

PART I : COPAN ARCHAEOLOGICAL PROJECT
(PROARCO): ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION IN THE
GROUP 9L-22 AND 9L-23, COPAN, HONDURAS, VOL. 2
/ PART II : APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY TO
THE TUNNEL NETWORK EXCAVATED IN THE ACROPOLIS
OF COPAN

著者	中村 誠一
著者別表示	Nakamura Seiichi
journal or publication title	Kanazawa cultural resource studies
number	23
page range	1-128
year	2020-03-31
URL	http://doi.org/10.24517/00061875



Kanazawa Cultural Resource Studies

No. 23

Parte I

Proyecto Arqueológico Copán (PROARCO):

Investigaciones Arqueológicas en los Grupos 9L-22 y 9L-23, Copán, Honduras, Vol.2

Copan Archaeological Project (PROARCO):

Archaeological Investigation in the Group 9L-22 and 9L-23, Copan, Honduras, Vol.2

Parte II

Aplicación de la Tecnología 3D

a la Red de Túneles Excavada en la Acrópolis de Copán

Application of 3D Technology

to the Tunnel Network Excavated in the Acropolis of Copan

edited by

SEIICHI NAKAMURA



Center for Cultural Resource Studies

Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University

金沢大学 文化資源学研究 第23号

金沢大学人間社会研究域附属 国際文化資源学研究センター



文化資源学研究

第23号

第一部

コパン考古学プロジェクト (PROARCO) :
9L-22, 9L-23グループにおける考古学調査 (2)

第二部

コパン遺跡アクロポリスにおける発掘
トンネル網への三次元計測技術の適用

中村誠一 編著



金沢大学人間社会研究域附属

国際文化資源学研究センター

第一部

コパン考古学プロジェクト (PROARCO) :
9L-22, 9L-23グループにおける考古学調査 (2)

第二部

コパン遺跡アクロポリスにおける発掘
トンネル網への三次元計測技術の適用

中村誠一 編著

金沢大学人間社会研究域附属
国際文化資源学研究センター

Parte I

Proyecto Arqueológico Copán (PROARCO):

Investigaciones Arqueológicas en los Grupos 9L-22 y 9L-23, Copán, Honduras, Vol.2

Copan Archaeological Project (PROARCO):

Archaeological Investigation in the Group 9L-22 and 9L-23, Copan, Honduras, Vol.2

Parte II

Aplicación de la Tecnología 3D

a la Red de Túneles Excavada en la Acrópolis de Copán

Application of 3D Technology

to the Tunnel Network Excavated in the Acropolis of Copan

edited by SEIICHI NAKAMURA

Center for Cultural Resource Studies

Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University

序 文

金沢大学が研究拠点としてのリエゾンオフィスをおく中米ホンジュラスのコパンレイナスにおいては、大学間協定締結機関であるホンジュラス人類学歴史学研究所と共同して世界遺産「コパンのマヤ遺跡」の発掘調査や修復保存活動を実施している。その研究活動報告の一環である『金沢大学 文化資源学研究』第23号においては、2つのテーマを現地公用語であるスペイン語と英語の2ヵ国語で取り扱った。

第一部は、2003年から断続的に2019年3月まで実施されたコパン考古学プロジェクト（PROARCO）の調査成果報告（『金沢大学 文化資源学研究』第17号）の続編である。今回は、グループ9L-22の最大建造物9L-101の全面発掘調査で見つかった埋葬とその副葬品について、図面や写真と共に報告している。新しい知見としては、副葬土器群の共存関係と放射性炭素年代測定値から、コパン編年において、従来の定説では Acbi II 期(550-650 A.D.)に比定されていた複数の土器型式が、Acbi I 期(400-550 A.D.)に属することが明らかになった点である。建造物9L-101の発掘調査と修復保存は、もともと筆者が金沢大学に赴任する前の2003年から2004年にかけて実施されたものである。しかし、金沢大学調査団による2016年のグループ最大の建造物9L-105における集団埋葬墓の発見や、その副葬土器群の共存関係の再検討が、従来のコパン編年修正の必要性を提起し、2017年以降に大学の研究資金を使って集中的に実施された放射性炭素年代測定の結果とも比較したうえで、正式な報告書の刊行に至ったものである。

