

La misión franco-boliviana "Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku (Bolivia)": un estudio multidisciplinario de las interacciones entre las sociedades antiguas y el medioambiente

Marc-Antoine Vella, Sofía Sejas, Karen Lucero Mamani, Luis Alejandro Rodríguez, Ramiro Bello Gómez, Claudia Rivera Casanovas, José Menacho Céspedes, Jaime Argollo, Stéphane Guédron, Elodie Brisset, et al.

▶ **To cite this version:**

Marc-Antoine Vella, Sofía Sejas, Karen Lucero Mamani, Luis Alejandro Rodríguez, Ramiro Bello Gómez, et al.. La misión franco-boliviana "Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku (Bolivia)": un estudio multidisciplinario de las interacciones entre las sociedades antiguas y el medioambiente. Bulletin de l'Institut Francais d'Etudes Andines, 2018, 47 (2), pp.169-193. 10.4000/bifea.9777 . hal-02122473

HAL Id: hal-02122473
https://amu.hal.science/hal-02122473

Submitted on 7 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La misión franco-boliviana «Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku (Bolivia)»: un estudio multidisciplinario de las interacciones entre las sociedades antiguas y el medioambiente

Marc-Antoine Vella*
Sofía Sejas**
Karen Lucero Mamani **
Luis Alejandro Rodríguez **
Ramiro Bello Gómez **
Claudia Rivera Casanovas **
José Menacho Céspedes ***
Jaime Argollo ***
Stéphane Guédron ****
Élodie Brisset *****
Gregory Bièvre ******
Christelle Sanchez *******
Julien Thiesson *******
Roger Guérin*******
Katerina Escobar ********
Teresa Ortuño ********
Paz Núñez-Regueiro *********

* Instituto Francés de Estudios Andinos, La Paz, Bolivia (IFEA, UMIFRE 17 CNRS/MAEDI). E-mail: mav.vella@gmail.com

** Carrera de Arqueología y Antropología, Instituto de Arqueología y Antropología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. E-mail: sophy12_32@hotmail.com; Karen Lucero Mamani: karen-ma1@hotmail.com; Luis Alejandro Rodríguez: lurodriguez894@hotmail.com; Ramiro Bello Gómez: ragabelogo@gmail.com; Claudia Rivera Casanovas: clauri68@yahoo.com

*** Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. E-mail: pepacho21@hotmail.com; Jaime Argollo: jaime_argollo@yahoo.es

**** ISTerre, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), La Paz, Bolivia. E-mail: guedrons@univ-grenoble-alpes.fr

Resumen

La misión franco-boliviana «Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku» intenta restituir la evolución del paisaje al contacto de una de las culturas más emblemáticas de los Andes. La cultura Tiwanakota se desarrolló en las orillas del Lago Titicaca al final del segundo milenio antes de nuestra era y desapareció entre 1100 y 1200 d. C. tras una sequía que afectó el conjunto del Altiplano. Presentamos aquí la metodología y los trabajos en curso en la cuenca hidrográfica y que permitirán entender mejor las interacciones entre la cultura Tiwanakota y el medioambiente inmediato del sitio arqueológico monumental.

Palabras clave: *Arqueología, paleoambiente, Tiwanaku, Bolivia*

La mission franco-bolivienne « Paléoenvironnement et archéologie du río Guaquira-Tiwanaku (Bolivie) » : une étude interdisciplinaire des interactions entre les sociétés anciennes et l'environnement

Résumé

La mission franco-bolivienne « Paléoenvironnement et archéologie du río Guaquira-Tiwanaku » tente de restituer l'évolution du paysage au contact d'une des cultures les plus emblématiques des Andes. La culture Tiwanakota s'est développée sur les bords du lac Titicaca à la fin du deuxième millénaire avant notre ère et a disparu entre 1100 et 1200 après J.-C. à la suite d'une sècheresse qui aurait affecté l'ensemble de l'Altiplano. Nous présenterons ici la méthodologie et les travaux en cours sur ce bassin versant qui permettront de mieux comprendre les interactions entre la culture Tiwanakota et l'environnement immédiat du site archéologique le plus important du secteur andin.

Mots-clés : *archéologie, paléoenvironnement, Tiwanaku, Bolivie*

The Franco-Bolivian Mission "Palaeoenvironment and Archaeology of the Guaquira –Tiwanaku River, (Bolivia)": A multidisciplinary study of the interactions between Ancient Societies and the Environment

Abstract

The Franco-Bolivian Mission "Palaeoenvironment and Archaeology of the Guaquira –Tiwanaku River" tries to restore the evolution of the landscape in contact with one of the most emblematic cultures of the Andes. The Tiwanakota culture developed on the shores of Lake Titicaca at the end of the second millennium BC and disappears between 1100 and 1200 AD following a drought that would have affected the entire Altiplano. In this essay we present the methodology and the work in progress. It is designed to allow scholars to better understand the interactions between the Tiwanakota culture and the immediate environment surrounding the monumental archaeological site.

***** UMR CNRS-IRD 7263 IMBE, Aix-Marseille Université, Avignon Université, Aix-en-Provence, Francia. E-mail: elodie.brisset@gmail.com
****** ISTerre, Universidad de Grenoble, Francia. E-mail: gregory.bievre@univ-grenoble-alpes.fr
******* Sorbonne Université, UPMC Paris 6, UMR 7619 METIS, Francia. E-mail: sanchez.christelle@gmail.com; julien.thiesson@upmc.fr; roger.guerin@upmc.fr
******** Museo Nacional de Historia Natural (MNHN) / Herbario Nacional de Bolivia, La Paz, Bolivia. E-mail: kescobar.torrez@gmail.com; casstolbo@gmail.com
********* Museo del Quai Branly - Jacques Chirac, París, Francia. E-mail: Paz.NUNEZ-REGUEIRO@quaibranly.fr

Keywords: *Archaeology, Palaeoenvironment, Tiwanaku, Bolivia*

INTRODUCCIÓN

El Altiplano es una meseta de altura (entre 3600 y 4200 m s. n. m.) de aproximadamente 190 000 km², rodeada de cimas que culminan a más de 6000 m encima del nivel del mar (fig. 1). El sistema lacustre del Altiplano es el resultado de una evolución comenzó al principio del Pleistoceno. Que se trate del Lago Titicaca (3810 m s. n. m.) o de los paleolagos (*i.e.* actuales salares, Talbi *et al.,* 1999; Guérin *et al*., 2001), las variaciones climáticas holocenas indujeron variaciones considerables en el nivel de base.

Desde el principio del Holoceno, la ocupación humana se desarrolló en esta zona en interacción con esos cambios climáticos. El sitio arqueológico prehispánico de Tiwanaku, situado a 19 km al sureste del Lago Titicaca, depende directamente de la evolución de la línea de base del lago pero también de la morfología aluvial del río Guaquira-Tiwanaku.

La ausencia de datos sobre la morfología de la llanura aluvial que bordea este sitio mayor, así como la falta de datos paleoambientales de alta resolución para la cuenca hidrográfica, nos condujeron a elegir esta zona de estudio.

Este proyecto de investigación intenta poner de relieve las interacciones de las instalaciones humanas del Altiplano boliviano con el medioambiente. Nuestro enfoque también propone precisar la parte de las actividades antrópicas en las modificaciones del paisaje y analizar las elecciones de asentamiento y el modo de vida de las sociedades antiguas frente a los cambios climáticos. El enfoque elegido se basa en un análisis multi e interdisciplinario que asocia las Ciencias de la Tierra, las Ciencias de la Vida y las Ciencias Humanas. Investigaciones recientes realizadas gracias al análisis de los archivos sedimentarios de la llanura aluvial mostraron el interés de un enfoque multi e interdisciplinario para la reconstitución de los paisajes antiguos (Vella, 2010; Vella *et al.*, 2013; Vella *et al.*, 2014).

1. CONTEXTO GENERAL

La cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku, de orientación globalmente Este-Oeste, se sitúa a 75 km al noreste de La Paz. Este río, de aproximadamente 64 km de largo, desemboca en el lago Wiñaymarka al sur de la península de Taraco (fig. 1). La superficie total ocupada por este valle es aproximadamente de 820 km². Las formaciones geológicas encontradas en las pendientes de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku se componen principalmente de formaciones sedimentarias deformadas por la orogénesis andina. Solo las vertientes situadas en el sur presentan formaciones geológicas de origen metamórfico.

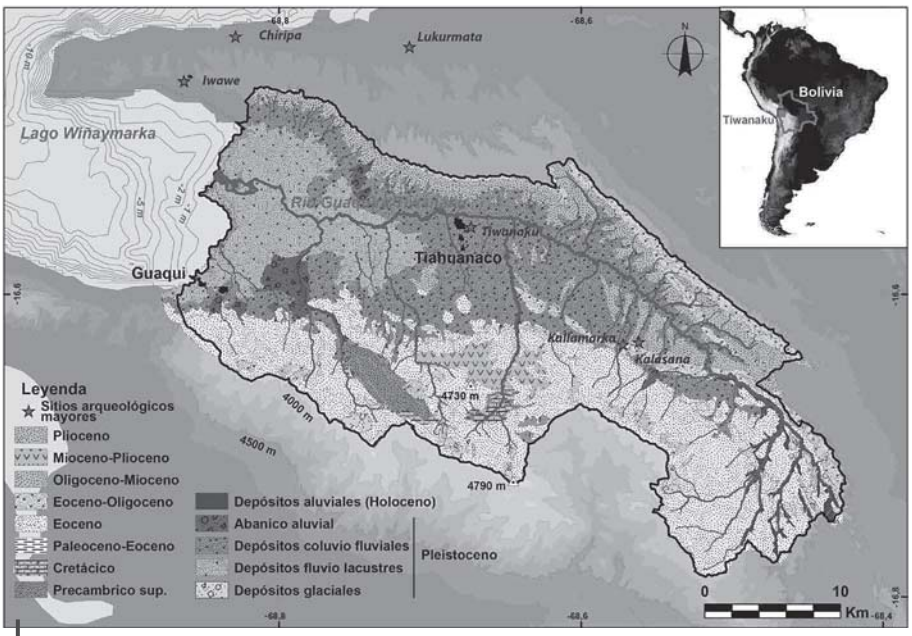


Figura 1 – Mapa de localización y geología simplificada de la zona de estudio
Fuente: Según García *et al.*, 1995

Esas formaciones presentan numerosas fuentes de materia prima lítica y metalúrgica (cobre nativo, esfalerita, galena, calcopirita, barita, blenda y oro nativo). Actualmente, algunas formaciones geológicas son explotadas por sus arcillas.

La cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku y el Lago Titicaca constituían los ecosistemas principales del centro de la civilización Tiwanaku.

Las formaciones sedimentarias holocenas de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku siguen todavía poco estudiadas. Desde los años 1990, dos estudios permitieron caracterizar las grandes organizaciones ecológicas y geomorfológicas del valle bajo y medio (Albarracin-Jordan & Mathews, 1990; Argollo *et al.*, 2003).

2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Estudios arqueológicos

El valle del río Guaquira-Tiwanaku presenta una importante concentración de sitios arqueológicos. Los primeros índices de la ocupación humana en este valle remontan al principio del Holoceno (~11 000 cal. BP) (Uhle, 1903; Erickson, 1996; Kolata, 2003; Hastorf, 2004; Albarracin-Jordan, 1992; Janusek, 1999; 2008;

Capriles & Albarracin-Jordan, 2013). Desde la *Crónica de Perú* de Cieza de León (1984 [1553]) varios científicos concentraron sus trabajos en el sitio monumental de Tiwanaku (Stubel & Uhle, 1892; Créqui-Montfort, 1904; Posnansky, 1911). A partir de los años 1970, Maks Portugal Zamora y Max Portugal Ortíz (1975) concentraron sus trabajos principalmente en el sitio de Callamarka, localizado en el valle alto. Trabajos más extensivos fueron realizados por Juan Faldín & Louis Girault (1978) en el valle central. Este estudio permitió identificar 36 sitios arqueológicos. Hacia los años 1980, Juan Albarracin-Jordan hizo una primera prospección en el valle bajo, identificando 50 sitios arqueológicos del período Formativo, Tiwanaku y post-Tiwanaku. El mismo año, James Mathews estudió el valle central (Mathews, 1992). Estos dos últimos investigadores hicieron una síntesis del conjunto de esos resultados para dar una visión más completa del valle del río Guaquira-Tiwanaku. En 2001, nuevas prospecciones permitieron estudiar una parte del valle alto (Lémuz & Paz, 2001). Por último, en 2011, Sergio Alejandro Calla Maldonado realizó una prospección sobre una parte del valle alto (fig. 2). El sitio de Tiwanaku, localizado en el centro del valle medio (Bennett, 1934; 1946; Ponce San Ginés, 1971; 1972; Couture, 1993; Aconini Mujica, 1995), el de Iwawe, en la península de Taraco (Burkholder, 1997; Isbell & Burkholder, 2002) y el sitio de Lukurmata, en el valle del río Katari en el norte del valle del Rio Guaquira-Tiwanaku (Bermann, 1993; 1994) dieron también lugar a varios estudios.

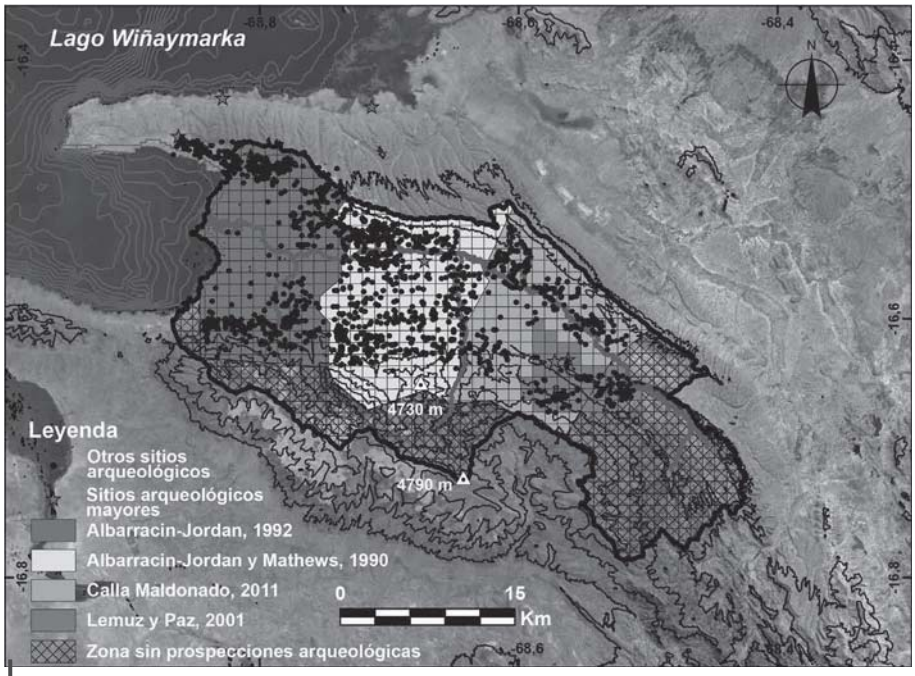


Figura 2 – Datos arqueológicos prexistentes

Fuentes: Fotos aéreas (F. A.): Google Earth; Dibujos asistidos por Ordenador (D. A. O.): Misión Guaquira-Tiwanaku)

2. 2. Estudios paleogeográficos y paleoambientales

Al principio del Holoceno (entre 10 000 y 8500 B.P.), el Lago Titicaca se estabilizó con un nivel alto, comparable con el observado actualmente (Mourguiart *et al*., 1997; Argollo & Mourguiart, 2000; Abbott *et al*., 2003). A partir de 8500 B.P., los sedimentos del lago registraron el principio de una regresión mayor (Tapia *et al*., 2003). Durante aquel período, el nivel del lago se situaba entre 50 y 80 m por encima del nivel actual (Talbi *et al*., 1999). Esta importante regresión se acompañó, entre 6000-3500 B.P., de un máximo de salinidad de las aguas del lago (Abbott *et al*., 2003). La evolución del Lago Titicaca y las modificaciones climáticas observadas a lo largo del Holoceno influyeron también en los procesos hidrosedimentarios asociados con los ríos. El análisis del paisaje y de las formaciones aluviales del río Ilave en Perú permite precisar la dinámica del llenado sedimentario de un afluente del Lago Titicaca a lo largo del Holoceno (Rigsby *et al*., 2003). Este estudio muestra que entre 8350-6780 B.P., los valles del Altiplano presentaron una fase de estabilización y la formación de suelos. La disminución del nivel del Lago Titicaca observada durante el Holoceno medio se caracteriza por importantes incisiones de los valles entre 6000 y 4500 B.P. (Servant & Servant-Vildary, 2003). Para terminar, hacia 4000 B.P. el principio de la transgresión del lago se acompañó de dos períodos de llenado sedimentario de los valles (4000-2500 B.P. y 2000-1600 B.P.) separados por breves episodios de estabilización y por una incisión menor de los ríos (fig. 3).

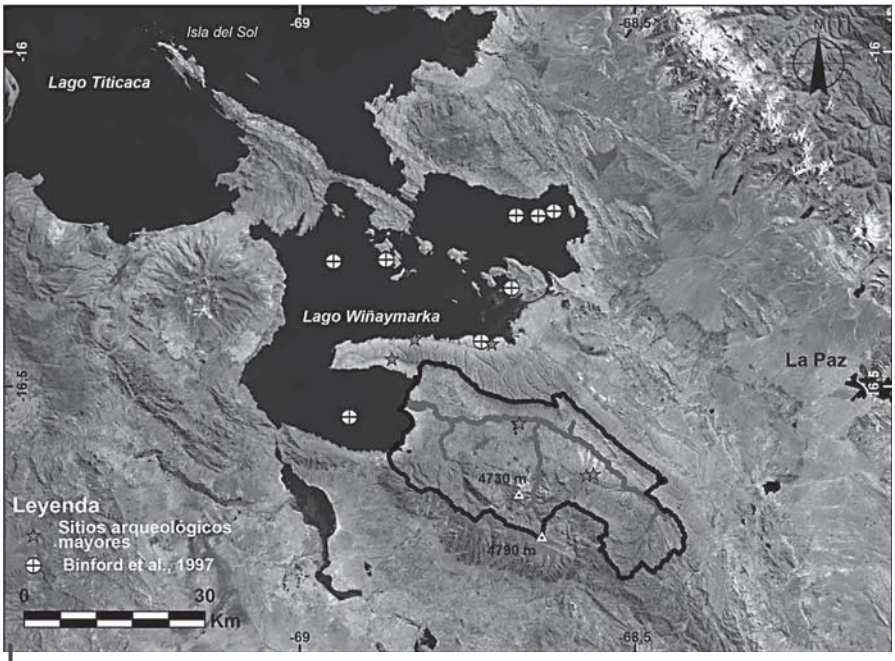


Figura 3 – Datos paleoambientales preexistentes provenientes de testigos lacustres
Fuente: F. A.: Google Earth; D. A. O: Misión Guaquira-Tiwanaku

Los trabajos llevados a cabo durante los años 1990 por Albarracin-Jordan y Mattews (Albarracín-Jordan & Mathews, 1990) permitieron realizar una primera cartografía de los distintos conjuntos ecológicos y geomorfológicos de los valles bajos y medios del río Guaquira-Tiwanaku. Basados en la repartición de las formaciones geológicas, de los tipos de suelos y de los recursos naturales, esos estudios identificaron siete microambientes.

Los trabajos realizados en el marco del proyecto Wila Jawira (Argollo *et al.*, 2003), basados en el análisis de las fotos aéreas, mapas topográficos y mapas geológicos, permitieron aportar nuevos datos sobre la diversidad y sobre la naturaleza de las formaciones superficiales de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku así como sobre las formas heredadas de los episodios lacustres y glaciaciones pleistocenas. Así, varias unidades geomorfológicas fueron definidas en función de las características relacionadas con el relieve, la pendiente, el grado de alteración y erosión, con la litología, la vegetación y el tipo de suelo.

