749 | * | * | * |
| PA3211 G52A | 30-40 | M | * | 20.5 | 20.2 | 0.70679 | 18.75 | 15.64 | 38.46 |
| PA3186 G37 | 20-30 | F | 24.7 | 23.0 | 23.1 | 0.70565 | * | * | * |
| PA3179 G31 | 30-40 | F | 24.4 | 23.6 | 23.7 | 0.70384 | 18.53 | 15.62 | 38.27 |
| PA3191 G40 | 30-45 | F | 23.7 | 23.2 | 20.4 | 0.70543 | 18.70 | 15.64 | 38.48 |
| PA3248 G107 | Adulto joven | M | 24.6 | 23.8 | * | 0.71824 | 18.72 | 15.65 | 38.46 |

| Número de entierro | Edad al morir (años) | Sexo | Infancia/ niñez temprana $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Niñez media $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Adolescencia $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|--------------------|----------------------|------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PA3202 G47A | 5-6 | * | 21.7 | 21.0 | * | 0.70752 | 18.68 | 15.64 | 38.50 |
| PA0524 G46 | 17-20 | F | * | 20.0 | * | 0.70744 | 18.56 | 15.62 | 38.38 |
| PA0522 G8 | Adulto | F | 27.7 | * | * | * | * | * | * |
| PA3194 G41 | 30-35 | M | 23.0 | 22.0 | * | 0.72118 | 18.61 | 15.64 | 38.34 |
| PA3158 G4G | * | * | * | 26.0 | * | 0.71656 | * | * | * |
| PACoMd G37 | Adulto | F | * | 25.4 | * | * | * | * | * |
| PA0525 G55 | * | * | * | * | * | 0.72018 | 18.58 | 15.62 | 38.17 |
| PA3206 G49 | 18-22 | F | * | * | * | 0.70808 | 18.63 | 15.63 | 38.33 |
| PA3187 G37 | 30-40 | F | 26.0 | * | * | 0.71341 | 18.83 | 15.65 | 38.57 |
| PA3160 G5 | 25-35 | M | * | 25.1 | * | 0.71072 | 18.63 | 15.63 | 38.37 |
| PA3221 G63 | 25-35 | F | 26.9 | * | * | 0.70528 | 19.02 | 15.68 | 38.88 |
| PA3209 G50 | 50+ | F | 23.0 | * | 22.2 | 0.71398 | * | * | * |
| PA3222 G65 | 8-9 | * | 20.9 | * | * | 0.71143 | 18.58 | 15.62 | 38.17 |
| PA3158 G4F | * | * | 27.4 | * | * | 0.70901 | 18.74 | 15.64 | 38.45 |
| PA3159 G4B | Adulto joven | M | 25.6 | * | * | 0.72053 | 18.81 | 15.65 | 38.51 |
| PA3158 G4C | Adulto | M | * | 21.2 | * | 0.71465 | 18.70 | 15.64 | 38.46 |
| PA3188 G37 | 50+ | F | * | 20.3 | * | * | * | * | * |
| PA3158 G4A | Adulto joven | M | 20.9 | * | * | 0.70913 | 18.79 | 15.65 | 38.54 |
| PA3158 G4B | * | * | * | * | * | 0.71991 | 18.72 | 15.65 | 38.42 |
| PA3165 G11 | 50-60 | F | * | 22.3 | * | * | * | * | * |
| PA3196 G42 | 40-50 | M | 18.3 | 18.6 | * | 0.71917 | * | * | * |
| PA3157 G3A | 30-40 | F | 25.1 | 25.1 | 24.9 | 0.71098 | 18.78 | 15.65 | 38.54 |
| PA3208 G50 | 11-13 | * | 22.0 | 21.6 | * | 0.71283 | * | * | * |
| PA3164 G9B | 20-25 | M | * | 24.6 | * | 0.70438 | * | * | * |
| PA3243 G93 | 30-45 | F | 24.5 | 25.3 | 22.6 | 0.70477 | 18.98 | 15.66 | 38.42 |
| PA3228 G72 | 10-11 | * | 27.4 | 26.6 | * | 0.70610 | 19.01 | 15.67 | 38.73 |
| PA3238 G84 | 17-20 | M | 21.9 | 16.3 | 19.7 | 0.70764 | * | * | * |
| PA3227 G71 | 19-24 | M | * | 21.9 | 19.1 | 0.70756 | 18.25 | 15.60 | 38.30 |
| PA3173 G23 | 16-18 | M | 21.5 | 19.7 | * | 0.71176 | * | * | * |
| PA3220 G62A | 20-30 | M | 20.0 | 19.4 | 21.7 | 0.70802 | * | * | * |
| PA3197 G42 | 55-65 | F | 26.3 | * | * | 0.70958 | * | * | * |
| PA3156 G1 | 19-23 | F | 24.8 | 24.1 | * | * | * | * | * |
| PA4746 G2A | Adulto | M | 25.7 | 24.4 | * | * | * | * | * |
| PA4746 G2B | Adulto | * | 24.6 | 24.7 | * | * | * | * | * |

| Número de entierro | Edad al morir (años) | Sexo | Infancia/ niñez temprana $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Niñez media $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | Adolescencia $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|--------------------|----------------------|------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| PA3161 G5B | Adulto medio | F | 20.8 | * | * | * | * | * | * |
| PA0521 G7 | 15-17 | * | 27.5 | 26.7 | * | 0.7070 | 18.92 | 15.65 | 38.73 |
| PA4749 G12 | Adulto | F | * | * | * | 0.70729 | 19.07 | 15.66 | 38.47 |
| PA3166 G13 | 45-55 | F | 19.9 | 16.2 | * | * | * | * | * |
| PA0523 G14A | 18-21 | F | * | * | * | 0.71003 | 19.15 | 15.68 | 38.68 |
| PA3182 G32 | 30-35 | M | 24.5 | 24.2 | * | * | * | * | * |
| PA3183 G33 | 25-35 | M | * | * | * | 0.70713 | 18.72 | 15.63 | 38.42 |
| PA3184 G34 | 40-50 | F | 20.0 | 19.7 | * | * | * | * | * |
| PA3189 G38 | 35-45 | F | 26.3 | 26.1 | * | * | * | * | * |
| PA3190 G39 | 20-29 | F | 20.5 | 20.0 | 20.1 | * | * | * | * |
| PA3199 G42 | 50+ | M | * | 20.7 | * | 0.71006 | 18.38 | 15.61 | 38.19 |
| PA3205 G48B | 15-18 | M | 19.9 | 19.8 | * | * | * | * | * |
| PA3207 G50B | Adulto joven | * | * | 21.8 | 22.3 | 0.71767 | 18.79 | 15.65 | 38.62 |
| PA3214 G53 | 50+ | M | 22.6 | 20.8 | * | * | * | * | * |
| PA3219 G61 | 30-40 | F | 25.6 | 25.0 | 25.2 | 0.71208 | 18.19 | 15.58 | 37.97 |
| PA3220 G62B | 18-21 | F | 20.0 | 19.2 | 19.3 | 0.70998 | 19.01 | 15.67 | 38.74 |
| PA3222 G65F | Adulto | F | 19.3 | * | * | * | * | * | * |
| PA3230 G75 | 25-35 | M | 23.0 | 22.2 | 21.9 | * | * | * | * |
| PA3231 G75 | 30-40 | M | 19.7 | 18.1 | 20.5 | 0.70913 | * | * | * |
| PA3233 G77 | 25-35 | M | 19.8 | 20.3 | 20.8 | * | * | * | * |
| PA3235 G80 | 45-55 | F | 22.6 | 22.5 | * | * | * | * | * |
| PA3236 G81 | 20-30 | M | 22.2 | 21.8 | 22.8 | * | * | * | * |
| PA3237 G82 | 25-35 | F | 25.5 | 24.9 | 23.7 | * | * | * | * |
| PA3239 G84 | 35-45 | M | * | 22.6 | * | * | * | * | * |
| PA3245 G98 | * | * | * | 19.8 | * | * | * | * | * |
| PA3247 G107 | 18-21 | M | 24.2 | * | * | 0.70667 | 18.72 | 15.63 | 38.41 |

Nota

* Faltan datos.

Tabla 3. Sumario de los datos de la línea de base isotópica “local” de Machu Picchu

| Número de muestra | Especie | Nombre común | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ |
|---------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ANT.196400 3317 G56 | <i>L. trichodactylus</i> | Vizcacha | * | 0.709728 | 18.516 | 15.636 | 38.464 |
| ANT.256878 MP.99 | <i>Agouti thomasi</i> | Agouti | * | 0.712456 | 18.660 | 15.635 | 38.337 |
| MP 3167 G15-1R | <i>Agouti sp.</i> | Agouti | * | 0.71451 | 18.568 | 15.627 | 38.360 |
| ANT.196399 G9 | <i>Lepidium sp.</i> | Peruvian Hare | * | 0.715241 | 18.646 | 15.636 | 38.426 |
| Machu Picchu Agua 1 | n/a | n/a | -13.8 | n/a | n/a | n/a | n/a |
| Machu Picchu Agua 2 | n/a | n/a | -13.8 | n/a | n/a | n/a | n/a |

Nota

* Faltan datos.

Como se muestra en la figura 3, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ para todos los individuos estudiados indican una variación sustancial en $\delta^{18}\text{O}$ en las tres etapas tempranas de la vida. Los dientes que se formaron en la infancia o en la niñez temprana varían en $\delta^{18}\text{O}$ de 18.3 a 27.7‰, con una media de 22.9‰ y una desviación estándar de 2.6‰; los que se formaron en la niñez media oscilan entre 16.2 y 26.7‰, con una media de 22.1‰ y una desviación estándar de 2.6‰; y los que se formaron en la adolescencia varían de 17.8 a 25.2‰, con una media de 21.4‰ y una desviación estándar de 2.0‰. Numerosos estudios han sugerido que las diferencias en $\delta^{18}\text{O}$ que son menores que 2 están dentro del rango natural de variación esperado para las poblaciones arqueológicas (White *et al.* 2004, 2002, 1998; Wright y Schwarcz 1999) o dentro del rango de variación individual en ambientes altamente estacionales (Kohn *et al.* 1998). Estos límites no pueden ser directamente aplicables a un contexto andino, lo que es especialmente cierto dados los hallazgos recientes (Knudson 2008) de variación sustancial intrarregional de $\delta^{18}\text{O}$ en las poblaciones andinas. Sin embargo, el rango de $\delta^{18}\text{O}$ para la población de Machu Picchu en cada etapa de desarrollo es de más de 7‰, lo que podría sugerir marcadas diferencias en las fuentes de agua potable durante la formación del esmalte en la población de Machu Picchu.