第二部は、コパン遺跡アクロポリス東側内部に、主にアメリカの複数の大学調査団によって1990年代に掘られた調査用トンネル網のデジタル三次元計測の成果とそこから波及する保存に関する諸問題について論じた技術報告である。2017年から2019年にかけて、我々は部局間協定締結機関である凸版印刷の協力を得て、他国の調査団に先駆けて地上型のLiDAR機器をコパン遺跡の調査に導入し、高精細の三次元計測を実施した。全長3キロとも4キロとも言われるアクロポリス内部のトンネル網は、長年、コパン遺跡中心部の長期保存に向けた問題点として指摘されており、その保存に向けて文理融合研究を展開中である。

本報告の出版にはセンター資金が使用されたが、現地での調査研究には、科学研究費補助金 基盤研究（A）「世界遺産コパンのマヤ遺跡における王朝創始時期とそのプロセスの解明」（KAKENHI 18H03586）、二国間交流事業共同研究「世界遺産コパンのマヤ遺跡における王朝創始期の土器編年修正に向けた共同研究」、超然プロジェクト「文化資源マネジメントの世界的研究・教育拠点の形成」「古代文明の学際研究の世界的拠点の形成」等の研究資金が使用された。この場をお借りしてこれら研究資金の関係者各位にお礼申し上げたい。

令和2年3月

国際文化資源学研究センター 教授
中村 誠一

CONTENIDO

序 文	i
PARTE I : PROYECTO ARQUEOLÓGICO COPÁN (PROARCO): INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS EN LOS GRUPOS 9L-22 Y 9L-23, COPÁN, HONDURAS, VOL. 2	1
PART I : COPAN ARCHAEOLOGICAL PROJECT (PROARCO): ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION IN THE GROUP 9L-22 AND 9L-23, COPAN, HONDURAS, VOL. 2	9
APÉNDICE	17
FOTOS	19
FIGURAS	32
PARTE II: APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 3D A LA RED DE TÚNELES EXCAVADA EN LA ACRÓPOLIS DE COPÁN	65
PART II : APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY TO THE TUNNEL NETWORK EXCAVATED IN THE ACROPOLIS OF COPAN	97

PARTE I : PROYECTO ARQUEOLÓGICO COPÁN (PROARCO):
INVESTIGACIONES ARQUEOLÓGICAS EN LOS GRUPOS 9L-22 Y 9L-23,
COPÁN, HONDURAS, VOL. 2

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-I : Estado de abandono de 9L-101 (1970-2003)	3
Fotografía 2-I : Después de la limpieza superficial de la Estructura 9L-101 en 2003	3
Fotografías 3a-I, 3b-I : “Candelero” de pasta fina anaranjada con el color “azul Maya”	3
Fotografía 4-I : incrustaciones de jade en los incisivos superiores	5
Fotografía 5-I : Investigación de la caja del Rasgo 76	5
Fotografía 6-I : Pectoral de jade (Dibujo : E. Arias)	5
Fotografía 7-I : Pectoral de jade No.3 (Dibujo : E. Arias)	6
Fotografía 8-I : Excavación del Entierro 54	7
Dibujo de la ofrenda del Entierro 54, a-c (Dibujo : E. Arias)	8

Entierros y ofrendas de la Estructura 9L-101 del Grupo 9L-22

1-1 Estado de la estructura antes del inicio de las excavaciones por PROARCO

La Estructura 9L-101 se encuentra al norte del patio del grupo 9L-22 y es la más grande de las cuatro estructuras que lo conforman (ver Figs. 1 a 4, y 7). Por su tamaño se supone que en esta estructura vivía el jefe de la familia o del grupo de familias.

Al igual que otras estructuras de los grupos 9L-22 y 9L-23, al momento de iniciar las excavaciones hechas por PROARCO en 2003 y 2004, esta estructura ya estaba completamente descubierta, casi libre de escombros y con su última etapa de construcción expuesta al aire. No obstante, no había consolidación o protección alguna (Fotografías 1-I y 2-I).