En lo que se refiere al sitio de Tiwanaku, el análisis de las fotos aéreas y de las imágenes satelitales permitió realizar un Modelo Numérico de Terreno (MNT) con una resolución inferior a 10 cm y demostró la presencia de una depresión topográfica que rodea la zona monumental (Lasaponara & Masini, 2014).

3. OBJETIVOS GENERALES

Tiwanaku, estudiado desde hace más de 110 años, es el sitio prehispánico de referencia para la región. Las hipótesis más recientes sobre los motivos del descenso de la ocupación humana en la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku, entre los siglos X y XII de nuestra era, sugieren que una sequía persistente en el Altiplano podría estar al origen de un período de mala cosecha (Ortloff & Kolata, 1993).

Los estudios paleoambientales llevados a cabo en el Lago Titicaca ponen de relieve importantes y rápidas fluctuaciones de la línea de base del lago durante el período de desarrollo de la cultura Tiwanaku. Sin embargo, ningún estudio geoarqueológico o paleoambiental fue realizado en el río Guaquira-Tiwanaku. Los estudios paleoambientales llevados a cabo esencialmente durante los años 1980-1990, se interesaron principalmente por los grandes ciclos sedimentarios y climáticos y no existen estudios de alta resolución sobre el Holoceno Tardío. La cronología de los eventos climáticos no es claramente establecida. De hecho, la Pequeña Edad de Hielo (LIA**:** 1450-1850 A.D.), identificada en América del Sur (Bradley & Jones, 1993; Villalba, 1994; Rabatel *et al.*, 2008) no fue claramente identificada en las formaciones aluviales del Altiplano boliviano.

Además, si bien los trabajos preexistentes permitieron identificar y caracterizar los grandes conjuntos geomorfológicos del valle bajo y medio del río Guaquira-Tiwanaku, en cambio, el conjunto de la cuenca hidrográfica alta queda sin estudiar. Pasa lo mismo con la evolución paleo-geográfica de las orillas del lago y de los ríos, mientras que la observación de los mapas geológicos y de las fotos aéreas permite hacer resaltar una importante movilidad de las formas aluviales cuya cronología todavía no puede ser determinada con precisión.

Numerosos sitios periféricos de la cuenca hidrográfica, contemporáneos de la ocupación Tiwanaku, son todavía muy poco estudiados. Las partes baja y media de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku dieron lugar a numerosas campañas de excavaciones y prospecciones. En cambio, la parte alta no dio lugar a ninguna investigación arqueológica. En ausencia de datos sobre la morfología de la llanura aluvial, la repartición de esos sitios no puede ser comprendida de forma clara.

En ausencia de datos sobre la morfología de la llanura aluvial y por falta de datos paleoambientales, la repartición de esos sitios no puede ser comprendida de forma clara. El presente proyecto científico intenta identificar cuáles son las adaptaciones al nivel de los patrones de asentamiento y de las técnicas de las sociedades antiguas del Altiplano frente a los límites ambientales desde el quinto milenio antes de Cristo.

4. ESTUDIOS SOBRE LOS SITIOS ARQUEOLÓGICOS

La primera etapa de los trabajos arqueológicos que realizamos en el valle el río Guaquira-Tiwanaku fue la identificación precisa de los sectores ya estudiados por las misiones científicas precedentes. Sobre los sectores no estudiados, realizamos una prospección arqueológica con recolección sistemática de material, una prospección geofísica y sobre los sectores más estudiados, excavaciones arqueológicas (fig. 4). El conjunto de los datos adquiridos fue georreferenciado en el sistema de coordenadas CGS WGS 84 (EPSG 4326) en grados decimales. Los sectores de recolección, las estructuras arqueológicas, así como los cortes geomorfológicos y geoarqueológicos fueron anotados gracias a un GPS Garmin Etrex con una precisión inferior a 3 m. Luego, estos datos fueron organizados en una base de datos geográficos para permitir una interpretación comparada con los mapas, planos y MNT.

4. 1. Prospecciones arqueológicas

El equipo de prospección, compuesto por tres a cinco arqueólogos, acompañados a veces por autoridades de las Comunidades Autónomas Originarias, recorrió el campo teniendo en cuenta los límites físicos de la geografía de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku (fig. 4). Así, en los sectores accidentados, privilegiamos la prospección de las crestas y de los niveles con una topografía plana. En los sectores planos (pampa), realizamos una prospección por perfiles espaciados de 50 m. La mayor parte de los sitios descubiertos fueron identificados gracias a la presencia de material cerámico o lítico en superficie; pocos sitios presentaban restos arquitectónicos identificables. Una vez identificados, registramos las características de cada uno de los sitios arqueológicos gracias a un formulario estandarizado. Los sitios arqueológicos fueron llamados en función de los nombres dados por las comunidades en la medida de lo posible. Caso

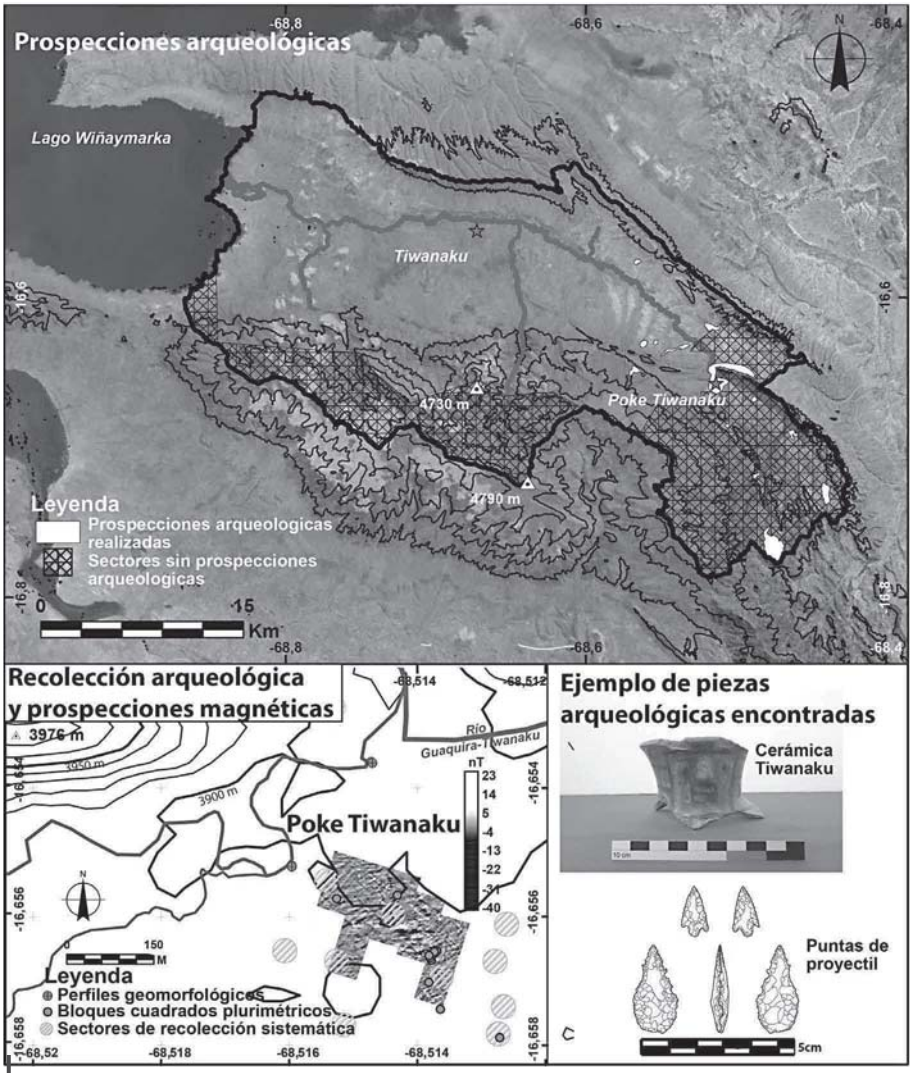


Figura 4 – Ejemplo de trabajos realizados en los sitios arqueológicos

Fuente: F. A.: Google Earth; D. A. O.: Misión Guaquira-Tiwanaku

contrario, los llamamos en función de la comunidad propietaria del yacimiento arqueológico y diferenciamos los sitios gracias a una numeración.

Durante esas prospecciones, elaboramos un registro sistemático de los sitios arqueológicos mayores (superficie superior a 1 hectárea), de las estructuras arqueológicas (montículos, paredes y muros…) pero también de los elementos aislados como piedras/bloques regularizados, minas y sectores de extracción de materias primas, sitios espirituales de importancia mayor.

Sobre las zonas potencialmente ricas en datos arqueológicos, realizamos una recolección de material arqueológico encontrado en superficie en los sectores que presentaban la densidad más importante de restos. Este método consiste en una recolección sistemática de todos los restos arqueológicos en un círculo de 20 m de diámetro y en realizar una primera identificación de los sectores de actividad dentro de un mismo sitio arqueológico (fig. 4). Esta recolección de material será, *in fine*, comparada con los resultados de las prospecciones geofísicas para localizar más precisamente esos sectores.

4. 2. Prospección magnética

El objetivo era restituir la situación geográfica de antiguas intervenciones de excavación sobre estructuras que parecen ser asociadas a zonas de vivienda y precisar la extensión y organización arquitectónica de un sitio virgen de investigaciones.

Las prospecciones magnéticas miden un conjunto de fenómenos que dependen del campo magnético terrestre. Este método utiliza el campo magnético existente en estado natural que puede ser perturbado por la presencia de anomalías geológicas y antrópicas.

Los materiales que constituyen el subsuelo provocan contrastes inducidos por su naturaleza que son característicos (Aspinal *et al.,* 2008). Por consiguiente, los restos arqueológicos se distinguen por su susceptibilidad magnética peculiar. La profundidad de enterramiento afecta la evaluación de la extensión espacial de las anomalías. La intensidad de estas anomalías antrópicas es de algunas decenas de nanoteslas (nT) mientras que el campo magnético terrestre es de 25 000 nT aproximadamente en las latitudes de Bolivia. Por lo tanto, son las microvariaciones vinculadas a la antropización de los lugares que dan lugar a análisis.