También hay una gran variación en la composición isotópica del Sr del esmalte entre la población humana, lo cual es un *proxy* de la geología local de Sr, suponiendo el consumo de alimentos locales. Los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ van de 0.70384 a 0.72118, con una media de 0.71061 y una desviación estándar de 0.00482 (figura 4 y tabla 2). Esto sugiere que las personas vivieron en áreas con geología distinta o comieron alimentos de contextos geológicos diferentes durante la formación del esmalte. Finalmente, hay una variación considerable en las tres proporciones isotópicas de

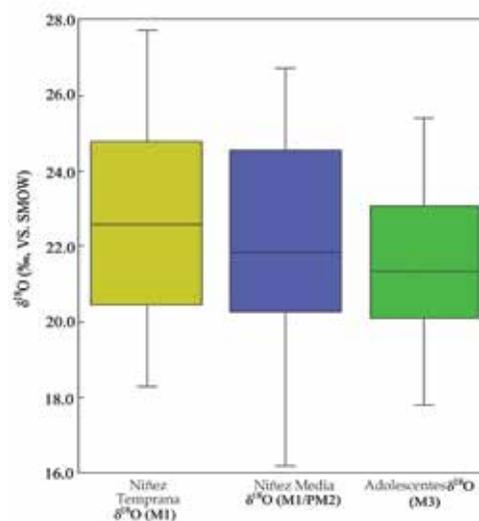


Figura 3. Esmalte $\delta^{18}\text{O}$ en Machu Picchu para cada etapa de desarrollo (definido por tipo de diente): los diagramas indican la media (línea horizontal), 2σ (desviación estándar, el cuadro de color) y el intervalo (las líneas verticales entre corchetes) para cada una.

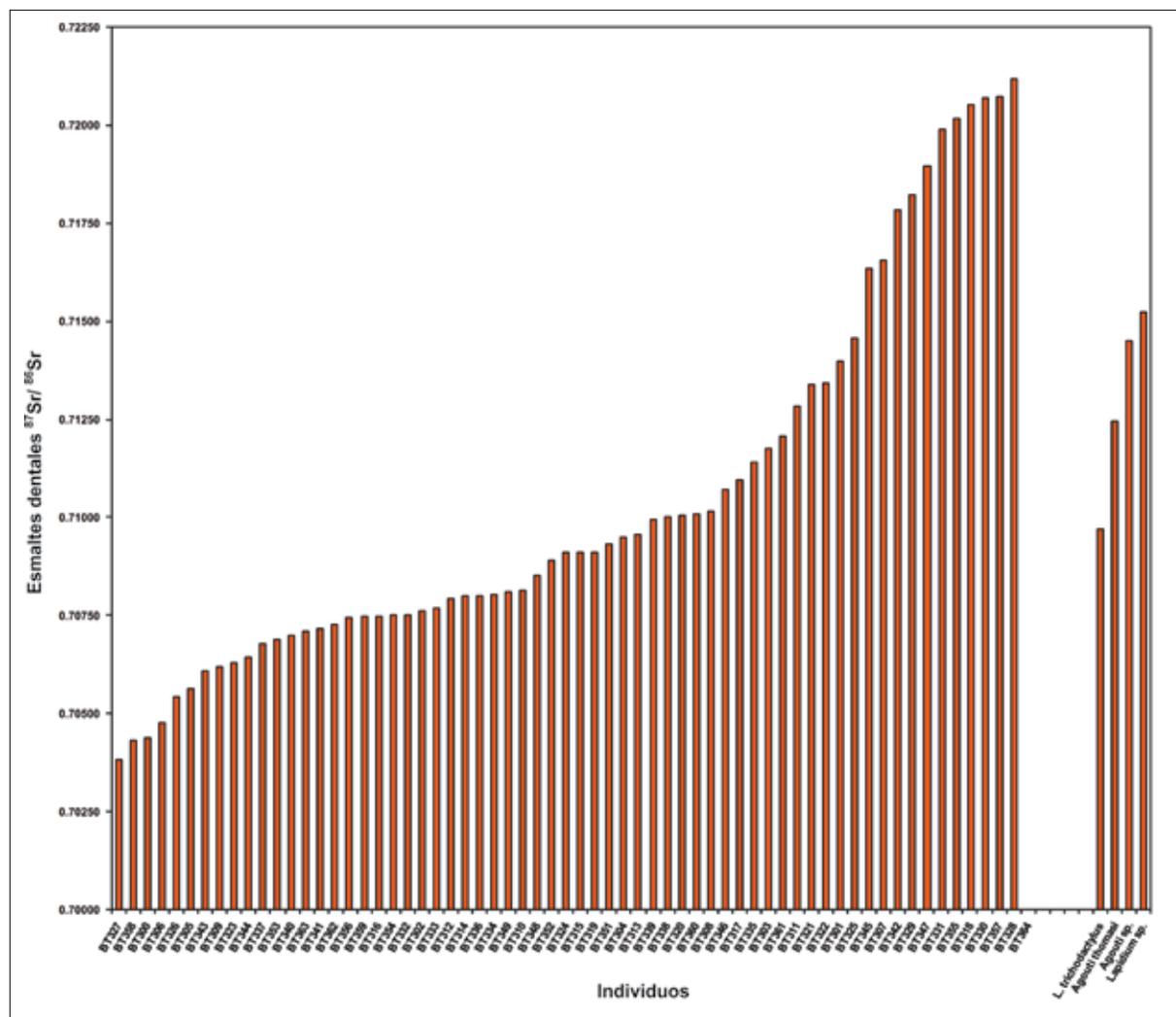


Figura 4. Resultados $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de restos humanos y de fauna arqueológica de Machu Picchu, clasificados en orden ascendente (los especímenes de fauna están en el lado derecho).

Pb, que se presumen próximas a los suelos locales. Las muestras de esmalte analizadas en individuos de Machu Picchu muestran una gran variación en sus proporciones isotópicas de Pb (tabla 2). Los valores de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ oscilan entre 18.19 y 19.15, con una media de 18.72 y una desviación estándar de 0.20; los valores de $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ varían de 15.58 a 15.68, con una media de 15.6 y una desviación estándar de 0.02; y los valores $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ oscilan entre 37.97 y 38.88, con una media de 38.47 y una desviación estándar de 0.19. Estos resultados sugieren que las personas vivieron en lugares con distintas características isotópicas de Pb durante

la formación de la corona del esmalte dental.

Los resultados isotópicos de Sr y Pb para los cuatro especímenes de fauna arqueológica analizados de Machu Picchu muestran menor variación isotópica en comparación con las muestras humanas (figura 4), con la excepción de una vizcacha de dientes grandes (*Lagostomus trichodactylus*) observada en la excavación original como especie no local (Eaton 1916). Sin embargo, las tres muestras de fauna restantes, asumidas como locales del sitio, muestran un rango de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0.00278 y rangos de isótopos de Pb de 0.09 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), 0.01 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) y 0.09 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$),

respectivamente. Estos rangos tal vez representan una posible microvariación geológica en el área, resultando en una variación isotópica incorporada *in vivo* en el esmalte de fauna analizado. Andrushko *et al.* (en prensa) encontraron una variación similar en las muestras de fauna geográficamente local en Chokepukio y Tipón, cerca de Cuzco; sus datos y los presentados aquí apuntan a la necesidad de un mayor análisis isotópico en las tierras altas del sur de los Andes con el fin de comprender mejor la microvariación isotópica de origen natural. Sin embargo, asumiendo que los tres especímenes de fauna representan valores isotópicos locales de Machu Picchu, los rangos isotópicos locales para el sitio de Machu Picchu son 0.71246-0.71524 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), 18.57-18.66 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$), 15.63-15.64 ($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) y 38.34-38.43 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$); en base al agua local, el valor isotópico $\delta^{18}\text{O}$ local para el sitio de Machu Picchu es -13.8‰ (vs. SMOW).

6. Discusión

6.1 Interpretando los resultados de $\delta^{18}\text{O}$

La interpretación de los resultados del isótopo de O de la población humana de Machu Picchu requiere un encuadre general de las condiciones ambientales en el sitio mismo. Machu Picchu se encuentra a lo largo de una cresta que conecta las montañas de Huayna Picchu y Machu Picchu 13° al sur del ecuador, a 2438 metros sobre el nivel del mar, en la zona ecológica quechua (Miller 2003). Con base en los datos del núcleo de hielo de la capa de hielo Quelccaya, ubicada aproximadamente a 250 km al sureste del sitio, la precipitación anual promedio de la región de Machu Picchu durante la ocupación del sitio se ha estimado en 1940 mm (Thompson *et al.* 1992). Estudios del sitio en sí indican que no había un sistema de riego en Machu Picchu, probablemente debido a la precipitación anual adecuada (Wright *et al.* 1997c). El clima en la región se caracteriza por una estación

seca de mayo a agosto y una estación húmeda de octubre a marzo. Aunque los datos del núcleo de hielo de Quelccaya apuntan a un clima similar en general durante el período incaico al visto actualmente, estos datos también sugieren que el período ca. 1450-1500 d. C. era más seco que ca. 1500-1540 d. C. Los datos modernos de precipitación para los Andes Centrales (Bowen y Wilkinson 2002) siguen este patrón general, y el agua recolectada de una fuente alimentada por un manantial en Machu Picchu en julio de 2005, durante la estación seca, exhibe un valor $\delta^{18}\text{O}$ medio de -13.8‰. Teniendo en cuenta estos factores, se podría esperar que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ para la región disminuirían en relación con el $\delta^{18}\text{O}$ en elevaciones más secas y bajas de las regiones costeras, mientras que se enriquecerían relativamente frente a regiones con elevaciones más altas, como el altiplano boliviano. Además, se podría esperar que las personas que vivieron en Machu Picchu durante el primer medio siglo de ocupación del sitio exhiban un $\delta^{18}\text{O}$ agotado en relación con las personas que vivieron durante las últimas décadas que fueron más secas. No es posible distinguir entierros anteriores versus posteriores en Machu Picchu; sin embargo, si esta tendencia de sequía tuvo efectos significativos sobre el $\delta^{18}\text{O}$ de las fuentes de agua potable, se esperaría cierta bimodalidad en las distribuciones de $\delta^{18}\text{O}$ que reflejara generaciones anteriores frente a posteriores.

La siguiente fórmula modificada de Iacumin *et al.* (1996) (ver también Dupras y Schwarcz 2001) se utilizó para convertir $\delta^{18}\text{O}$ del esmalte en $\delta^{18}\text{O}$ estimado del agua bebida durante la formación del esmalte:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonato}} - 31.2/0.78 = \delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}$$

En general, los valores de $\delta^{18}\text{O}$ calculados para el agua consumida por los individuos de Machu Picchu al principio de su vida abarcan todo el rango de $\delta^{18}\text{O}$

estimado para la precipitación en los Andes Centrales (Bowen y Wilkinson 2002). Solo tres individuos están dentro del $\delta^{18}\text{O}$ del agua recolectada en el sitio de Machu Picchu; aunque estos datos no abarcan todas las fuentes de agua disponibles, sugieren fuertemente que la población de Machu Picchu consumió diferentes fuentes de agua durante sus años tempranos de vida.