Aunque no existe un registro concreto que señale quién excavó esta estructura, se sabe que el

Arqueólogo Jesús Núñez Chinchilla en su proyecto de “rescate” en 1969 dirigió una excavación de limpieza para exponer totalmente las superficies de estas estructuras (ver Nakamura 2018).

El problema más grave de esta situación fue la eliminación de las huellas de la última ocupación de estos grupos que de acuerdo con algunos artefactos encontrados en asociación con la última etapa de esta estructura (contrafuerte norte) habría sido durante el período Epi-Clásico a Posclásico (Fotografía 3a-I, 3b-I). Al descubrir la última etapa de ocupación para limpiar toda la superficie que iban a exponer al aire, los responsables de la excavación forzosamente tenían que quitar los escombros y la tierra que cubrían — en otras palabras: que protegían las huellas del carácter de la última ocupación del sitio. Por lo tanto, uno de los objetivos académicos de PROARCO sobre el Epi-Clásico y el Posclásico (Nakamura 2018:27) fue bloqueado desde su inicio.



Fotografía 1-I : Estado de abandono de 9L-101 (1970-2003)



Fotografía 2-I : Después de la limpieza superficial de la Estructura 9L-101 en 2003



Fotografías 3a-I, 3b-I : “Candelero” de pasta fina anaranjada con el color “azul Maya”

1-2. Descripción de los entierros encontrados en la Estructura 9L-101 (ver Figs. 5 y 6 para la localización de cada entierro dentro de la estructura)

En la excavación de la Estructura 9L-101 fueron confirmados 19 entierros en total. Entre éstos, 10 entierros tienen algunas ofrendas,

Entierro 17-Rasgo 69 (Figs. 16-18)

Entierro 26-Rasgo 76 (Figs. 22-30)

Entierro 32-Rasgo 88 (Figs. 35-38)

Entierro 34-Rasgo 91 (Figs. 39-42)

Entierro 36-Rasgo 98 (Figs. 43-45)

Entierro 43-Rasgo 109 (Figs. 47-49)

Entierro 47-Rasgo 112 (Figs. 50-51)

Entierro 50-Rasgo 112 (Figs. 54-55)

Entierro 54-Rasgo 118 (Figs. 58-60)

Entierro 59-Rasgo 122 (Figs. 62-63)

y 9 entierros no las tienen.

Entierro 1-Rasgo 9 (Fig. 8)

Entierro 7-Rasgo 39 (Figs. 9-15)

Entierro 23-Rasgo 74 (Figs. 19-21)

Entierro 30-Rasgo 85 (Figs. 31-34; Fotografías 6-8)

Entierro 33-Rasgo 88 (Figs. 35-37)

Entierro 41-Rasgo 103 (Fig. 46; Fotografías 12-13)

Entierro 49-Rasgo 113 (Figs. 52-53; Fotografía 16)

Entierro 51-Rasgo 116 (Figs. 56-57; Fotografía 17)

Entierro 57-Rasgo 120 (Fig. 61; Fotografía 19)

A continuación se describen los entierros más representativos o más importantes.

Entierro 7 (Rasgo 39; Figs. 9-15; Fotografía 1)

Este entierro fue descubierto en la parte este de la estructura, en la ampliación este de la misma. La ampliación hacia el este y el oeste fue la cuarta y penúltima etapa de construcción y de modificación de la Estructura 9L-101. En vista de que el emplantillado que la cubría había sido cortado, este entierro fue realizado después de la ampliación hacia el este (hacia la Estructura 9L-100), pero antes de la última modificación de este sector oriental. No se encontró ofrenda alguna.

Entierro 17 (Rasgo 69; Figs. 16-18; Fotografías 2-3)

En la trinchera A, la trinchera excavada al oeste del cuarto, se encontró un entierro en mal estado de conservación. Al igual que el caso del Entierro 10 del Rasgo 45 en la Estructura 9L-100 (Nakamura 2018:34-39), éste había sido depositado inmediatamente encima de las rocas y piedras de la antigua corriente del agua (Fotografía 2). No se sabe si es un entierro primario o uno secundario ya que solamente una parte del cráneo está conservada. Encima de este cráneo estaban colocados tios grandes de una vasija incisa con engobe rojo (Fotografía 3).