Utilizamos un gradiómetro Geometrics G858 que mide el gradiente de la componente vertical del campo magnético terrestre. La medición fue realizada a lo largo de los perfiles espaciados de 1 m.

En los mapas producidos por la prospección magnética podemos identificar anomalías lineales que son, la mayoría del tiempo, relacionadas con paredes, y anomalías puntuales que pueden ser relacionadas con estructuras de calefacción (hornos, estufas…) (fig. 4).

4. 3. Excavaciones arqueológicas

La metodología de excavación que aplicaremos consistirá en realizar trincheras y sondeos con el fin de obtener una descripción de la estratigrafía de los depósitos antrópicos. La elección de los sectores de excavación depende en gran parte de los datos adquiridos durante estudios anteriores y privilegiaremos los sitios que han dado lugar a una recolección del material de superficie y de prospecciones geofísicas.

Intentaremos primero poner en relación las anomalías magnéticas lineales detectadas durante las prospecciones geofísicas con las estructuras arqueológicas. El aporte de los datos de recolección sistemática del material arqueológico también ayudará a elegir los sectores a excavar. Luego, intentaremos identificar las distintas actividades domésticas y rituales desarrolladas en los sitios arqueológicos en función de los períodos cronoculturales.

Por otra parte, estaremos atentos a las anomalías magnéticas puntuales que pueden indicar la presencia de hornos (domésticos, cerámica/metalurgia).

El conjunto de esos trabajos nos aportará nuevos datos sobre los períodos de ocupación de los sitios arqueológicos, nos permitirá estudiar la evolución de las actividades domésticas así como cartografiar la organización arquitectónica de sitios todavía desconocidos.

4. 4. Análisis del material arqueológico

El material recolectado en superficie dio lugar a medidas de identificación y conservación específica en función del tipo de resto arqueológico.

El material recolectado durante las prospecciones dará lugar a un análisis tipológico con el fin de estudiar la cadena operativa, las zonas de aporte de materias primas y las características cronoculturales (fig. 4).

5. ESTUDIOS PALEOGEOGRÁFICOS

Los estudios paleogeográficos que llevamos a cabo en el marco del Proyecto Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku se centran en la caracterización de los conjuntos geomorfológicos actuales y antiguos. Para ello, utilizamos distintos documentos cartográficos y realizamos también diferentes trabajos que nos permiten caracterizar las formaciones sedimentarias holocenas de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku.

5. 1. Cartografía geomorfológica

Para comprender la evolución del hidrodinamismo y de la morfología del río Guaquira-Tiwanaku en relación con la del Lago Titicaca, se hizo un trabajo preliminar de cartografía geomorfológica (Vella *et al.*, 2014).

Para cartografiar las informaciones sedimentarias superficiales e identificar los sectores que presentan potencialmente los llenados sedimentarios más importantes, realizamos varias prospecciones pedestres. Los datos sacados de estas fueron localizados con un GPS y luego fueron integrados en un SIG. La elección de los sectores de prospección se hizo gracias al análisis cartográfico preliminar pero también en función de la localización de los sitios arqueológicos ya conocidos y de la de los sitios identificados durante nuestras prospecciones previas.

Durante las prospecciones pedestres, varios cortes geomorfológicos y geoarqueológicos fueron identificados dentro de la cuenca hidrográfica del río Guaquira-Tiwanaku. Estos cortes fueron sistemáticamente localizados gracias a un GPS; dieron lugar a un registro fotográfico y a un dibujo descriptivo y, cuando era pertinente, a una recolección de muestras de sedimentos directamente en el corte.

El conjunto de los datos presentes en estos mapas, las informaciones superficiales, los sectores de explotación minera fueron vectorizados e integrados en una base de datos para producir nuevos documentos cartográficos (fig. 5)

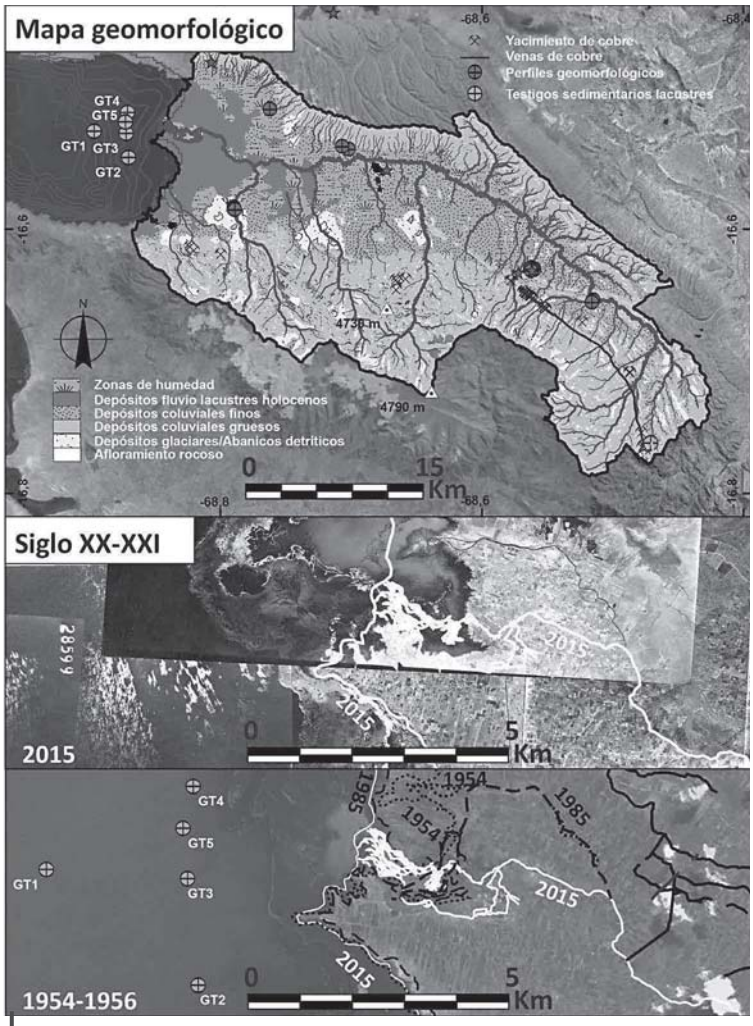


Figura 5 – Ejemplos de trabajos paleogeográficos realizados en la cuenca hidrográfica del Río Guaquira-Tiwanaku

Fuente: F. A.: Google Earth; D. A. O.: Misión Guaquira-Tiwanaku

5. 2. Geografía histórica

Los documentos compilados para la cartografía geomorfológica nos permitieron trabajar a partir de las fotos aéreas antiguas de nuestro sector de estudio. El análisis de estos documentos nos permite seguir el desplazamiento del río Guaquira-Tiwanaku y de la línea de costa del lago Wiñaymarka desde la mitad del siglo XX (fig. 5).

5. 3. Prospecciones geofísicas

5. 3. 1. Prospección sísmica

La prospección sísmica se basa en la diferencia de velocidad de propagación de las ondas en las formaciones sedimentarias y geológicas del subsuelo. El aparato utilizado para realizar estas prospecciones se compone de dos juegos de 24 captores, el primero compuesto de geófonos verticales que captan las ondas P y el segundo compuesto de geófonos horizontales que captan las ondas S.

En total, y en función de los resultados sacados de la cartografía geomorfológica y de la geografía histórica, seleccionamos cuatro sectores de prospección que han dado lugar a 26 perfiles sísmicos de entre 64 y 115 m de largo para una profundidad de investigación máxima de 30 m.

El análisis de las propiedades mecánicas de los sedimentos gracias a las prospecciones sísmicas tiende a identificar los paleocanales y la profundidad del llenado sedimentario holoceno de la llanura aluvial del río Guaquira-Tiwanaku y de las estructuras antrópicas con vocación hidráulica como los canales que rodean el sitio arqueológico monumental. Esas prospecciones permiten orientarnos hacia los sectores que van a dar lugar a extracciones de testigos sedimentarios (fig. 6).

5. 3. 2. Prospección electromagnética

El método electromagnético Slingram consiste en una bobina emisora de un campo magnético «primario». Esta genera en el suelo corrientes de Foucault, cuya repartición volumétrica depende de las heterogeneidades del subsuelo que crean, a su vez, un campo magnético «segundario», de frecuencia idéntica al campo primario. La suma de los campos primario y segundario se mide gracias a una bobina receptora ubicada cerca de la bobina emisora.

La máquina utilizada (un CMD Explorer, de GF Instruments) tiene tres receptores ubicados a tres distancias distintas del emisor (1,48 m, 2,82 m y 4,49 m). La estrategia de prospección consiste en realizar perfiles paralelos (distantes de 5 m) con medidas adquiridas en continuos (cada 0,5 m). Los datos adquiridos en el modo DMV (dipolo magnético vertical, es decir con las bobinas emisora y receptora en configuración coplanaria horizontal) son representativos de un volumen de suelo que va de la superficie a una profundidad de investigación de 1,5 veces la separación interbobinas, y con un peso más importante de los terrenos situados a

una profundidad de 0,4 veces la separación interbobinas. La operación permite obtener una cartografía rápida de la conductividad aparente a tres profundidades de investigación: 2,2 m, 4,2 m y 6,7 m. Esto permitirá presentar en mapas las informaciones sacadas de los perfiles sísmicos y eléctricos (fig. 6).