Debe notarse que Machu Picchu, al igual que otros sitios incas, tiene canales y fuentes alimentados por manantiales que todavía funcionan en la actualidad (Wright *et al.* 1997a, 1997b) y probablemente tenía cisternas para recolectar y almacenar agua de lluvia. Además, el río Urubamba, que se ramifica, corre a lo largo de la base de las montañas de Machu Picchu y Huayna Picchu y es una fuente de agua dulce fácilmente accesible. Todas estas fuentes de agua estarían sujetas a diferentes presiones de evaporación frente al agua precipitada en sí, incluso a través del hervor o de la preparación de chicha de maíz, y cada una tendría diferentes valores de $\delta^{18}\text{O}$. Sin embargo, asumir que la variación en $\delta^{18}\text{O}$ entre la población de Machu Picchu se debe a la variación entre las diferentes fuentes de agua locales en el sitio es suponer una variación prolongada, idiosincrásica y extrema en el consumo de agua en el sitio, lo que parece poco probable. Por otra parte, la variedad de fuentes potenciales de agua sugerida por los datos de $\delta^{18}\text{O}$ del carbonato de esmalte excede el número de fuentes de agua en Machu Picchu e indica en cambio que la mayoría de la población de estudio se originó en regiones caracterizadas por grados variables de precipitación y evaporación. Además, no hay bimodalidad en la distribución de $\delta^{18}\text{O}$ humano que sugiera una diferencia generacional causada por una tendencia de sequía. Si bien esto no descarta posibles efectos del aumento de la aridez a lo largo del tiempo en estos valores isotópicos, sí sugiere que cualquier efecto es pequeño.

Cabe señalar que, al basarse en los dientes que se desarrollan durante los primeros años de vida (en particular los primeros molares permanentes y los primeros incisivos, y en menor grado los incisivos permanentes y los segundos molares), es probable que haya un enriquecimiento en la infancia y niñez temprana y un menor grado en los datos isotópicos de la infancia intermedia debido a los efectos de la lactancia materna. Wright y Schwarcz (1998, 1999) sugieren que los cambios dentro de los dientes por debajo de 0.2‰ no son biológicamente significativos, mientras que las diferencias que exceden 0.5‰ entre los dientes de la misma persona pueden asociarse a suplementos de agua que no correspondan a la leche materna ni al cese de la lactancia. Las diferencias entre los dientes de individuos en la infancia, niñez temprana y niñez intermedia del sitio de Machu Picchu varían de 0.0‰ a 1.9‰, con dos individuos atípicos que muestran diferencias de 3.6‰ y 5.6‰; esto sugiere una variación sustancial de $\delta^{18}\text{O}$ en la leche materna consumida, así como en el momento y la naturaleza de la suplementación y en el destete. Sin embargo, la misma interpretación de la variación potencial de la fuente de agua también se aplica a estos procesos; las madres de la población de Machu Picchu habrían variado sustancialmente sus fuentes de agua, que a su vez se metabolizarían en la formación de la leche materna, mientras que las fuentes de agua para la suplementación también habrían variado ampliamente. Este cambio probablemente excede las fuentes de agua en Machu Picchu y sugiere nuevamente variación en la fuente de agua vinculada a diferentes escenarios de la vida temprana entre la población de estudio. Además de los efectos de la lactancia materna, este rango dentro de la variación individual también podría deberse a un posible movimiento entre regiones isotópicamente distintas durante los primeros años de vida antes de

establecerse en Machu Picchu o a una combinación de los dos aspectos.

Utilizando datos promedio anuales de $\delta^{18}\text{O}$ de la precipitación moderna, parece que varios individuos pasaron sus primeros años de vida en regiones costeras áridas y enriquecidas con $\delta^{18}\text{O}$, mientras que otros pudieron haber vivido en regiones con poco $\delta^{18}\text{O}$, como la sierra y el altiplano. La complejidad de los patrones de precipitación andina, los sistemas fluviales y por lo tanto la posible variación intrarregional entre las fuentes de agua significan que el umbral de 2‰ propuesto por estudios de otras partes del mundo puede no ser apropiado para un contexto andino, como se señaló anteriormente. Sin embargo, la amplia variación en $\delta^{18}\text{O}$ en la población de Machu Picchu, superior a 7‰ en cada etapa de desarrollo, se refleja en una variación similar amplia en $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, que son indicadores de la geología local independientes del clima. En consecuencia, se pueden obtener algunas ideas analizando el $\delta^{18}\text{O}$ como *proxy* del entorno local junto con los datos isotópicos de Sr y Pb.

6.2 Interpretando los resultados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

La región de los Andes relevante para este estudio está compuesta por dos principales provincias morfotectónicas: la cordillera Occidental y la cordillera Oriental (figura 5). Las dos zonas tienen una geología distinta y, por lo tanto, diferentes composiciones isotópicas de Pb y Sr. La cordillera Occidental está compuesta por rocas volcánicas cenozoicas que recubren sedimentos mesozoicos. Se espera que las rocas volcánicas contengan Sr y Pb relativamente menos radiogénicos en comparación con las formaciones de la cordillera Oriental, que consisten principalmente en sedimentos del Paleozoico. Por lo tanto, al evaluar la variación absoluta e intentar asignar regiones de origen a la población de estu-

dio de Machu Picchu, se esperaría generalmente $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ más altos en las formaciones paleozoicas que componen la cordillera Oriental y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inferiores en las secuencias volcánicas de la cordillera Occidental. Estas expectativas son generales, dada la complejidad geológica de los Andes. Para complicar una simple distinción entre las dos zonas morfotectónicas, está el hecho de que se observan rocas graníticas mesozoico-cenozoicas en ambas cordilleras (figura 5) y el sitio de Machu Picchu está asociado a uno de estos afloramientos granitoides. Además, los argumentos de Price *et al.* (2002) indican que el rango geológico de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en un área determinada es más amplio que el rango promedio disponible biológicamente que circula a través de las redes alimentarias. Por lo tanto, los datos isotópicos Sr y Pb de la fauna moderna y arqueológica de varias regiones de los Andes Centrales son particularmente útiles para estimar el lugar de origen de los individuos de Machu Picchu. Estos datos provienen de Knudson *et al.* (2004, 2005), Knudson y Price (2007) y Andrushko *et al.* (en prensa) y de las muestras de fauna analizadas en este estudio. Aunque no hay datos de isótopos de Sr para el granitoide de Machu Picchu, se espera que tengan proporciones relativamente elevadas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ya que están emplazadas en las gruesas secuencias paleozoicas de la cordillera Oriental. Por lo tanto, los $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativamente elevados (por encima de 0.710) observados en la fauna local muy probablemente reflejan las composiciones isotópicas de Sr de los suelos desarrollados sobre los granitoides de Machu Picchu.

Muy pocos individuos del conjunto del estudio se pueden caracterizar como de origen local según el Sr de la fauna local y las firmas isotópicas del Pb (figuras 6 y 7). Sin embargo, hay una cantidad de factores de confusión potenciales que podría sesgar las firmas isotópicas de Sr de los residentes locales hacia valores no locales. Entre estos factores de con-

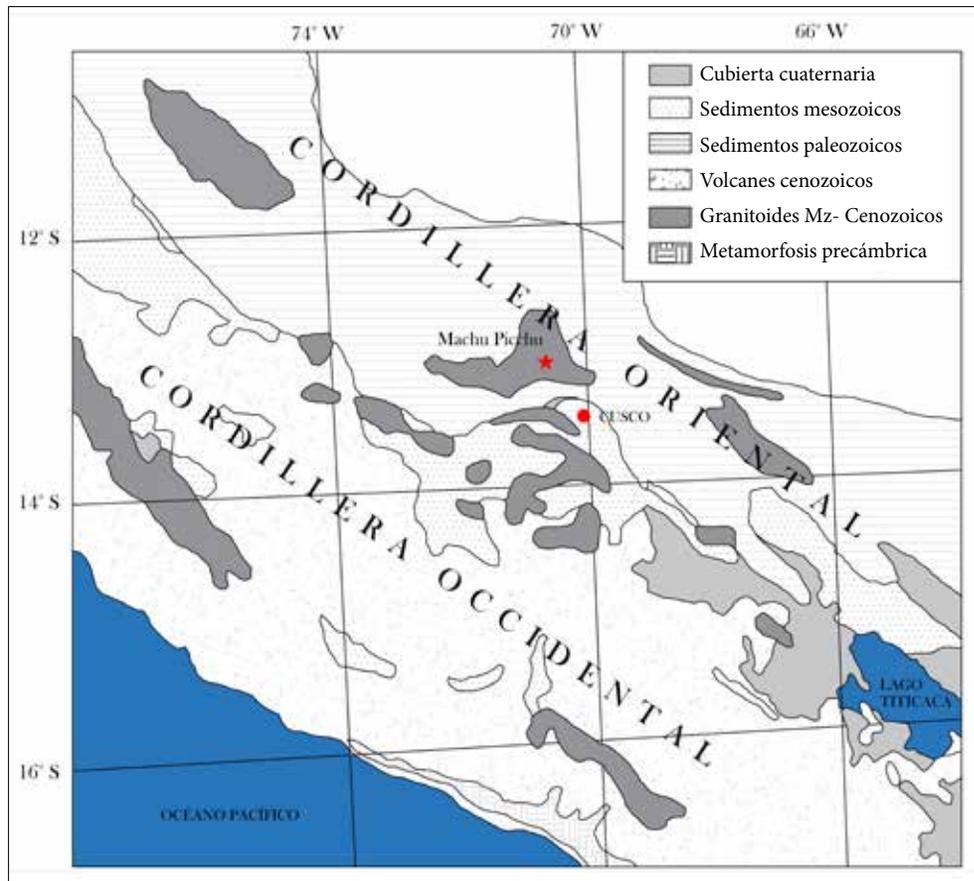


Figura 5. Mapa geológico simplificado del área de estudio; modificado a partir de: Divisão de Geologia e Mineralogia (1964).

La fusión de potenciales se encuentra el acceso a alimentos importados. El Sr sustituye al calcio en la formación de la matriz de hidroxiapatita de huesos y dientes (Nelson *et al.* 1986). Por lo tanto, las mayores fuentes de Sr en la dieta de un individuo son los alimentos ricos en calcio, como huesos de pescado o harina de huesos, productos de hoja verde, legumbres y productos lácteos (Burton 1996; Burton y Wright 1995; Knudson 2004); un factor de confusión dietético adicional es la sal marina importada (Wright 2005). En particular, el acceso a sal marina o a alimentos marinos ricos en calcio, como pescado seco o harina de pescado, durante la formación del esmalte puede sesgar las proporciones de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ en este con respecto al agua de mar, que mantiene una proporción constante de 0.7092 (Slovak 2007; Veizer 1989). Además, el

potencial agrícola en Machu Picchu era insuficiente para mantener a la población permanente (Wright *et al.* 1997c) y los análisis de polen de las terrazas agrícolas en Machu Picchu sugieren que una porción significativa de su tierra cultivable se usó para cultivar suplementos, como ajíes, hojas de mate y flores ornamentales (Jones 2007). Por lo tanto, se podría argumentar que la población de Machu Picchu no estaba compuesta por inmigrantes que crecieron en otros lugares, sino más bien por individuos locales que tenían acceso a una amplia variedad de alimentos importados. Este es un escenario poco probable por varias razones.