Este tipo de cerámica lleva el nombre de “Arturo Inciso” y según la cronología tradicional de cerámica en Copán pertenece a la fase Cueva (601-700 d.C.; ver Bill 1997:314-315, Willey et al.1994:34-35) o Acbi II (550-650 d.C.; Viel 1993:98-99, Fig 64d, e). Sin embargo, en base a los resultados de PROARCO, tanto en el fechamiento de C14 como en la asociación cerámica con otros tipos en un contexto primario — tal como son los entierros —, esta cronología parece errónea. El tipo Arturo Inciso debería estar localizado en la fase Acbi I (400-550 d.C.), es decir, en la primera parte del Clásico Temprano en Copán (Nakamura 2018:46, 54). El fechamiento de C14 de la muestra 34 (TKA-20082) por la Universidad de Tokio en 2018 dio el siguiente resultado,

con 2 sigma:

401~475 A.D. (47.5%)

484~536 A.D. (47.9%)

Entierro 23 (Rasgo 74; Figs. 19-21; Fotografía 4)

La Estructura 9L-101 posee una etapa de modificación (Etapa III) llevada a cabo en la sección que da hacia el patio del grupo. Durante esta ampliación hacia el patio, las gradas originales de acceso al cuarto principal fueron canceladas y nuevas gradas fueron construidas. En ese momento, las piedras previamente trabajadas para formar el bloque del basamento anterior fueron posiblemente reutilizadas para la ampliación.



Fotografía 4-I : incrustaciones de jade en los incisivos superiores

El piso de estuco verde descubierto en la trinchera J que corresponde con el basamento viejo sugiere que existía en ese tiempo otro edificio que fue demolido casi totalmente con la remodelación y la ampliación del basamento de la Estructura 9L-101 1ra.

El entierro 23 fue descubierto en la esquina sureste, debajo del muro de basamento de ampliada Estructura 9L-101-1ra. El cuerpo encontrado está en posición flexionada con la cabeza hacia el oeste (Fig.19) y tiene incrustaciones de jade en los cuatro incisivos superiores (ver Fotografía 4-I). Estas características apuntan hacia un miembro de la clase

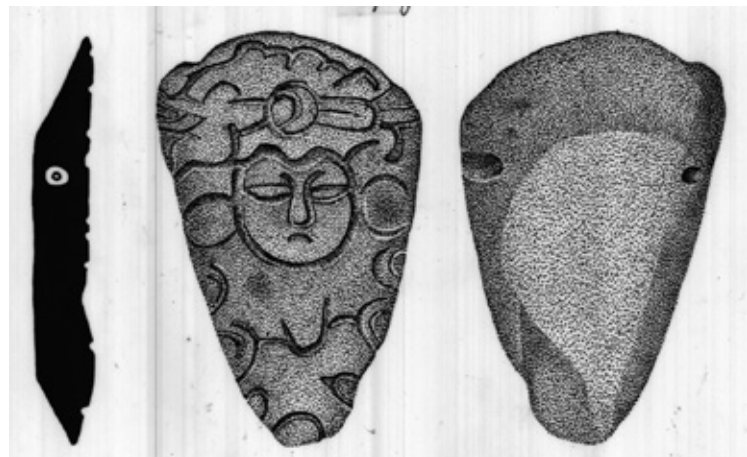
alta de la sociedad. Esta evidencia y el lugar del entierro (debajo del muro de la siguiente etapa de construcción) sugieren que este individuo podría haber sido el ocupante de esta misma estructura en su etapa anterior.