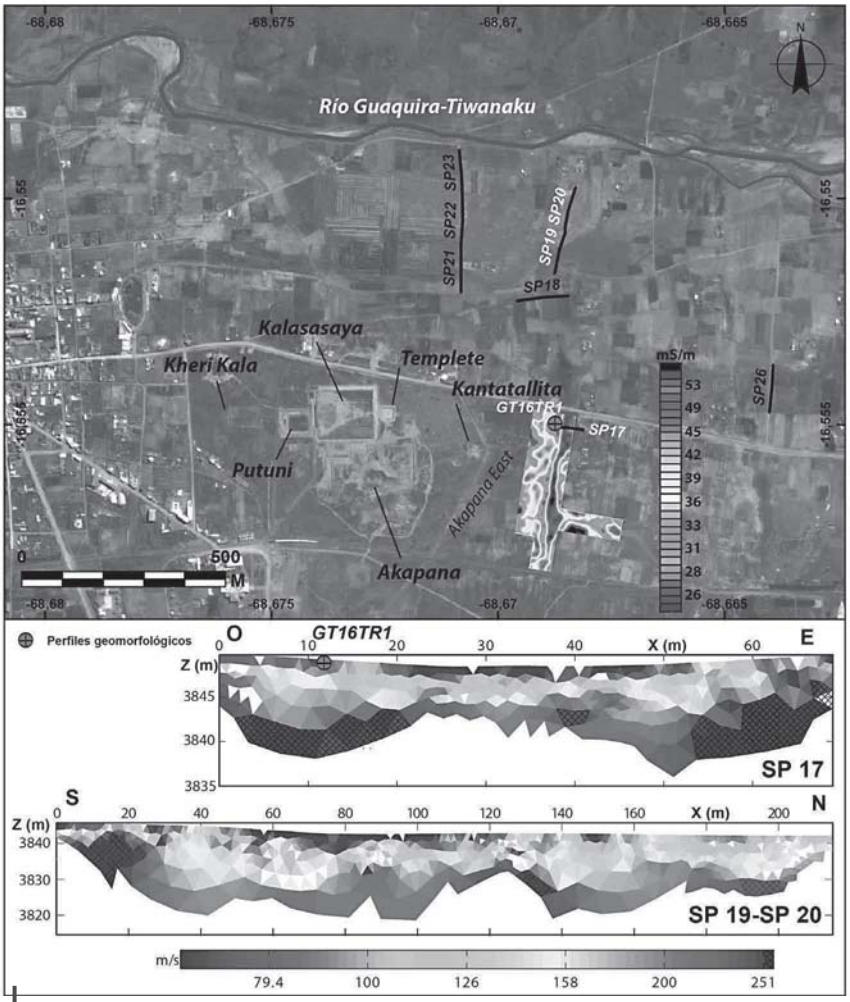


Figura 6 – Prospecciones electromagnética y sísmica realizadas cerca del sitio de Tiwanaku

Fuente: F. A.: Google Earth; D. A. O.: Misión Guaquira-Tiwanaku

6. ESTUDIOS PALEOAMBIENTALES

Los cambios climáticos y la evolución del paisaje contemporáneo de la civilización Tiwanaku se analizarán gracias al estudio de varios parámetros físico-químicos

y ecológicos. Estos análisis se realizarán sobre testigos sedimentarios terrestres y lacustres o sobre cortes naturales (fig. 7). Se pudo extraer 5 testigos sedimentarios de 1,5 a 2,1 m de largo gracias a un extractor gravitario UWITEC en tubos de plexiglás de 90 mm de diámetro.

Esos testigos sedimentarios fueron cortados con alta resolución (1 a 2 cm) y subdivididos para analizar: (i) la granulometría y la susceptibilidad magnética, (ii) los elementos químicos mayores y trazas, (iii) los macrorrestos acuáticos (macrófitos, conchas…) y terrestres (semillas, fragmentos de plantas…) que se utilizarán para las dataciones ^{14}C.

6. 1. Análisis granulométricos

Los análisis granulométricos se realizan gracias a un granulómetro laser (Beckman Coulter LS 13 320) sobre las fracciones finas principales (arcilla $< 2\ \mu$m; limo 2 – 63 μm; y arena 63 – 2000 μm) y con una sucesión de tamices para las fracciones más groseras. Este método nos permitió caracterizar cuantitativamente el tamaño de los granos que componen los sedimentos de la llanura aluvial del río Guaquira-Tiwanaku y del Lago Titicaca.

6. 2. Susceptibilidad magnética

Los análisis de la susceptibilidad magnética se efectuaron gracias a un Bartington MS2E Surface Scanning Sensor con una resolución promedio de 5 cm.

Paralelamente a una contribución paramagnética de la arcilla que permanece limitada, la señal magnética se relaciona sobre todo con granos magnéticos de tamaño pequeño (magnetita y maghemita) cuya presencia depende de varios factores. Las variaciones de la susceptibilidad magnética pueden deberse a un enriquecimiento en óxido de hierro por disolución del contenido de materiales diamagnéticos (calcita, cuarzo; Eyre & Shaw, 1994). El aumento de la señal de susceptibilidad magnética depende también de varios otros parámetros entre los cuales la composición mineralógica de la cuenca hidrográfica (Le Borgne, 1955; Marmet, 2000; Vella, 2010) y la influencia de los procesos pedogenéticos (Fassbinder *et al.*, 1990) y pirogénicos (quema de residuos). Las propiedades magnéticas se relacionan asimismo con las variaciones de contenido en agua de la capa freática (Deng *et al.,* 2006; Fialova *et al.,* 2006). A esos fenómenos se añaden parámetros antrópicos, en particular las prácticas agrícolas como el aporte de fertilizantes y las labranzas (Tite & Mullins, 1971; Marmet *et al.,* 1999). En los sitios que conocieron concentraciones humanas importantes, los aportes en materia orgánica modifican las condiciones de oxido-reducción e influyen también en las propiedades magnéticas.

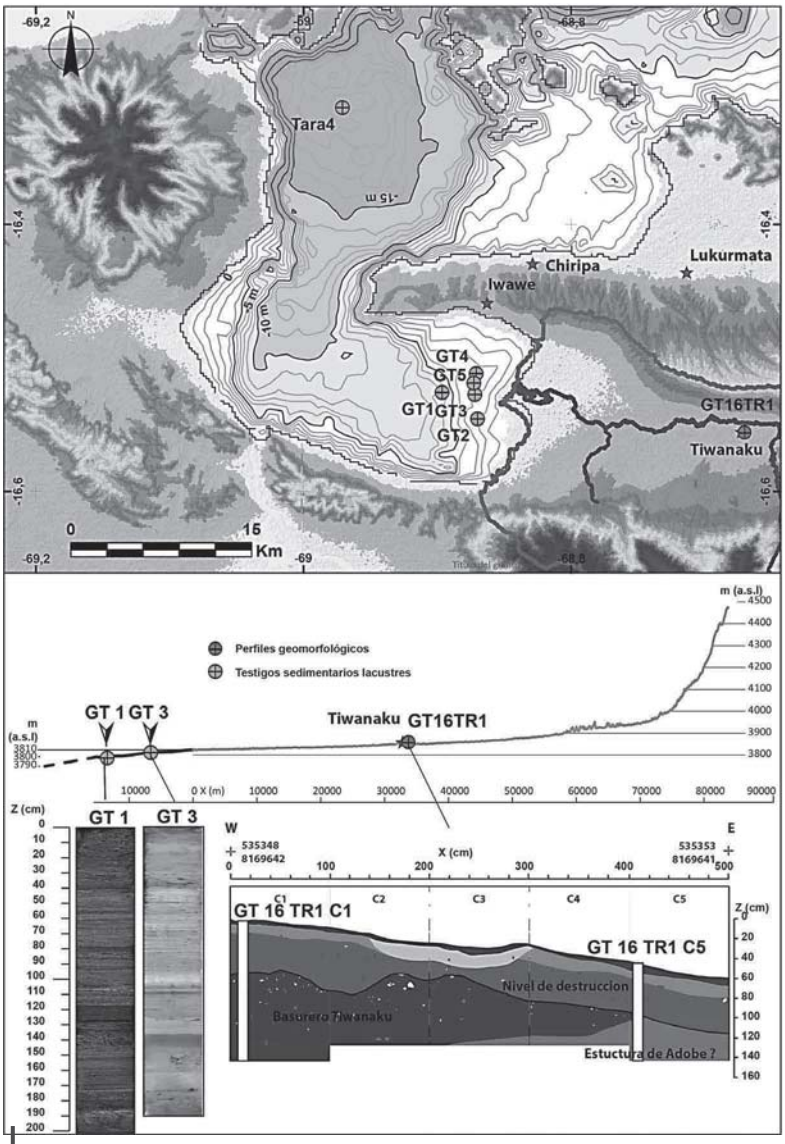


Figura 7 – Formaciones sedimentarias del lago Wiñaymarka y del Rio Guaquira-Tiwanaku

Fuente: Topographia: SRTM 3; D. A. O.: Misión Guaquira-Tiwanaku

6. 3. Parámetros geoquímicos

Una submuestra del testigo sedimentario entero fue extraída gracias a una gotera (U-channels) de 2,2 cm de sección con el fin de realizar un escáner no destructivo (Itrax Core scanner) de alta resolución en fluorescencia de rayos X (XRF) con una resolución de 1 mm.

Los datos geoquímicos se obtuvieron con distintas configuraciones de energía de tubo, 10 kV - 2 mA para Al, Si, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe y 30 kV – 0,5 mA para Cu, Zn, Br, Sr, Rb, Zr, Pb (Richter *et al.,* 2006).

Todas las muestras y los análisis químicos se efectuaron a partir de las técnicas de análisis ultra-trazas (Cossa & Gobeil, 2000).

Los análisis químicos se realizan después de una digestión de una muestra liofilizada y molida de aproximadamente 200 mg (Pulverisette 7 premium line model, Fritsch®) para obtener polvos finos (< a 63 μm). Las digestiones se realizaron mediante una serie de fases de evaporación y mezcla en soluciones mixtas de HNO_3/HCl/H_2O_2, HNO_3/HF y HNO_3 sobre placas calientes (120°C) (Guédron *et al.,* 2016; Guédron *et al.,* 2006).

Los elementos mayores (Al, Ca, Mg, Fe, Mn, K y Ni) se analizan por ICP-AES y la calidad y reproductibilidad del análisis se verifican gracias a estándares certificados (BCR 320R – European Commission – Joint Research Centre).