En primer lugar, los datos isotópicos de Sr fueron analizados estadísticamente junto con los de nitrógeno a través de la proteína colágena de dentina

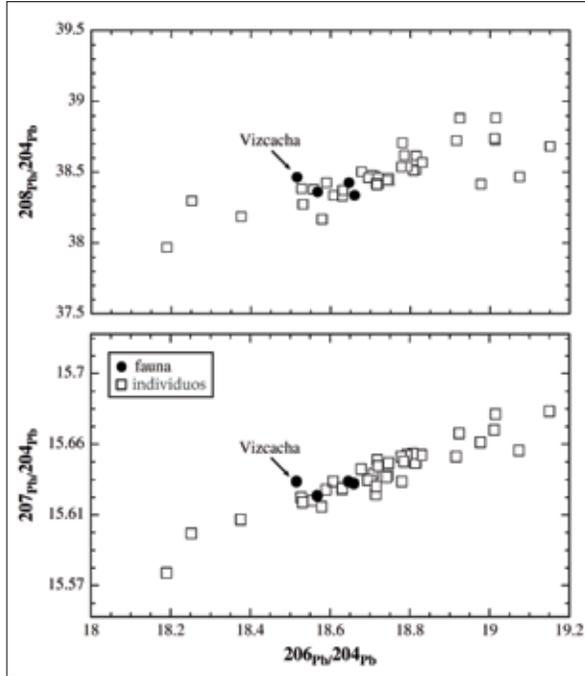


Figura 6. Composiciones isotópicas de plomo de la población de estudio (cuadrados blancos) en relación a la fauna arqueológica de Machu Picchu (círculos negros); se supone que la fauna (con excepción de *L. trichodactylus*, aquí etiquetada como “vizcacha”) refleja la composición isotópica de plomo del sitio Machu Picchu.

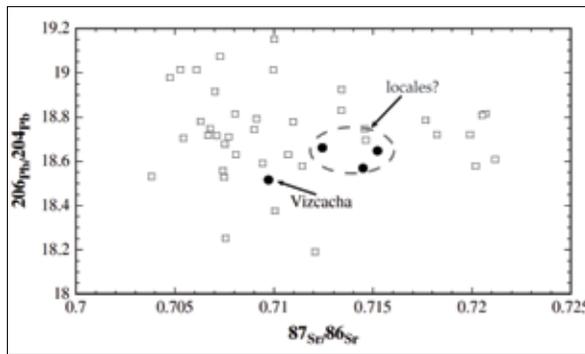


Figura 7. Composiciones isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ frente a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los individuos de Machu Picchu en relación a fauna local. Los valores humanos (cuadrados blancos) exhiben una variación mucho más amplia en relación a los valores isotópicos de la fauna. Además, se encuentra variación moderada en las muestras de fauna (círculos negros, excluyendo a *L. trichodactylus*, “vizcacha”), lo que posiblemente refleja microvariación isotópica local. Los valores isotópicos humanos en relación a la fauna local sugieren que pocos individuos eran de origen local, si es que los hay en absoluto.

de los dientes para un subconjunto de la población con el fin de proporcionar más resolución en la reconstrucción de la dieta durante la formación de los dientes (Turner *et al.* 2010). Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ indican el tipo general de proteína consumida en las dietas de los individuos y a menudo pueden diferenciar las fuentes de proteínas terrestres de las acuáticas; y así, permiten algún examen respecto a si hay un sesgo en los valores $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ hacia una dieta de base marina como una señal costera. Sin embargo, no hubo correlación significativa entre $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el subconjunto analizado de la población de Machu Picchu, lo que sugiere que no hay efecto de sesgo de los alimentos marinos en los valores humanos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

En segundo lugar, la industria láctea no se practicaba en los Andes y por lo tanto los productos lácteos no habrían contribuido en forma alguna a las dietas andinas. En cuanto a plantas leguminosas como los frijoles, sí pueden haber contribuido a la dieta en Machu Picchu y tras secarse ellos pueden transportarse a distancias considerables sin deteriorarse; sin embargo, los datos $\delta^{15}\text{N}$ descritos anteriormente para la población de Machu Picchu no sugieren una dependencia sustancial de fuentes de proteína leguminosa. Aunque en general son más perecederos y menos adecuados para el transporte a larga distancia, no se puede descartar el papel de plantas de hoja verde importadas como fuente dietética de Sr. Sin embargo, los análisis etnohistóricos (Rowe 1946) y los datos isotópicos de carbono y nitrógeno de hidroxiapatita de esmalte y proteínas colágenas de dentina (Turner 2008) son consistentes con una dieta infantil que haya incorporado proporciones variables de carne terrestre, granos C_3 y C_4 y otros productos vegetales. Todos estos alimentos son más bajos en calcio y contribuirían con menos Sr a la dieta (Burton 1996; Knudson 2004). Cabe señalar

que estos datos también sugieren una posible contribución de peces de agua dulce a la dieta de Machu Picchu. Los peces, especialmente sus huesos, son fuente potencial de calcio y, por lo tanto, no se puede descartar la posibilidad de la importación de peces secos de agua dulce. Sin embargo, la población de Machu Picchu también podría haber obtenido peces de agua dulce de varios ríos y lagos locales en la región de Urubamba. Además, los alimentos importados tendrían poco efecto sobre las proporciones de isótopos de Pb, que son igualmente variadas; esto se debe a que estos últimos aparentemente no están influenciados por las fuentes de alimentos (Kamenov 2008 y sus referencias).

En tercer lugar, asumir que la variación isotópica de Sr observada en la población de Machu Picchu se debe a la preferencia dietética en vez de a diferencias en la región de origen, es suponer una variación extrema, idiosincrásica y de largo plazo en la dieta de todos los individuos de la población estudiada. No hay datos etnohistóricos o arqueológicos que sugieran tal variación en la subsistencia; por el contrario, la mayoría de los modelos de las antiguas economías andinas sugieren el agrupamiento y la redistribución de los recursos en base al parentesco y los lazos comunitarios (Murra 1980; Rostworowski de Diez Canseco 1970; Tomczak 2003). En cuarto lugar, Kendall (1988) señala que el valle de Urubamba es una fuente importante de maíz y otros cultivos para la capital del Cuzco, lo que significa que incluso los alimentos distribuidos a Machu Picchu desde almacenes imperiales cerca de la capital probablemente provenían de una fuente local de ese valle. Con base en estos factores, es razonable sugerir que la variación isotópica de Sr de esta magnitud se debe en gran parte, no a las importaciones de alimentos, sino a la variación de la geología en las diferentes regiones donde nacieron las personas.

Hay datos de isótopos Pb sistemáticos disponibles para el contexto geológico de los Andes Centrales (Mamani *et al.* 2008), incluyendo el área de Machu Picchu y las regiones de los Andes del Sur (figura 8). Con base en las proporciones $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ que se muestran en el mapa, Machu Picchu se encuentra en un dominio regionalmente muy disperso, caracterizado por $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, que varía entre 18.38 y 18.90. La mayoría de los individuos de Machu Picchu muestran composiciones isotópicas de Pb dentro de este rango (figura 6), lo que sugiere que podrían ser originarios de la región general del sitio y sus alrededores. Sin embargo, los resultados isotópicos combinados de Sr y Pb proporcionan restricciones adicionales en sus regiones de origen y muy pocos casos coinciden tanto en la composición isotópica estimada de Sr y de Pb en el sitio de Machu Picchu (figura 7).

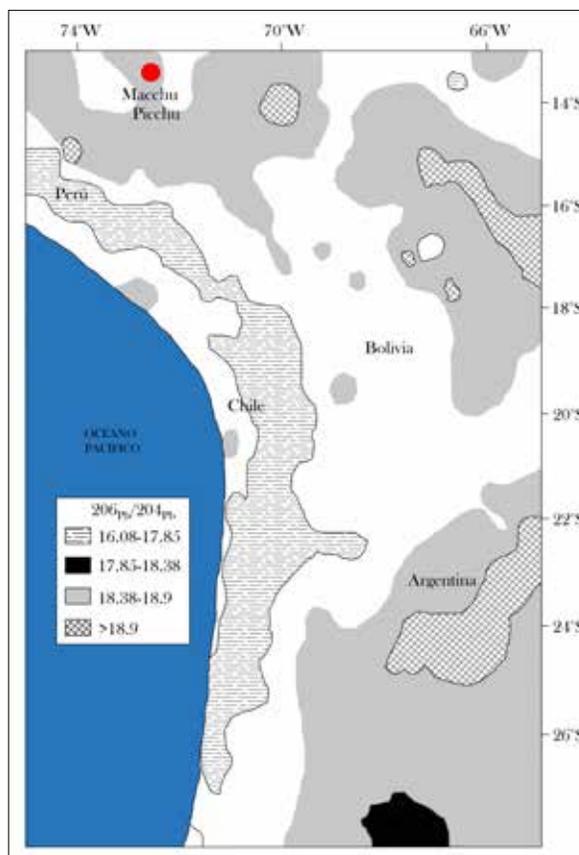


Figura 8. Mapa que muestra los dominios isotópicos Pb en los Andes Centrales; modificado a partir de Mamani *et al.* (2008).

Algunas personas muestran valores de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ superiores a 18.90, lo que sugiere que eran originarias de regiones al oeste y sudoeste del sitio, posiblemente incluso desde el área del lago Titicaca (figuras 1 y 8); otras muestran elevados $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (> 18.90) y bajos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (figura 7), lo que indica orígenes isotópicos provenientes de los terrenos volcánicos de la cordillera Occidental (figura 5). En general, se espera que las rocas volcánicas del Cenozoico al este y sureste de Machu Picchu tengan valores $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ relativamente inferiores (< 0.7080) en comparación con los sedimentos del Paleozoico al oeste y suroeste del sitio.

En comparación con los datos isotópicos de fauna y los valores geológicos locales, los individuos de Machu Picchu muestran una variación mucho más amplia en sus valores isotópicos de Pb y Sr (figuras 6 y 7). Suponiendo que los isótopos de Pb y Sr de los tres especímenes de fauna local analizados representan una señal local de Machu Picchu con alguna microvariación indicada, entonces pocos o ningún individuo en el sitio eran de origen local. Tentativamente, la combinación de resultados isotópicos de Sr y Pb sugiere que muchos de los individuos en la población estudiada nacieron y pasaron sus primeros años de vida en diversas regiones al este o sureste de Machu Picchu. La aparente falta de agrupación entre los individuos en la población de Machu Picchu basada en los valores de los isótopos Sr y Pb, que se muestra de manera similar en los valores de isótopos O, sugiere poca concordancia en la residencia de los primeros años de vida. Esta amplia distribución estocástica para los tres conjuntos de parámetros isotópicos coincide mejor con la distribución hipotética de una población de *yana* o de una combinación de *yanacona* y *acllacona* (figura 2).