Entierro 26 (en la caja de ofrendas del Rasgo 76; Figs. 22-30; Fotografía 5)

Una caja de ofrendas fue descubierta al oeste de las gradas de acceso sur, en la entrada del edificio del basamento de la última etapa de construcción de la Estructura, es decir, 9L-101-1ra (Fotografía 5-I). La pared interior de esta caja de ofrenda tiene seis hiladas de bloques de toba con un nicho en cada uno de los cuatro lados. Al momento de quitar las tapaderas se detectaron dos vasijas, una inclinada a la par del nicho sur (vaso cilíndrico monocromo) y la otra también inclinada a la par del nicho este



Fotografía 5-I : Investigación de la caja del Rasgo 76



Fotografía 6-I : Pectoral de jade (Dibujo : E. Arias)

(plato monocromo). Dos vasijas fueron identificadas por el autor como “Tipon orange-brown” (Willey et al. 1994:55-59). Se supone que estas vasijas se cayeron de sus respectivos nichos en algún momento a lo largo de los 1,300 años que han pasado desde que fue realizado este entierro a causa de la presión de la tierra filtrada en los mismos nichos o en otros espacios entre los bloques de toba.

Al limpiar el nicho norte se encontraron dos conchas marinas (*spondylus*) con forma de vulva cerrada.

Del nicho oeste no apareció nada. Sobre el piso de esta caja se encontró una placa de jade tallada con la imagen de un personaje visto de frente (Jade No.1, ver Fotografía 6-I y su dibujo). Este artefacto tiene un tamaño de 7.9cm x 5.1cm x 1.1cm y tiene dos orificios en la parte posterior superior. Se supone que fue utilizado como pectoral.

Otro pectoral fue hallado junto con los huesos erosionados en la parte sureste de la caja (Jade No.2). Estaba quebrado en dos partes.

Un tercer pectoral de jade con dos caras talladas en su superficie (Jade No.3, ver Fotografía 7-I y su dibujo) se encontró debajo de los huesos. No estaba a la vista y sólo se identificó después de haber quitado los huesos superpuestos.

Entierro 32 (Rasgo 88; Figs. 35-38; Fotografía 9)

En base al descubrimiento del Rasgo 76 al frente del nicho oeste de la estructura, se sospechaba que

el nicho este también podría estar asociado con una caja o con un entierro importante. Por esta razón, otra excavación fue realizada al frente de éste. El descubrimiento de un entierro con una vasija muy interesante colocada como ofrenda confirmó las sospechas. Esta vasija pertenece al tipo “Babilonia Policromo” o “Ulua-Yojoa Policromo” importado a Copán. Tiene dos asas con forma de cabezas de mono que sobresalen y están incorporadas al diseño de un mono negro.

Según la cronología hecha por Rosemary Joyce, este tipo pertenece al periodo que va entre 600 y 700 d.C. (presentación en el Seminario en junio de 2004). Coincide esto con el fechamiento de C14 de la muestra No.32 (TKA-20081) hecho por la Universidad de Tokio en 2018,

con 2 sigma:

606-659 A.D. (95.4%)

Entierro 33 (Rasgo 88; Figs. 35-37; Fotografía 9)

Fragmentos de huesos descubiertos aproximadamente a 40cm hacia el oeste del Entierro 32 fueron registrados como Entierro 33 del mismo Rasgo 88. Este entierro está documentado en la misma foto del Entierro 32.

Entierro 34 (Rasgo 91; Fig.39-42; Fotografía 10)

Este entierro se encontró encima de la capa estéril con grandes cantos, pero estaba dentro de la delimitación marcada por lajas colocadas en ambos lados (ver Fig. 39). Se hallaron dos vasijas como



Fotografía 7-I : Pectoral de jade No.3 (Dibujo : E. Arias)



ofrendas, una es del tipo Copador Policromo y la otra pertenece a la categoría Tasu Fluted del grupo Tipon. La tercera ofrenda fue una punta de flecha de obsidiana.

Entierro 36 (Rasgo 98; Figs. 43-45; Fotografía 11)

En la parte suroeste del basamento de la Estructura 9L-101-2ndo se observó un ligero hundimiento del muro. Al frente de dicho muro había un emplantillado cubriendo la parte inferior del mismo. Se decidió entonces quitar el emplantillado y exponer dicho muro. Al bajar hasta el nivel de terreno donde estaba asentado este muro se observó un hundimiento más claro y debajo de ese punto se confirmó una concentración de piedras sin forma determinada. Aparentemente, este rasgo era el costado de un entierro importante. Se tomó así la decisión de desarmar el muro de basamento de la Estructura 9L-101-2ndo y de continuar con la excavación a su alrededor.