Los análisis de mercurio total (THg) se han determinado por combustión y espectrometría de absorción atómica (AMA 254 analyzer (Altec)) (Guédron *et al.,* 2009; Thevenon *et al.,* 2011).

Los niveles de acumulación de los elementos se obtienen a partir de las concentraciones, densidad seca y período de tiempo relacionados con cada capa sedimentaria.

Los análisis químicos de los elementos mayores y trazas permitirán reconstituir y caracterizar la evolución paleolimnológica del lago mediante (i) las principales facies sedimentarias (*e.g.*, carbonatados provenientes de la degradación de los macrofito tipo *Characheae*, detríticos, orgánicos…); (ii) los cambios de niveles lacustres (depósitos detríticos *vs* depósitos lacustres); (iii) los flujos de metales provenientes de las actividades antrópicas antiguas (*e.g.*, actividades mineras tales como la extracción del cobre).

6. 4. Palinología y antracología

Después de una preparación de las muestras (HCl, HF, NaOH, acetolysis; Faegri & Iversen, 1989), podemos identificar los restos vegetales, o sea los pólenes, carbones y microcarbones. El análisis de polen y partículas de carbón en testigos es un método muy usado para examinar la relación entre clima, vegetación, incendios y algunas veces actividad antrópica en épocas pasadas. Por un lado, el estudio de polen y esporas fósiles es una técnica utilizada para reconstruir la vegetación y sus posibles cambios en distintos períodos de tiempo (Seppä, 2007; Brewer *et al.*, 2007; Genries *et al.,* 2012). Estos resultados pueden proporcionar información sobre la vegetación e inferir cambios en el clima durante los ciclos glaciales e interglaciares, proveyendo ideas sobre patrones y procesos ecológicos a pequeña o gran escala (Seppä, 2007; Brewer *et al.*, 2007). Así sería el caso para las dinámicas de dispersión y cambios en la distribución de especies de plantas, desarrollo y continuidad de comunidades vegetales modernas, la sensibilidad

y mecanismos de respuesta de la vegetación a los cambios de clima así como también indicios del origen y propagación de la agricultura temprana y el rol de los humanos en estas evoluciones (Seppä, 2007).

6. 5. Dataciones

Las dataciones radiocronológicas se realizarán a partir de los restos orgánicos obtenidos gracias a las excavaciones arqueológicas (carbones de semillas, madera o huesos) así como de los restos biológicos encontrados durante las extracciones de testigos sedimentarios lacustres y terrestres (carbones, semillas, turba, conchas…).

7. COMPARACIÓN DE DATOS Y RESULTADOS PRELIMINARES

Los primeros resultados de la Misión Paleoambiente y Arqueología del río Guaquira-Tiwanaku ya permiten proponer nuevas hipótesis referentes a distintos ejes de investigación.

Los datos adquiridos con nuestros trabajos indican que los sitios mayores podrían ser asociados a particularidades geológicas o geomorfológicas. Así, el sitio de Poke Tiwanaku se localiza en una meseta rocosa, en relación directa con la desembocadura del río Guaquira-Tiwanaku en la parte principal del valle medio. La proximidad de este sitio con las minas de cobre identificadas durante las prospecciones arqueológicas indica que las materias primas, las tierras arables y el control del territorio geográfico formaban parte de los factores más importantes en cuanto al desarrollo de la ocupación del valle.

En los sitios en los que efectuamos prospecciones, la presencia de mineral de cobre, de escorias y de objetos terminados parece atestiguar de un tratamiento más o menos local de las materias primas. El aporte de las prospecciones geofísicas permite sugerir la existencia de un centro de producción en el valle alto. El estudio de los testigos sedimentarios adquiridos en los estanques del valle alto permitirá aportar nuevos datos sobre la explotación del cobre en este sector.

En el sitio de Tiwanaku, pudimos poner de relieve la existencia de un canal antrópico que rodea el sector monumental gracias al estudio de las fotos aéreas antiguas y recientes y al aporte de nuevas prospecciones geofísicas.

El aporte de los testigos sedimentarios lacustres extraídos frente a la desembocadura del río Guaquira-Tiwanaku ya nos permite mostrar la variabilidad de los facies sedimentarios que se pueden relacionar con cambios rápidos de paisaje. Las prospecciones sísmicas realizadas en el valle bajo y la llanura aluvial del río Guaquira-Tiwanaku permitirán además delimitar los espacios relacionados con los datos puntuales producidos a partir de las extracciones de testigos y cortes sedimentarios.

Para terminar, el aporte del estudio de geografía histórica permite proponer una hipotética restitución de la evolución de las orillas del lago.

CONCLUSIÓN

La metodología interdisciplinaria aplicada para este proyecto se basa en la asociación de las Ciencias Humanas con las Geociencias del medioambiente. El interés de un enfoque interdisciplinario es de construir e identificar métodos y objetos de estudio comunes que nos permitan responder a problemáticas complejas. Los datos adquiridos en los sitios arqueológicos nos permitirán relacionar las actividades domésticas (agropastoralismo, producción cerámica y metalúrgica) con los períodos culturales mediante la caracterización de los restos encontrados y gracias a dataciones absolutas.

Los estudios paleogeográficos y paleoambientales que realizamos van a permitir identificar los eventos climáticos y relacionarlos con los cambios de composición de la capa vegetal y con los cambios de procesos hidrosedimentarios. Estos datos nos permitirán reconstituir la morfología del paisaje del río Guaquira-Tiwanaku para varios períodos clave de la historia del mundo andino.

El estudio conjunto de los sitios arqueológicos y de las formaciones sedimentarias en un mismo sector de estudio permite relacionar los procesos sedimentarios con las actividades antrópicas a escala microrregional. La utilización de parámetros de estudio idénticos entre los análisis a escala de los sitios arqueológicos, así como a escala de las organizaciones geomorfológicas más grandes (laguna, llanura aluvial) nos permite mostrar los cambios de paisaje a escala regional.

Este tipo de estudios interdisciplinarios permitió restituir los cambios de paisajes con alta resolución temporal en sectores geográficos complejos como el río Rhône (Francia) en Europa del Sur (Bravard, 2004; Arnaud-Fassetta, 2003; Provansal *et al.*, 2010; Vella *et al.*, 2013) ríos de Europa Occidental (Brown, 1997; Burnouf & Leveau eds., 2004) e islas del mar Mediterráneo (Ghilardi *et al.*, 2012; Vella *et al.*, 2014; Vella, 2010).

Dataciones absolutas permitirán también relacionar cronológicamente esas modificaciones paleoclimáticas y paleogeográficas con las actividades antrópicas y épocas culturales.

Este estudio multidisciplinario permitirá, entre otras cosas, restituir no solo la evolución de la línea de costa del lago Wiñaymarka y de la composición de la capa vegetal para el conjunto de los sectores ecológicos de la llanura sino también de la morfología de la llanura aluvial y de las zonas húmedas de la llanura del río Guaquira-Tiwanaku (fig. 8).

Este proyecto, innovador en Bolivia, muestra la importancia de un enfoque interdisciplinario para restituir la evolución de la interacción entre las sociedades antiguas y el medioambiente.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Europa y de Asuntos Exteriores (MEAE) y la embajada de Francia en Bolivia por su apoyo económico. Agradecemos también particularmente al Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD)

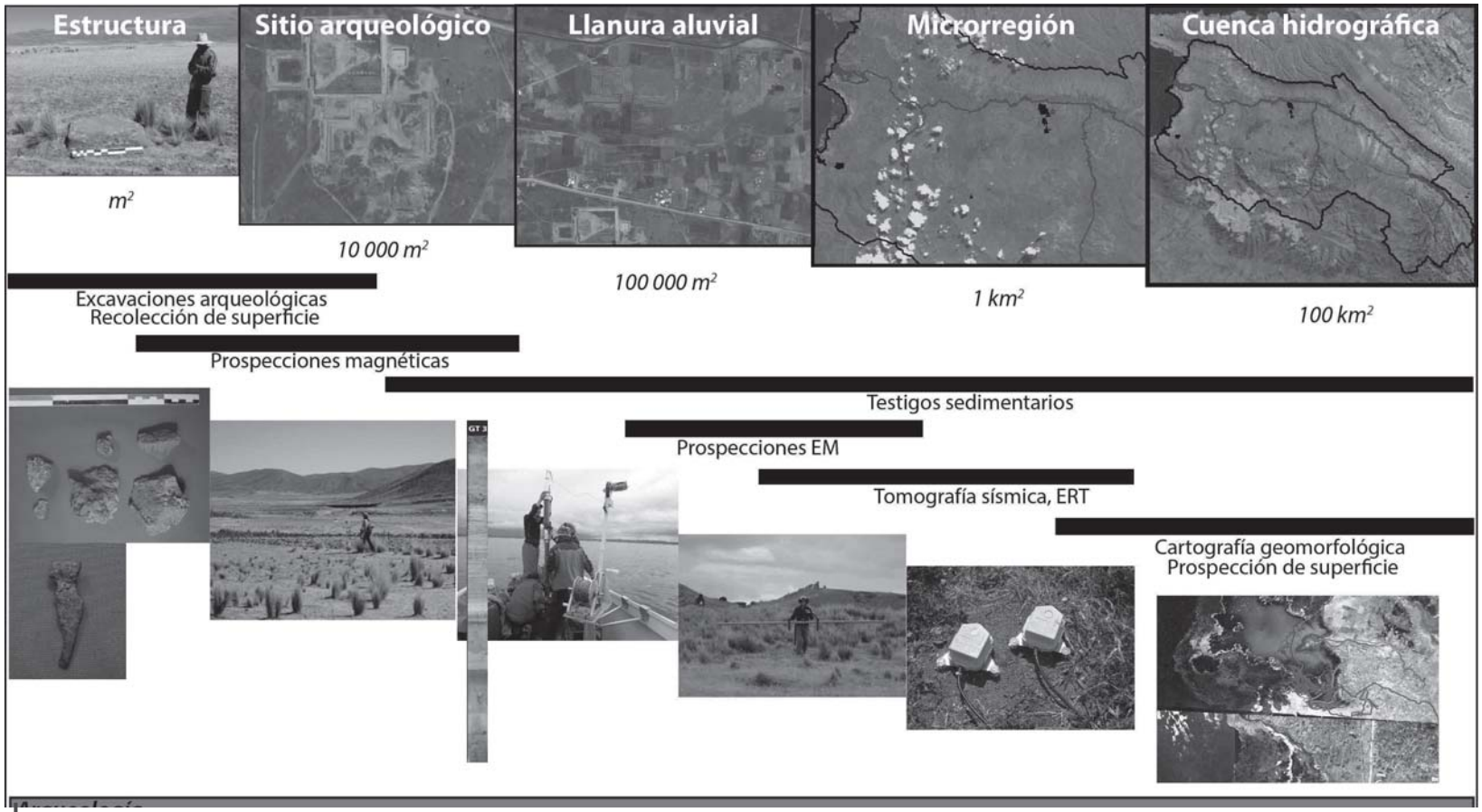


Figura 8 – Esquema conceptual de la comparación de datos adquiridos

Fuente: F. A.: Google Earth; D. A. O.: Misión Guaquira-Tiwanaku

en Bolivia, así como a la Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia) por su apoyo institucional y científico. Para terminar, agradecemos a las Comunidades Autónomas del Estado Plurinacional de Bolivia por su acogida y su interés en el proyecto.