6.3 Síntesis de los análisis isotópicos de Sr, Pb y O

La amplia variación isotópica observada en la po-

blación de Machu Picchu no necesariamente excluye cualquier grupo dentro de la población que no sea inmediatamente aparente, ya que los individuos pueden compartir algunas similitudes sutiles en el fondo. El análisis estadístico multivariable permite la elucidación de estos puntos comunes potenciales a través del análisis sintético de todos los parámetros isotópicos; sin embargo, el tamaño de muestra relativamente pequeño en este estudio (de hecho, en la mayoría de los estudios de isótopos bioarqueológicos) compromete el poder estadístico de la mayoría de los análisis multivariables. El análisis jerárquico de *clusters* es apropiado tanto para el diseño de este estudio como para los tamaños de muestra de los resultados isotópicos, por lo tanto, se realizó aquí para examinar cualquier agrupación significativa entre individuos en la población por sus valores de todos los parámetros isotópicos.

Para realizar el análisis de *clusters* jerárquico, los parámetros isotópicos de Pb, Sr y O fueron transformados en puntuaciones *z* con el objetivo de controlar la variación en las escalas entre cada proporción isotópica. Los valores individuales de $\delta^{18}\text{O}$ se colapsaron en una única variable al seleccionar el período de desarrollo (es decir, el tipo de diente) que coincidía con el tipo de diente muestreado para la caracterización isotópica de Sr y Pb. El análisis se realizó para modelos que imponen dos, tres, cuatro, cinco, seis y siete *clusters*. Se realizó un análisis de varianza (Anova) de un factor en cada modelo para evaluar las diferencias significativas en los valores isotópicos medios entre los *clusters* y delinear el número de *clusters* que fueron más significativamente diferentes a través de todos los parámetros isotópicos utilizados. Los resultados muestran la mayor importancia en un modelo con seis *clusters*, abarcando cada uno gamas específicas de datos isotópicos (figura 9a). Por lo tanto, parece que hay seis agrupaciones isotópicas en la población,

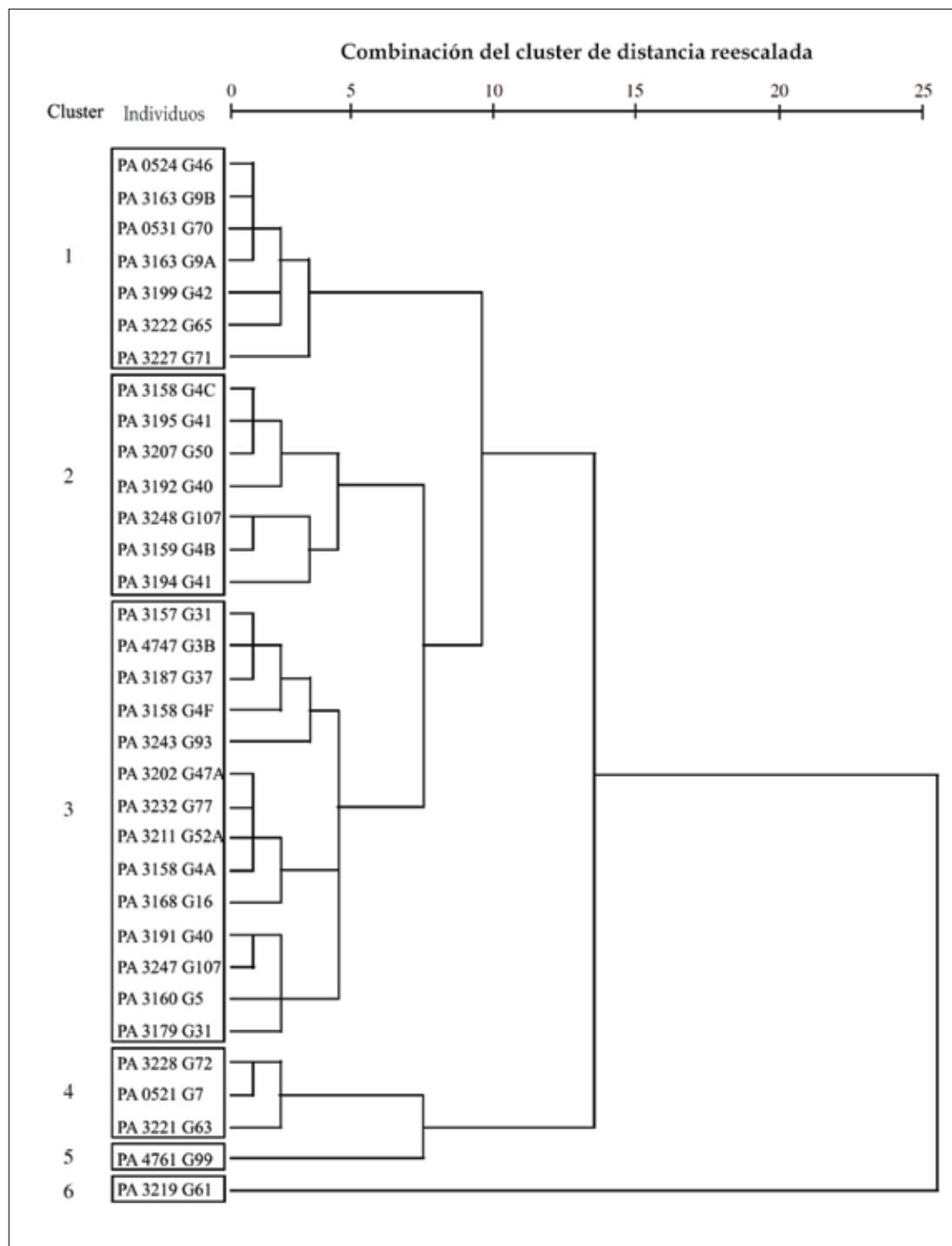


Figura 9a. Resultados del análisis de agrupamiento jerárquico: dendrograma que muestra los enlaces promedio entre grupos, a base de parámetros isotópicos O, Sr, y Pb para miembros de la población de Machu Picchu con datos para todos los parámetros isotópicos (N = 33). Los recuadros representan cada uno de los seis clusters del modelo analítico de seis clusters, que muestra el mayor grado de significación estadística usando un Anova unidireccional.

que incluyen dos individuos atípicos (PA3219 G.61 y PA4761 G.99), cada uno asignado a su propio *cluster*.

Para medir si estos individuos atípicos y/o los tres individuos en el cuarto *cluster* tuvieron un efecto artificial en el significado de los seis *clusters*, todos los individuos fueron excluidos y el análisis de agrupamiento fue realizado nuevamente, imponiéndose dos, tres y cuatro *clusters* y probando cada modelo para las diferencias significativas entre *clusters*. El dendrograma resultante exhibe los mismos tres *clusters* entre los 39 individuos en el grupo reducido, como se ve en los tres primeros *clusters* de los dendrogramas de seis *clusters* para todo el grupo. En forma consistente al dendrograma, el Anova unidireccional de dos, tres y cuatro *clusters* indica mayor significancia con un modelo de tres *clusters*. Además, las comparaciones de modelos lineales multivariados que comprueban las diferencias significativas por pares entre los tres grupos (es decir, el *cluster* 1 diferente de los *clusters* 2 y 3, el *cluster* 2 diferente de los *clusters* 1 y 3, etc.) no muestran ningún patrón entre los parámetros isotópicos. Todos estos resultados indican diferencias

significativas entre los seis *clusters* del grupo completo y ningún efecto de sesgo de los dos individuos atípicos del cuarto *cluster* de tres personas.

El rango de valores para cada parámetro isotópico entre los miembros de cada uno de los seis *clusters* se definió y se comparó con los datos de referencia disponibles para crear un perfil isotópico agregado de posibles regiones de origen para los individuos en cada *cluster* (tabla 4). Hay áreas de superposición entre estos rangos de parámetros isotópicos individuales; además, el reducido conjunto de criterios de referencia disponibles para los Andes Centrales significa que algunos de estos perfiles son más tentativos que otros. Por lo tanto, estas regiones de origen propuestas no están pensadas como asignaciones definitivas, sino como sugerencias provisionales. Con estas limitaciones en mente, los resultados isotópicos que se presentan sugieren tentativamente que la población de Machu Picchu estaba compuesta principalmente por individuos del sur de la costa peruana y/o del norte de Chile y de la región del lago Titicaca, posiblemente también de tierras altas del norte del Perú, la costa

Tabla 4. Características generales de seis agrupamientos isotópicos en Machu Picchu (‰)

| Grupo (cantidad de individuos asignados) | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | Características residenciales potenciales |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--|
| 1 (7) | 0.707442 – 0.711433 | 18.252 – 18.582 | 15.603 – 15.629 | 38.168 – 38.386 | 19.1 – 21.2 | Tierras altas del sudoeste del Perú; norte de Chile, noroeste de Bolivia |
| 2 (7) | 0.714593 – 0.721183 | 18.608 – 18.815 | 15.636 – 15.654 | 38.336 – 38.623 | 20.4 – 25.6 | Noroeste del Perú |
| 3 (14) | 0.703835 – 0.713409 | 18.623 – 18.977 | 15.623 – 15.661 | 38.273 – 38.709 | 20.5 – 26.0 | Alcance variable en múltiples regiones |
| 4 (3) | 0.704340 – 0.707020 | 18.916 – 19.015 | 15.652 – 15.679 | 38.725 – 38.884 | 26.6 – 26.9 | Sur del Perú; ¿costa? |
| 5 (1 ^a) | 0.713423 | 18.924 | 15.667 | 38.882 | 21.6 | ¿Tierras altas de Bolivia? |
| 6 (1 ^b) | 0.712079 | 18.190 | 15.578 | 37.968 | 25.2 | ¿Costa norte? |

Notas

^a PA4761 G.99

^b PA3219 G.61

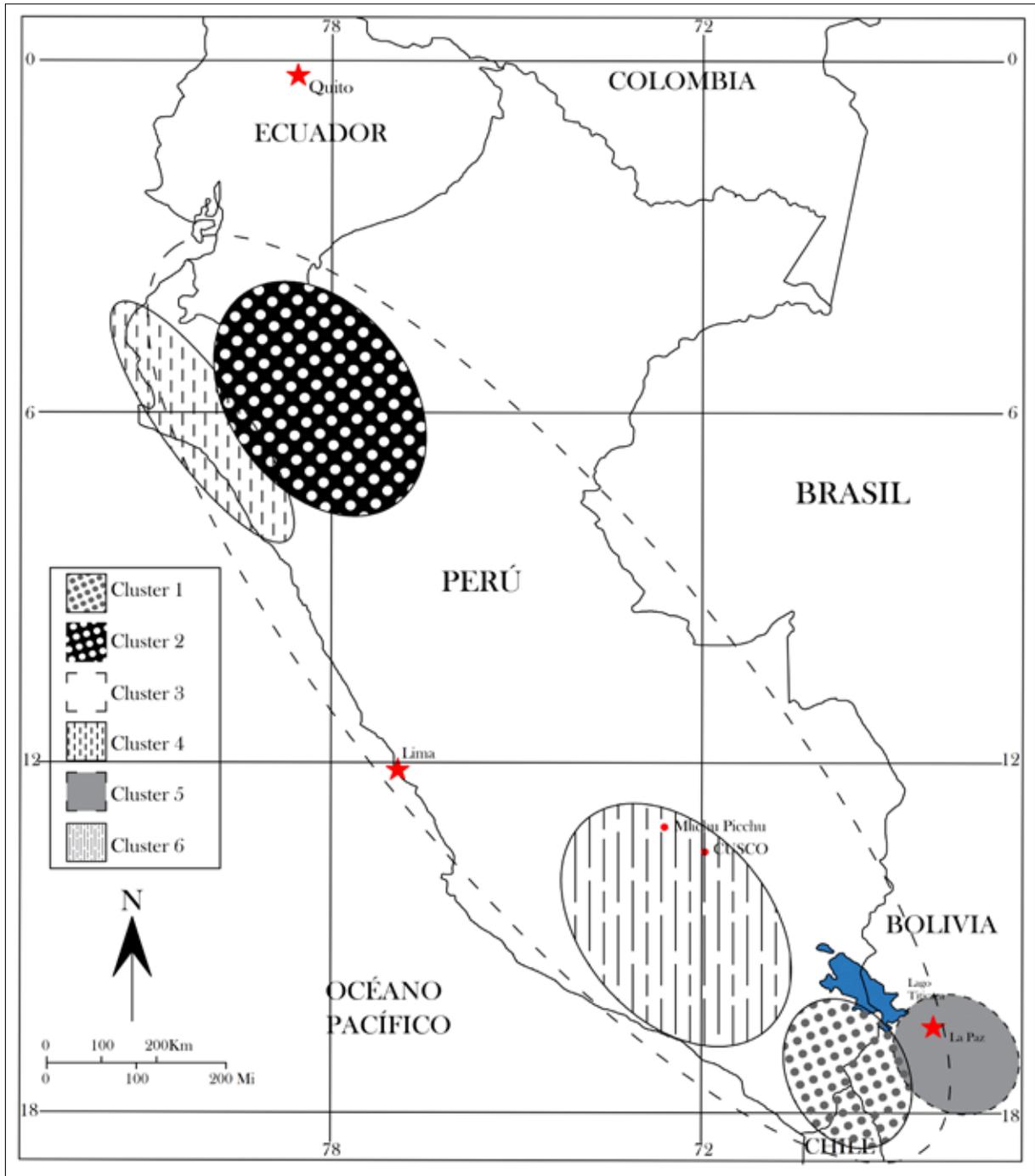


Figura 9b. Mapa regional que muestra las zonas de origen sugeridas de los individuos de Machu Picchu en base al análisis de agrupamiento jerárquico. Los bordes con líneas punteadas indican sugerencias basadas en tamaños pequeños de muestras y/o un mayor grado de incertidumbre.

norte del Perú y/o el sur de Ecuador y tierras altas de Bolivia más allá de la región del Titicaca (figura 9b). Sin embargo, es absolutamente necesario realizar investigaciones isotópicas adicionales en los Andes Centrales para perfilar mejor la variabilidad local y regional y, por lo tanto, para interpretar la movilidad en tiempos antiguos.

7. Conclusiones

Una característica obvia emerge de las composiciones isotópicas de O, Sr y Pb del esmalte del conjunto de esqueletos de Machu Picchu: la variación de todos los parámetros isotópicos es amplia y dispersa, sin una agrupación clara en cada distribución y con agrupaciones ambiguas por *clusters* jerárquicos. Esto sugiere: 1) una inmigración sustancial al sitio de Machu Picchu; y 2) una marcada variación en los antecedentes entre la población con grados inciertos de afinidad. Los seis *clusters* identificados pueden indicar puntos comunes sutiles en el contexto residencial en la población, pero no en la medida en que uno esperaría si los *mitmacona* formaran una parte sustancial de ella. Los resultados presentados aquí respaldan la idea de que esta población se extrajo de varias partes de los Andes Centrales, con poca similitud de antecedentes entre sus integrantes. Estos datos respaldan la interpretación de que los residentes de Machu Picchu eran *yanacona* y/o inmigrantes mixtos de *yanacona* y *acllacona*. En lugar de una colonia de trabajadores o un grupo de comuneros locales, el sitio de Machu Picchu fue permanentemente mantenido por el inca Pachacuti a través de un grupo cosmopolita de sirvientes.

Rastrear individuos hacia sus regiones de origen potenciales puede ser difícil, dada la relativa novedad de estos métodos en los Andes y los escasos datos de referencia. Sin embargo, es posible la ubicación general de individuos en sus regiones de origen, como se de-

muestra aquí. La complejidad de los datos presentados apunta a la importancia de los análisis matizados de la dinámica poblacional antigua y del movimiento poblacional, especialmente en la región andina. Sin embargo, la capacidad de identificar clases sociales que no eran de élite en el paisaje arqueológico del período incaico, en base a distribuciones isotópicas variables, podría avanzar significativamente las interpretaciones de las diferentes funciones de los sitios y su relación con el núcleo imperial durante un período de mayor inestabilidad. Los análisis presentados aquí proporcionan herramientas potencialmente útiles para explorar esta área de investigación.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la National Science Foundation (Dissertation Improvement Grant, BCS-0615409) y por la Graduate School of Arts and Sciences de la Emory University. Los autores agradecen a Richard L. Burger, conservador de las colecciones de antropología del Museo de Historia Natural Peabody de la Yale University, por el permiso para estudiar y tomar muestras de la colección de restos humanos y fauna de Machu Picchu; y a Lucy Salazar, Roger Colten y Maureen DaRos por su inestimable ayuda durante la recolección de datos y muestras. Muchas gracias también a John Krigbaum y Benjamin Valentine del Departamento de Antropología de la University of Florida, Gainesville, por facilitar y ayudar en la preparación de muestras de isótopos de Sr y Pb; a Jason Curtis, del Departamento de Ciencias Geológicas de la University of Florida, por el análisis de espectrometría de masas de $\delta^{18}\text{O}$; y a Craig Hadley, del Departamento de Antropología de la Emory University, por su valioso asesoramiento en los análisis estadísticos. Este manuscrito fue mejorado mucho gracias a los perspicaces comentarios de tres revisores anónimos.

Referencias bibliográficas

- AMBROSE, S. H.
1993 "Isotopic Analysis of Paleodiets: Methodological and Interpretive Considerations". En: SANDFORD, M. K. (Ed.). *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, pp. 59-130.
- ANDRUSHKO, V. A.; M. R. BUZON; A. SIMONTETTI y R. A. CREASER
(en prensa) *Strontium Isotope Evidence for Prehistoric Migration at Chokepukio, Valley of Cuzco, Peru*. *Latin American Antiquity*.
- BENTLEY, R.A.; L. CHIKHI y T. D. PRICE
2003 "The Neolithic Transition in Europe: Comparing Broad Scale Genetic and Local Scale Isotopic Evidence". En: *Antiquity* N° 77, pp. 63-66.
- BENTLEY, R.A. y C. KNIPPER
2005 "Geographical Patterns in Biologically Available Strontium, Carbon and Oxygen Isotope Signatures". En: *Prehistoric Southwest Germany. Archaeometry*, N° 47, pp. 629-644.
- BENTLEY, R. A.; T. D. PRICE y E. STEPHAN
2004 "Determining The 'Local' Sr-87/Sr-86 Range for Archaeological Skeletons: A Case Study from Neolithic Europe". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 31, pp. 365-375.
- BINGHAM, H.
1979 [1930] *Machu Picchu: Citadel of the Incas*. Nueva York: Hacker Art Books.
- BOWEN, G. J. y B. WILKINSON
2002 "Spatial Distribution of Delta-18O". En: *Meteoritic Precipitation. Geology*, N° 30, pp. 315-318.
- BOWER, N. W.; S. A. MCCANTS; J. M. CUSTODIO; M. E. KETTERER; S. R. GETTY y J. M. HOFFMAN
2007 "Human Lead Exposure in a Late 19th Century Mental Asylum Population". *Science of the Total Environment*, N° 372, pp. 463-473.
- BRAZIL DIVISÃO DE GEOLOGIA E MINERALOGIA
1964 *Mapa geológico da America do Sul*. Rio de Janeiro.
- BUDD, P.; J. MONTGOMERY; J. EVANS y B. BARREIRO
2000 "Human Tooth Enamel as a Record of the Comparative Lead Exposure of Prehistoric and Modern People". En: *Science of the Total Environment*, N° 263, pp. 1-10.
- BURTON, J. H.
1996 "Trace Elements in Bone as Paleodietary Indicators". En: *Archaeological Chemistry*, N° 625, pp. 327-333.
- BURTON, J. H. y L. E. WRIGHT
1995 "Nonlinearity in the Relationship between Bone Sr/Ca and Diet: Paleodietary Implications". En: *American Journal of Physical Anthropology*, N° 96, pp. 273-282.
- CAHILL, D.
1994 "Colour by Numbers: Racial and Ethnic Categories in the Viceroyalty of Peru, 1532-1824". En: *Journal of Latin American Studies*, N° 26, pp. 325-346.
- CARLSON, A. K.
1996 "Lead Isotope Analysis of Human Bone for Addressing Cultural Affinity: A Case Study from Rocky Mountain House, Alberta". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 23, pp. 557-567.
- CASSMAN, V.
2000 "Prehistoric Ethnicity and Status Based on Textile Evidence from Arica, Chile". En: *Chungará*, N° 32, pp. 253-257.
- CHIARADIA, M.; A. GALLAY y W. TODT
2003 "Different Contamination Styles of Prehistoric Human Teeth at a Swiss Necropolis (Sion, Valais) Inferred from Lead and Strontium Isotopes". En: *Applied Geochemistry*, N° 18, pp. 353-370.

CONRAD, G. W. y A. A. DEMAREST

1984 *Religion and Empire: The Dynamics of Aztec and Inca Expansionism*. Cambridge University Press.

D'ALTROY, T. N.

1992 *Provincial Power in the Inka Empire*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press.

2001 "A View of the Plains from the Mountains: Comments on Uruk by an Andeanist". En: ROTHMAN, M. S. (Ed.). *Uruk Mesopotamia and Its Neighbors Cross-cultural Interactions and Their Consequences in the Era of State Formation*. Santa Fe: School of American Research Press, pp. 445-476.

DANSGAARD, W.

1964 "Stable Isotopes in Precipitation". En: *Tellus*, N° 16, pp. 436-468.

DASCH, E. J.

1969 "Strontium Isotopes in Weathering Profiles, Deep-sea Sediments and Sedimentary Rocks". En: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, N° 33, pp. 1521-1522.

DUPRAS, T. L. y H. P. SCHWARCZ

2001 "Strangers in a Strange Land: Stable Isotope Evidence for Human Migration in the Dakhleh Oasis, Egypt". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 28, pp. 1199-1208.