Referencias citadas

ABBOTT, M. B., WOLFE, B. B., WOLFE, A. P., SELTZER, G. O., ARAVENA, R., MARK, B. G., POLISSAR, P. J., RODBELL, D. T., ROWE, H. D. & VUILLE, M., 2003 – Holocene paleohydrology and glacial history of the central Andes using multiproxy lake sediment studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194 (1)**: 123-138.

ACONINI MUJICA, S., 1995 – *Rito, símbolo e historia en la Pirámide de Akapana, Tiwanaku: Un análisis de cerámica ceremonial prehispánica*, 238 pp.; La Paz: Acción (Ed.).

ALBARRACIN-JORDAN, J. V., 1992 – Prehispanic and Early Colonial Settlement Patterns in the Lower Tiwanaku Valley, Bolivia, 400 pp.; Dallas: Southern Methodist University, Anthropology Department. Tesis de Doctorado.

ALBARRACIN-JORDAN, J. V. & MATHEWS, J. E., 1990 – *Asentamientos prehispánicos del valle de Tiwanaku*, vol. 1, 261 pp.; La Paz: CIMA Eds.

ARGOLLO, J. & MOURGUIART, P., 2000 – Late Quaternary climate history of the Bolivian Altiplano. *Quaternary International*, **72**: 37-51.

ARGOLLO, J., TICCLA, L., KOLATA, A. L. & RIVERA, O., 2003 – Geology, geomorphology and soils of the Tiwanaku and Catari River Basins. *In: Tiwanaku and its Hinterland: archaeology and paleoecology of an Andean Civilization*. Volume 2: Urban and Rural Archaeology (A. L. Kolata, ed.): 57-88; Washington D. C.: Smithsonian Institution Press 1.

ARNAUD-FASSETTA, G., 2003 – River channel changes in the Rhone Delta (France) since the end of the Little Ice Age: Geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. *Catena*, **51**: 141-172.

ASPINAL, A., GAFFNEY, C. & SCHMIDT, A., 2008 – *Magnetometry for archaeologists*, 224 pp.; Lanham, Maryland: Altamira Press. Geophysical Methods for Archaeology 2.

BENNETT, W. C., 1934 – Excavations at Tiahuanaco. *Anthropological Papers of the American Museum of Natural History*, **34 (3)**: 359-494.

BENNETT, W. C., 1946 – The Archaeology of the Central Andes. *In: Handbook of South American Indians* (Ed.), volumen 2: 61-147; Washington: Steward J. H.

BERMANN, M. P., 1993 – Continuity and Change in Household Life at Lukurmata. *In: Domestic architecture, ethnicity and complementarity in the south-central Andes* (M. S. Aldenderfer, ed.): 114-135; Iowa City: University of Oiwa Press.

BERMANN, M. P., 1994 – *Lukurmata: Household Archaeology in Prehispanic Bolivia*, xvii + 307 pp.; Princeton: Princeton University Press.

BINFORD, M., KOLATA, A. L., BRENNER, M., JANUSEK, J. W., SEDDON, M. T., ABBOTT, M. & CURTIS, J. H., 1997 – Climate variation and the rise and fall of an Andean Civilization. *Quaternary Research*, **47 (2)**: 235-248.

BURKHOLDER, J., 1997 – Tiwanaku and the Anatomy of Time: A Ceramic Chronology from the Iwawe Site, Department of La Paz, Bolivia; Nueva York: State University of New York, Department of Anthropology. Tesis de Doctorado.

BRADLEY, R. S. & JONES, P. D., 1993 – "Little Ice Age" summer temperatur e variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene*, **3-4**: 367-376.

BRAVARD, J.-P., 2004 – Le risque d'inondation dans le bassin du Haut Rhône : quelques concepts revisités dans une perspective géohistorique. *In: Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture. Sociétés préindustrielles et milieux fluviaux, lacustres et palustres* (J. Burnouf & P. Leveau, eds.): 397-408; París: Comité des Travaux Historiques et Scientifiques.

BREWER, S., GUIOT, J. & BARBONI, D., 2007 – Pollen methods and studies. *In: Encyclopedia of Quaternary Science,* vol. 1 (S. A. Elias, ed.): 2497-2508; Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland).

BROWN, A. G., 1997 – *Alluvial geoarchaeology, floodplain archaeology and environmental change*, 404 pp; Cambridge: Cambridge University Press.

BURNOUF, J. & LEVEAU, P. (Eds.), 2004 – *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture. Sociétés préindustrielles et milieux fluviaux, lacustres et palustres: pratiques sociales et hydrosystèmes*, 493 pp.; París: Comité des Travaux Historiques et Scientifiques.

CALLA MALDONADO, S. A., 2011 **–** Prospección arqueológica en el valle alto de Tiwanaku, contribuciones al estudio de la evolución del asentamiento prehispánico en el valle de Tiwanaku, 279 pp.; La Paz: Universidad Mayor de San Andrés. Tesis de Grado.

CAPRILES, J. M. & ALBARRACIN-JORDAN, J., 2013 **–** The earliest human occupations in Bolivia: a review of the archaeological evidence. *Quaternary International*, **301**: 46-59.

CIEZA DE LEÓN, P. (de), 1984 [1553} – *La Crónica del Perú*. Ed. y introd. Manuel Ballesteros Gaibrois; Madrid: Historia 16.

COSSA, D. & GOBEIL, C., 2000 **–** Mercury speciation in the Lower St. Lawrence Estuary. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences,* **57 (S1)**: 138-147.

COUTURE, N., 1993 – Excavations at Mollo Konto, Tiwanaku; Chicago: University of Chicago, Department of Anthropology. Tesis de maestría inédita.

CRÉQUI-MONTFORT, G. de, 1904 – Fouilles de la mission scientifique française à Tiahuanaco. Ses recherches archéologiques et ethnographiques en Bolivie, au Chili et dans la République Argentine (con 8 tablas). In: Internationaler Amerikanisten-Kongress, vierzehnte Tagung: 531-550; Stuttgart: zweite Hälfte.

DENG, C., SHAW, J., LIU, Q., PAN, Y. & ZHU, R., 2006 – Mineral magnetic variation of the Jingbian loess/paleosol sequence in the northern Loess Plateau of China: Implications for Quaternary development of Asian aridification and cooling. *Earth and Planetary Science Letters,* **241**: 248-259.

ERICKSON, C., 1996 **–** *Investigación arqueológica del sistema agrícola de los camellones en la cuenca del Lago Titicaca del Perú*, 336 pp.; Puno: Centro de Información para el Desarrollo-CID, Proyecto Interinstitutional de los Waru Waru-PIWA.

EYRE, J. K. & SHAW, J., 1994 **–** Magnetic enhancement of Chinese loess - the role of *γ*Fe2O3? *Geophysical Journal International,* **117 (1)**: 265-271.

FAEGRI, K. & IVERSEN, J., 1989 **–** Textbook of Pollen Analysis, 328 pp.; Chichester: John Wiley and sons. Cuarta edición, editada por K. Faegri, P. E. Kaland & K. Krzywinski.

FALDÍN ARANCIBIA, J. & GIRAULT, L., 1978 – Prospecciones arqueológicas en el valle de Tiwanaku. *In: Instituto Nacional de Arqueología de Bolivia, Documentos Internos*: 46-78; La Paz.

FASSBINDER, J. W. E., STANJEK, H. & VALI, H., 1990 **–** Occurrence of magnetic bacteria in soil. *Nature*, **343**: 161-163.

FIALOVA, H., MAIER, G., PETROVSKY, E., KAPICKA, A., BOYKO, T. & MAGPROX, T., 2006 – Magnetic properties of soils from sites with different geological and environmental settings. *Journal of Applied Geophysics,* **59**: 273-283.

GARCÍA, H., GARCÍA, R., PEREZ, H. & EKSTRÖM, T., 1995 – *Mapa geológico del valle del Río Guaquira-Tiwanaku*; La Paz: Servicio Geológico de Bolivia (Geobol) Swedish Geological AB (4 hojas: La Paz; Tiwanaku; Jesús de Machaca; Calamarca).

GENRIES, A., FINSINGER, W., ASNONG, H., BERGERON, Y., CARCAILLET, C., GARNEAU, M., HÉLY, C. & ALI, A. A., 2012 – Local *versus* regional processes: can soil characteristics overcome climate and fire regimes by modifying vegetation trajectories ? *Journal of Quaternary Science*, **27 (7)**: 745-756. doi: 10.1002/jqs.2560

GHILARDI, M., PSOMIADIS, D., CORDIER, S., DELANGHE-SABATIER, D., DEMORY, F., HAMIDI, F., PARASCHOU, T., DOTSIKA, E. & FOUACHE, E., 2012 – The impact of rapid early- to mid-Holocene Palaeoenvironmental changes on Neolithic settlement at Nea Nikomideia, Thessaloniki Plain, Greece. *Quaternary International,* **266**: 47-61.