EARLE, T. J.; C. A. HASTORE; C. SCOTT; C. COSTIN; G. RUSSELL y E. SANDFEUR

1987 *Archaeological Field Research in the Upper Mantaro, Peru, 1982-1983: Investigations of Inka Expansion and Exchange*. Los Ángeles: Institute of Archaeology-University of California.

EATON, G. F.

1916 "The Collection of Osteological Material from Machu Picchu". En: *Memoirs of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*.

ESPINOZA SORIANO, W.

1973 "Las colonias de mitmas múltiples en Abancay, siglos XV y XVI". En: *Revista del Museo Nacional*, vol. 39, pp. 225-299.

EVANS, J. A.; C. A. CHENERY y A. P. FITZPATRICK

2006a "Bronze Age Childhood Migration of Individuals Near Stonehenge, Revealed by Strontium and Oxygen Isotope Tooth Enamel Analysis". En: *Archaeometry*, N° 48, pp. 309-321.

EVANS, J. A.; N. STOODLEY y C. A. CHENERY

2006b "A Strontium and Oxygen Isotope Assessment of a Possible Fourth Century Immigrant Population in Hampshire Cemetery, Southern England". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 33, pp. 265-272.

FAURE, G.

1986 *Principles of Isotope Geology*. Nueva York: John Wiley and Sons.

FAURE, G. y T. POWELL

1972 *Strontium Isotope Geology*. Nueva York: Springer-Verlag.

FULLAGAR, P. D.; R. C. LEMMON y P. C. RAGLAND

1971 "Petrochemical and Geochronological Studies of Plutonic Rocks in the Southern Appalachians: part I. The Salisbury Pluton". En: *Geological Society of America Bulletin*, N° 82, pp. 409-416.

GALE, N. H.

1989 "Lead Isotope Analyses Applied to Provenance Studies. A Brief Review". En: MANIATIS, Y. (Ed.), *Archaeometry*. Amsterdam: Elsevier, pp. 469-503.

GARVIE-LOK, S. J.; T. L. VARNEY y M. A. KATZENBERG

2004 "Preparation of Bone Carbonate for Stable Isotope Analysis: The Effects of Treatment Time and Acid Concentration". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 31, pp. 763-776.

GAT, J. R.

1996 "Oxygen and Hydrogen Isotopes in the Hydrologic Cycle". En: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, N° 24, pp. 225-262.

GOODMAN, A. H. y J. C. ROSE

1990 "Assessment of Systemic Physiological Perturbations from Dental Enamel Hypoplasias and Associated Histological Structures". En: *Yearbook of Physical Anthropology*, N° 33, pp. 59-110.

- GRUPE, G.; T. D. PRICE; P. SCHROTER; F. SOLLNER; C. M. JOHNSON y B. L. BEARD
1997 "Mobility of Bell Beaker People Revealed by Strontium Isotope Ratios of Tooth and Bone: A Study of Southern Bavarian Skeletal Remains". En: *Applied Geochemistry*, N° 12, pp. 517-525.
- GULSON, B. J.
1986 *Lead Isotopes in Mineral Exploration*. Nueva York: Elsevier.
- HEWITT, B. R.; C. D. WHITE; M. J. TOYNE; F. J. LONGSTAFFE y B. J. FRYER
2008 "The Aqlla of Tucume? Biogeochemical and Bioarchaeological Analyses of 19 Individuals Buried at Huaca Larga". En: *The 73rd Annual Society for American Archaeology Meeting*. Vancouver, British Columbia, 26-30 de marzo.
- HILLSON, S.
1996 *Dental Anthropology*. Cambridge: University Press.
- HODELL, D. A.; R. L. QUINN; M. BRENNER y G. KAMENOV
2004 "Spatial Variation of Strontium Isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) in the Maya Region: A Tool Tracking Ancient Human Migration". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 31, pp. 585-601.
- IACUMIN, P.; H. BOCHERENS; A. MARIOTTI y A. LONGINELLI
1996 "Oxygen Isotope Analyses of Co-Existing Carbonate and Phosphate in Biogenic Apatite: A Way to Monitor Diagenetic Alteration of Bone Phosphate?". En: *Earth and Planetary Science Letters*, N° 142, pp. 1-6.
- JONES, J. G.
2007 "Pollen Analysis of Peruvian Agricultural Terraces: Evidence of Farming at Machu Picchu and Moray". En: *The 72nd Annual Meeting of the Society for American Archaeology*. Austin, 27 de abril.
- KAMENOV, G. D.
2008 "High Precision Pb Isotopic Measurements of Teeth and Environmental Samples from Sofia (Bulgaria): Insights for Regional Lead Sources and Possible Pathways to the Human Body". En: *Environmental Geology*. doi:10.1007/s00254-007-1017-y
- KAMENOV, G. D.; P. A. MUELLER y M. R. PERFIT
2004 "Optimization of Mixed Pb-Tl Solutions for High-precision Isotopic Analyses by MC-ICP-MS". En: *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, N° 19, pp. 262-267.
- KAMENOV, G. D.; M. R. PERFIT; P. A. MUELLER y I. R. JONASSON
2008 "Controls on Magmatism in an Island Arc Environment: Study of Lavas and Sub-Arc Xenoliths from the Tabar-Lihir-Tanga-Feni Island Chain, Papua New Guinea". En: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, N° 155, pp. 635-656.
- KENDALL, A.
1988 "Inca Planning North of Cuzco between Anta and Machu Picchu and Along the Urubamba Valley". En: SAUNDERS, N. J. y DE MONTMOLLIN, O. (Eds.). *Recent Studies in Pre-Columbian Archaeology*. B. A. R. International Series, vol. 421, N° 2, pp. 457-488.
- KNUDSON, K. J.
2004 *Tiwanaku Residential Mobility and Archaeological Chemistry: Strontium and Lead Isotope Analyses in the South Central Andes* (disertación doctoral). University of Wisconsin-Department of Anthropology.
- 2008 "Oxygen Isotope Analysis in a Land of Environmental Extremes: The Advantages and Disadvantages of Isotopic Work in the Andes". En: *The 73rd Annual Society for American Archaeology Meeting*. Vancouver, British Columbia, 26-30 de marzo.
- KNUDSON, K. J. y T. D. PRICE
2007 "Utility of Multiple Chemical Techniques in Archaeological Residential Mobility Studies: Case Studies from Tiwanaku –and Chiribaya– Affiliated Sites in the Andes". En: *American Journal of Physical Anthropology*, N° 132, pp. 25-39.
- KNUDSON, K. J.; T. D. PRICE; J. E. BUIKSTRA y D. E. BLOM
2004 "The Use of Strontium Isotope Analysis to Investigate Tiwanaku Migration and Mortuary Ritual in Bolivia and Peru". En: *Archaeometry*, N° 46, pp. 5-18.

- KNUDSON, K. J.; T. TUNG; K. C. NYSTROM; T. D. PRICE y P. D. FULLAGER
2005 “The Origin of the Juch'uyupampa Cave Mummies: Strontium Isotope Analysis of Archaeological Human Remains from Bolivia”. En: *Journal of Archaeological Science*, N° 32, pp. 903-913.
- KOHN, M. J.; M. J. SCHOENINGER y J. W. VALLEY
1998 “Variability in Oxygen Isotope Compositions of Herbivore Teeth: Reflections of Seasonality or Developmental Physiology?” En: *Chemical Geology*, N° 152, pp. 97-112.
- LONGINELLI, A.
1984 “Oxygen Isotopes in Mammal Bone Phosphate: A New Tool for Paleohydrological and Paleoclimatological Research?” En: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, N° 48, pp. 385-390.
- LUZ, B.; Y. KOLODNY y M. HOROWITZ
1984 “Fractionation of Oxygen Isotopes between Mammalian Bone-Phosphate and Environmental Drinking Water”. En: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, N° 48, pp. 1689-1693.
- MADDALONI, M.; N. LOLACONO; W. MANTON; C. BLUM; J. DREXLER y J. GRAZIANO
1998 “Bioavailability of Soilborne Lead in Adults, by Stable Isotope Dilution”. En: *Environmental Health Perspectives*, N° 106, pp. 1589-1594.
- MAMANI, M.; A. TASSARA y G. WÖRNER
2008 “Composition and Structural Control of Crustal Domains in the Central Andes”. En: *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, N° 9.
- MANOLAGAS, S.
2000 “Birth and Death of Bone Cells: Basic Regulatory Mechanisms and Implications for the Pathogenesis and Treatment of Osteoporosis”. En: *Endocrine Reviews*, N° 21, pp. 115-137.
- MILLER, G. R.
2003 “Food for the Dead, Tools for the Afterlife: Zooarchaeology at Machu Picchu”. En: BURGER, R. L. y SALAZAR, L. C. (Eds.). *The 1912 Yale Peruvian Scientific Expedition Collections from Machu Picchu*. New Haven: Yale University Publications in Anthropology, pp. 1-63.
- MONTGOMERY, J.; J. A. EVANS y T. NEIGHBOUR
2003 “Sr Isotope Evidence for Population Movement within the Hebridean Norse Community of SW Scotland”. En: *Journal of the Geological Society*, N° 160, pp. 649-653.
- MONTGOMERY, J.; J. A. EVANS; D. POWLESLAND y C. ROBERTS
2005 “Continuity or Colonization in Anglo-Saxon England? Isotope Evidence for Mobility, Subsistence Practice, and Status at West Heslerton”. En: *American Journal of Physical Anthropology*, N° 126, pp. 123-138.
- MORRIS, C.
1998 “Inka Strategies of Incorporation and Governance”. En: FEINMAN, G. M. y MARCUS, J. (Eds.). *Archaic States*. Santa Fe: School of American Research Press.
- MURRA, J. V.
1972 “El control vertical de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas”. En: MURRA, J. V. (Ed.). *Visita de la provincia de León de Huánuco (1562)*, vol. 2. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizán, pp. 429-476.
1980 *The Economic Organization of the Inka State*. Greenwich, CT: AI Press.
1982 “The Mit'a Obligations of Ethnic Groups to the Inka State”. En: COLLIER, G. A.; ROSALDO, R. I. y WIRTH, J. D. (Eds.). *The Inca and Aztec States 1400-1800: Anthropology and History*. Nueva York: Academic Press, pp. 237-262.
1986 “The Expansion of the Inka State: Armies, War, and Rebellions”. En: MURRA, J. V.; WACHTEL, N. y REVEL, J. (Eds.). *Anthropological History of Andean Politics*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 49.
- MURRA, J. V. y N. WACHTEL
1986 “Introduction”. En: MURRA, J. V.; WACHTEL, N. y REVEL, J. (Eds.). *Anthropological History of Andean Politics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1-8.