GUÉDRON, S., AMOUROUX, D., SABATIER, P., DESPLANQUE, C., DEVELLE, A.-L., BARRE, J., FENG, C., GUITER, F., ARNAUD, F., REYSS, J.-L. & CHARLET, L., 2016 – A hundred year record of industrial and urban development in French Alps combining Hg accumulation rates and isotope composition in sediment archives from Lake Luitel. *Chemical Geology*, **431**: 10-19.

GUÉDRON, S., GRANGEON, S., LANSON, B. & GRIMALDI, M., 2009 – Mercury speciation in a tropical soil association; Consequence of gold mining on Hg distribution in French Guiana. *Geoderma*, **153 (3-4)**: 331-346.

GUÉDRON*, S.,* GRIMALDI, C., CHAUVEL, C., SPADINI, C., & GRIMALDI, M., 2006 – Weathering versus atmospheric contributions to mercury concentrations in French Guiana soils. *Applied Geochemistry,* **21 (11)**: 2010-2022.

GUÉRIN, R., DESCLOITRES, M., COUDRAIN, A., TALBI, A., GALLAIRE, R., 2001 – Geophysical surveys for identifying saline groundwater in the semi-arid region of the central Altiplano, Bolivia. *Hydrological Processes*, **15 (17)**: 3287-3301.

HASTORF, C. A., 2004 – The Upper (Middle and Late) Formative in the Titicaca Region. *In: Advances in Titicaca Basin Archaeology, vol. 1*. (C. Stanish, A. B. Cohen & M. Aldenderter, eds.): 65-94, Los Angeles (CA): Cotsen Institute of Archaeology, UCLA.

ISBELL, W. H. & BURKHOLDER, J. E., 2002 – Iwawi and Tiwanaku. *In: Andean Archaeology 1*: *Variations in Sociopolitical Organization* (W. H. Isbell & H. Silverman, eds.): 199-241; Nueva York: Kluwer Academic, Plenum Publishers.

JANUSEK, J. W., 1999 – Craft and Local Power: Embedded Specialization in Tiwanaku Cities. *Latin American Antiquity***, 10 (2)**: 107-31.

JANUSEK, J. W., 2008 – *Ancient Tiwanaku*, 368 pp.; Cambridge: Cambridge University Press.

KOLATA, A. L., 2003 – The Project Wila Jawira Research Program. *In: Tiwanaku and Its Hinterland: Archaeology and Paleoecology of an Andean Civilization. Vol. 2: Urban and Rural Archaeology* (A. L. Kolata, ed.): 3-17; Washington D. C.: Smithsonian Institution Press.

LASAPONARA, R. & MASINI, N., 2014 – Beyond modern landscape features: new insights in the archaeological area of Tiwanaku in Bolivia from satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **26 (1)**: 464-471.

LE BORGNE, E., 1955 – Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Annales de Géophysique*, **11**: 399-419.

LEMUZ AGUIRRE, C. & PAZ SORIA, J. L., 2001 – Nuevas consideraciones acerca del Período Formativo en Kallamarka. *Textos antropológicos*, **13 (1-2)**: 93-110; La Paz:

Revista de la carrera de Antropología - Arqueología de la Universidad Mayor De San Andrés.

MATHEWS, J. E., 1992 – Prehispanics settlement and agriculture in the Middle Tiwanaku Valley, Bolivia; Chicago: Universidad de Chicago, Departamento de Antropología. Tesis de Doctorado no publicada.

MARMET, E., 2000 – Cartographie à large maille de la susceptibilité magnétique du sol pour une évaluation archéologique sur les grands tracés, 237 pp.; París: Université Pierre & Marie Curie. Tesis de Doctorado.

MARMET, E., BINA, M., FEDOROFF, N. & TABBAGH, A., 1999 – Relationships between human activity and the magnetic properties of soils: a case study in the medieval site of Roissy in France. *Archaeological Prospection,* **6 (3)**: 161-170.

MOURGUIART, P., ARGOLLO, J., CORRE, T., MARTIN, L., MONTENEGRO, M. E., ABDELFETTAH, S., & WIRRMANN, D., 1997 – Limnological and climatological changes in the Lake Titicaca basin (Bolivia) during the last 30 millennia. *Earth & Planetary Sciences*, **325 (2)**: 139-146.

ORTLOFF, C. R. & KOLATA, A. L., 1993 – Climate and Collapse: Agro-Ecological Perspectives on the Decline of the Tiwanaku State. *Journal of Archaeological Sciences,* **20 (2)**: 195-221.

PONCE SAN GINÉS, C., 1971 – La cerámica de la época I Tiwanaku. *Pumapunku*, **2**: 7-28.

PONCE SAN GINÉS, C., 1972 – *Réplica a* Gasparini. *Pumapunku,* **5**: 69-83.

PORTUGAL ZAMORA, M. & PORTUGAL ORTIZ, M., 1975 – Qallamarka: Nuevo yacimiento arqueológico descubierto cerca de Tiahuanaco. *Arte y arqueología,* **3 (4)**: 195-216; La Paz: Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Estudios Bolivianos.

POSNANSKY, A., 1911 – *El clima del Altiplano y la extensión del Lago Titicaca, con relación a Tihuanacu en épocas prehistóricas*, 29 pp.; La Paz: Tipografía comercial de I. Argote.

PROVANSAL, M., VILLIET, J., EYROLLE, F., RACCASI, G., GURRIARAN, R. & ANTONELLI, C., 2010 – High resolution evaluation of recent bank accretion rate of the managed Rhone: a case study by multiproxy approach. *Geomorphology,* 117 (**3-4**): 287-297.

RABATEL, A., FRANCOU, B., JOMELLI, V., NAVEAU, P., GRANCHER, D., 2008 – A chronology of the Little Ice Age in the tropical Andes of Bolivia (16°S) and its implications for climate reconstruction. *Quaternary Research*, **70 (2)**: 198-212.

RICHTER, T. O., VAN DER GAAST, S., KOSTER, B., VAARS, A. J., GIELES, R., DE STIGTER, H. C., DE HAAS, H. & VANWEERING, T. C. E., 2006 – The Avaatech XRF Core Scanner: technical description and applications to NE Atlantic sediments. *In: New Techniques in Sediment Core Analysis* (Rothwell, R. G., ed.): 39-50; London: Geological Society.

RIGSBY, C. A., BAKER, P. A., ALDENDERFER, M. S., 2003 – Fluvial history of the Rio Ilave valley, Peru, and its relationship to climate and human history. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194**: 165-185.

SEPPÄ, H., 2007 – Pollen analysis, principles. *In: Encyclopedia of Quaternary Science,* vol. 1 (S. A. Elias, ed.): 2486-2497; Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

SERVANT, M. & SERVANT-VILDARY, S., 2003 – Holocene precipitation and atmospheric changes inferred from river paleowetlands in the Bolivian Andes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194**: 187-206.

STÜBEL, A. & UHLE, M., 1892 – *Die Ruinenstätte von Tiahuanaco im Hochlande des Alten Peru: Eine kulturgeschichtliche Studie auf Grund Selbständiger Aufnahmen;* Leipzig: Karl W. Hiersemann.

TALBI, A., COUDRAIN, A., RIBSTEIN, P., POUYAUD, B., 1999 – Calcul de la pluie sur le Bassin versant du lac Titicaca pendant l'Holocène. *Compte-Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Series IIA-Earth and Planetary Science*, **329 (3)**: 197-203.

TAPIA, P., FRITZ, S. C., BAKER, P. A., SELTZER, G. O., DUNBAR, R. B., 2003 – A Late Quaternary diatom record of tropical climatic history from Lake Titicaca (Peru and Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **194 (1)**: 139-164.

THEVENON, F., GUÉDRON, S., CHIARADIA, M., LOIZEAU, J.-L. & POTÉ-WENBONYAMA, J., 2011 – (Pre-) historic changes in natural and anthropogenic heavy metals deposition inferred from two contrasting Swiss Alpine lakes. *Quaternary Science Reviews*, **30 (1-2)**: 224-233.

TITE, M. S. & MULLINS, C., 1971 – Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. *Archaeometry,* **13 (2)**: 209-219.

UHLE, M., 1903 – Ancient South-American Civilizations. *Harper's Monthly Magazine*. **October**: 780-786.

VAN DAM, R. L., 2012 – Landform characterization using geophysics—Recent advances, applications, and emerging tools. *Geomorphology,* **137**: 57-73.

VELLA, M.-A., 2010 – Approches géomorphologique et géophysique des interactions sociétés/milieux en Corse au cours de l'Holocène, 324 pp.; Corsega: Université de Corse. Tesis de Doctorado, 2 volúmenes.

VELLA, M.- A., GHILARDI, M., DIOUF, O., PARISOT, J.-C., HERMITTE, D., PROVANSAL, M., FLEURY, J., DUSSOUILLEZ, P., DELANGHE-SABATIER, D., DEMORY, F., HARTMANN-VIRNICH, A., DELPEY, Y., BERTHELOT, M. & BICKET, A., 2013 – Géoarchéologie du Rhône dans le secteur du pont Saint-Bénézet (Avignon, Provence, France) au cours de la seconde moitié du deuxième millénaire apr. J.-C. : étude croisée de géographie historique et des paléoenvironnements. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, **19 (3)**: 287-310.

VELLA, M.-A., TOMAS, E., THURY-BOUVET, G. & MULLER, S., 2014 – Nouvelles données sur le Petit Âge de Glace en Corse : apports de l'analyse croisée des informations géomorphologique, palynologique et archéologique de la piève de Santo Pietro (désert de l'Agriate, Corse). *Méditerranée*, **122**: 99-111.

VILLALBA, R., 1994 – Tree-ring and glacial evidence for the medieval warm epoch and the little ice in southern South America. *Climatic Change,* **26**: 183-197.