- NELSON, B. K.; M. J. DENIRO; M. J. SCHOENINGER; D. J. DEPAOLO y P. E. HARE
1986 "Effects of Diagenesis on Strontium, Carbon, Nitrogen, and Oxygen Concentration and Isotopic Concentration of Bone". En: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, N° 50, pp. 1941-1949.
- PARFITT, A. M.
1983 "The Physiologic and Clinical Significance of Bone Histomorphometric Data". En: RECKER, R. R. (Ed.). *Bone Histomorphometry: Techniques and Interpretation*. Boca Ratón, FL: CRC Press, pp. 143-223.
- PEASE, G. Y., F.
1982 "The Formation of Tawantinsuyu: Mechanisms of Colonization and Relationship with Ethnic Groups". En: COLLIER, G. A.; ROSALDO, R. I. y WIRTH, J. D. (Eds.). *The Inca and Aztec States: Anthropology and History*. Nueva York: Academic Press, pp. 173-198.
- PIN, C. y C. BASSIN
1992 "Evaluation of a Strontium-specific Extraction Chromatographic Method for Isotopic Analysis in Geological Materials". En: *Analytica Chimica Acta*, N° 269, pp. 249-255.
- PRICE, T. D.
1989 *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PRICE, T. D.; J. H. BURTON y R. A. BENTLEY
2002 "The Characterization of Biologically Available Strontium Isotope Ratios for the Study of Prehistoric Migration". En: *Archaeometry*, N° 44, pp. 117-135.
- PRICE, T. D.; C. M. JOHNSON; J. A. EZZO; J. ERICSON y J. H. BURTON
1994 "Residential Mobility in the Prehistoric Southwest United States: A Preliminary Study Using Strontium Isotope Analysis". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 21, pp. 315-330.
- RABINOWITZ, M. B.
1991 "Toxicokinetics of Bone Lead". En: *Environmental Health Perspectives*, N° 91, pp. 33-37.
- ROBERTS, S. B.; W. A. COWARD; G. EWING; J. SAVAGE; T. J. COLE y A. LUCAS
1988 "Effect of Weaning on Accuracy of Doubly Labeled Water Method in Infants". En: *American Journal of Physiology*, N° 254, pp. R622-R627.
- ROGERS, G. y C. J. HAWKESWORTH
1989 "A Geochemical Traverse Across the North Chilean Andes: Evidence for Crust Generation from the Mantle Wedge". En: *Earth and Planetary Science Letters*, N° 91, pp. 271-285.
- ROSTWOROWSKI DE DIEZ CANSECO, M.
1962 "Nuevos datos sobre tenencia de tierras reales en el incario". En: *Revista del Museo Nacional*, vol. 31, pp. 130-159.
1966 "Las tierras reales y su mano de obra en el Tahuantinsuyu". En: *Actas y memorias del 36 Congreso Internacional de Americanistas*, vol. 2, pp. 31-34.
1970 "Mercaderes del valle de Chíncha en la época prehispánica: un documento y unos comentarios". En: *Revista Española de Antropología Americana*, vol. 5, pp. 135-177.
1999 *History of the Inca Realm* (trad. de Harry B. Iceland). Cambridge: Cambridge University Press.
- ROWE, J. H.
1946 "Inca Culture at the Time of the Spanish Conquest". En: STEWARD, J. H. (Ed.). *Handbook of South American Indians*, vol. 2: *The Andean Civilizations*. Bureau of American Ethnology Bulletin, N° 143, pp. 183-330.
1948 "The Kingdom of Chimor". En: *Acta Americana*, N° 6, pp. 26-59.
1982 "Inca Policies and Institutions Relating to the Culture Unification of the Empire". En: COLLIER, G. A.; ROSALDO, R. I. y WIRTH, J. D. (Eds.). *The Inca and Aztec States 1400-1800: Anthropology and History*. Nueva York: Academic Press, pp. 93-118.
1990 "Machu Picchu a la luz de documentos del siglo XVI". En: *Historica*, N° 14, pp. 139-154.
- SALAZAR, L. C.
2001 "Inca Religion and Mortuary Ritual at Machu Picchu". En: CURRIE, E. J. y STALLER, J. E. (Eds.). *Mortuary Practices and Ritual Associations: Shamanic Elements in Prehistoric Funerary Contexts in South America*. Oxford: Archaeopress, pp. 117-127.

- SCHOENINGER, M. J.; K. M. MOORE; M. L. MURRAY y J. D. KINGSTON
1989 "Detection of Bone Preservation in Archaeological and Fossil Samples". En: *Applied Geochemistry*, N° 4, pp. 281-292.
SILVERBLATT, I.
1978 "Andean Women in the Inca Empire". En: *Feminist Studies*, N° 4, pp. 36-61.
1987 *Moon, Sun and Witches: Gender Ideologies and Class in Inca and Colonial Peru*. Princeton: Princeton University Press.
SLOVAK, N. M.
2007 *Examining Imperial Influence on Peru's Central Coast: Isotopic and Cultural Analyses of Middle Horizon Burials at Ancon* (disertación doctoral). Stanford University. Stanford, CA, Estados Unidos.
STACK, M. V.
1990 "Lead in Human Bones and Teeth". En: PRIEST, N. D. y VAN DE VYVER, F. L. (Eds.). *Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth*. Boston, MA: CRC, pp. 191-218.
THOMPSON, L. G.; E. MOSELEY-THOMPSON y P. A. THOMPSON
1992 "Reconstructing Interannual Climate Variability from Tropical and Subtropical Ice-core Records". En: DIAZ, H. F. y MARKGRAF, V. (Eds.). *El Niño Historical Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
TOMCZAK, P. D.
2003 "Prehistoric diet and Socioeconomic Relationships Within the Osmore Valley of Southern Peru". En: *Journal of Anthropological Archaeology*, N° 22, pp. 262-278.
TURNER, B. L.
2008 *The Servants of Machu Picchu: Life Histories and Population Dynamics in Late Horizon Peru* (disertación doctoral). Emory University. Estados Unidos
TURNER, B. L.; J. D. KINGSTON y J. T. MILANICH
2005 "Isotopic Evidence of Immigration Linked to Status During the Weeden Island and Suwanee Valley Periods in North Florida". En: *Southeastern Archaeology*, N° 24, pp. 121-136.
VALENTINE, B.; G. D. KAMENOV y J. KRIGBAUM
2008 "Reconstructing Neolithic Groups in Sarawak, Malaysia Through Lead and Strontium Isotope Analysis". En: *Journal of Archaeological Science*, N° 35, pp. 1463-1473.
VAN DER MERWE, N. J.; R. H. TYKOT y N. HAMMOND
1996 "Stable-isotope Analysis of Bone Collagen, Bone Apatite, and Tooth Enamel in the Reconstruction of Human Diet. A Case-study from Cuello, Belize". En: *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, pp. 355-365.
VEIZER, J.
1989 "Strontium Isotopes in Seawater Through Time". En: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, N° 1, pp. 141-167.
VERANO, J. W.
2003 "Human Skeletal Remains from Machu Picchu: A Reexamination of the Yale Peabody Museum's Collections". En: BURGER, R. L. y SALAZAR, L. C. (Eds.). *The 1912 Yale Peruvian Scientific Expedition Collections from Machu Picchu: Human and Animal Remains*. New Haven, CT: Yale University Publications in Anthropology, pp. 65-117, apéndice A.
VERANO, J. W. y M. J. DENIRO
1993 "Locals or Foreigners? Morphological, Biometric and Isotopic Approaches to the Question of Group Affinity in Human Skeletal Remains Recovered from Unusual Archaeological Contexts". En: SANDFORD, M. K. (Ed.). *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Langhorne: Gordon and Breach Science Publishers, pp. 361-386.
VILLAR CÓRDOVA, S.
1966 *La institución del yanacona en el incanato*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
WACHTEL, N.
1982 "The Mitimas of the Cochabamba Valley: The Colonization Policy of Huayna Capac". En: COLLIER, G. A.; ROSALDO, R. I. y WIRTH, J. D. (Eds.). *The Inca and Aztec States 1400-1800: Anthropology and History*. Nueva York: Academic Press, pp. 199-235.

- WHITE, T. D. y P. A. FOLKENS
2000 *Human Osteology*, 2ª ed. San Diego, CA.
- WHITE, C. D.; F. J. LONGSTAFFE y K. R. LAW
2004 “Exploring the Effects of Environment, Physiology and Diet on Oxygen Isotope Ratios in Ancient Nubian Bones and Teeth”. En: *Journal of Archaeological Science*, N° 31, pp. 233-250.
- WHITE, C. D.; M. W. SPENCE; F. J. LONGSTAFFE y K. R. LAW
2000 “Testing the Nature of Teotihuacan Imperialism at Kaminaljuyu Using Phosphate Oxygen-isotope Ratios”. En: *Journal of Anthropological Research*, N° 56, pp. 535-558.
- WHITE, C. D.; M. W. SPENCE; F. J. LONGSTAFFE; H. STUART-WILLIAMS y K. R. LAW
2002 “Geographic Identities of the Sacrificial Victims from the Feathered Serpent Pyramid, Teotihuacan: Implications for the Nature of State Power”. En: *Latin American Antiquity*, N° 13, pp. 217-236.
- WHITE, C. D.; M. W. SPENCE; H. L. Q. STUART-WILLIAMS y H. P. SCHWARCZ
1998 “Oxygen Isotopes and the Identification of Geographical Origins: The Valley of Oaxaca versus the Valley of Mexico”. En: *Journal of Archaeological Science*, N° 25, pp. 643-655.
- WRIGHT, K. R.; J. M. KELLY y A. VALENCIA ZEGARRA
1997a “Machu Picchu: Ancient Hydraulic Engineering”. En: *Journal of Hydraulic Engineering. ASCE*, N° 123, pp. 838-843.
- WRIGHT, K. R.; G. D. WITT y A. VALENCIA ZEGARRA
1997b “Hydrogeology and Paleohydrology of Ancient Machu Picchu”. En: *Ground Water*, N° 35, pp. 660-666.
- WRIGHT, K. R.; R. M. WRIGHT; M. E. JENSEN y A. VALENCIA ZEGARRA
1997c “Machu Picchu Ancient Agricultural Potential”. En: *Applied Engineering in Agriculture*, N° 13, pp. 39-47.
- WRIGHT, L. E.
2005 “Identifying Immigrants to Tikal, Guatemala: Defining Local Variability in Strontium Isotope Ratios of Human Tooth Enamel”. En: *Journal of Archaeological Science*, N° 32, pp. 555-566.
- WRIGHT, L. E. y H. P. SCHWARCZ
1998 “Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Human Tooth Enamel: Identifying Breastfeeding and Weaning in Prehistory”. En: *American Journal of Physical Anthropology*, N° 106, pp. 1-18.
- 1999 “Correspondence between Stable Carbon, Oxygen and Nitrogen Isotopes in Human Tooth Enamel and Dentine: Infant Diets at Kaminaljuyu”. En: *Journal of Archaeological Science*, N° 26, pp. 1159-1170.



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

**Comisión
Nacional
Peruana**
de Cooperación
con la UNESCO



PERÚ

Ministerio de Cultura

Dirección
Desconcentrada de Cultura
de Cusco