A juzgar por la forma de este entierro, parece que hubo una intromisión en este punto debajo del muro. El muro de delimitación fue confirmado solamente en la parte sur. El entierro allí descubierto tiene 2 vasijas como ofrendas de las cuales una es del tipo “Tasu fluted” grabado con glifos falsos.

Hay que destacar que este lugar coincide con el rasgo 76 (Caja de Entierro 26 con sus ofrendas importantes) a lo largo de un eje norte-sur de la estructura. Es posible entonces que este entierro sea también secundario y que ambos hayan sido realizados casi simultáneamente como parte de un rito antes de llevar a cabo la ampliación del basamento de Estructura 9L-101-2ndo hacia el sur.

Entierro 43 (Rasgo 109; Figs. 47-49; Fotografía 14)

Debajo del cuarto de la extensión este se encontró un entierro aparentemente muy importante. El cuerpo estaba en posición extendida viendo hacia su derecha (decúbito lateral derecho), y como ofrendas había dos vasijas pertenecientes al período Clásico Temprano de Copán. Esta posición del cuerpo se confirmó también en el Entierro 61, Rasgo 127 de

la Estructura 9L-103. Este entierro 61 fue hallado debajo de la pared de contrafuerte oeste de la Estructura 9L-103, y el diseño de la cerámica de ofrenda que allí (9L-103) se encontró tiene una fuerte similitud con la de la Tumba Sub-Jaguar de la Acrópolis descubierta por PIAT en 1992.

Entierro 47 (Rasgo 112; Figs. 50-51; Fotografía 15) y Entierro 50 (Rasgo 112; Figs. 54-55; Fotografía 15)

En la trinchera Q excavada al norte del anexo oeste de la Estructura 9L-101 fueron encontrados dos entierros colindantes que se registraron con el mismo número de rasgo (ver Fig. 6). Aparentemente, estos entierros estaban cubiertos con un basurero o con un relleno de tierra traída de un basurero. Las cerámicas de ofrenda en estos dos entierros son del tipo Gualpopa Policromo.

Entierro 54 (Rasgo 118; Figs. 58-60; Fotografía 18)

Debajo de la parte anexa este de la Estructura 9L-101, se encontró un entierro considerado muy importante con una caja hecha con piedras rústicas en forma de *cist* (ver Figs. 58-60; Fotografía 8-I).

Las ofrendas de cerámica allí encontradas son muy interesantes puesto que presentan características de la época transicional entre Bijac y Acbi I

El fechamiento de C14 de la muestra No. 3-44



Fotografía 8-I : Excavación del Entierro 54



Dibujo de la ofrenda del Entierro 54, a-c (Dibujo : E. Arias)

(PLD-36914) por Paleo Labo de Japón en 2018 dio el siguiente resultado,

con 2 sigma:

417~537 A.D. (95.4%)

Esta evidencia, tanto la de la tipología de la cerámica como la de la fecha obtenida por C14, demuestran que este entierro es casi contemporáneo con el Entierro 10 del Niño Real del Rasgo 45 de la Estructura 9L-100 (Nakamura 2018). Aunque fueron realizados en diferentes estructuras, ambos entierros están localizados muy cerca el uno del otro.

Entierro 59 (Rasgo 122; Figs. 62-63; Fotografía 20)

Debajo de la parte anexa oeste de la Estructura 9L-101 se encontraron fragmentos de huesos cubiertos por un basurero que fueron registrados como Entierro 59. Aunque las dos vasijas fueron registradas provisionalmente como ofrenda de este entierro, en realidad puede ser que no hayan sido ofrendas sino simplemente hayan sido tiradas al basurero. La vasija del tipo Chilanga no es una vasija completa y no están bien puestas cerca de los huesos. Ya que este lugar está cerca del punto donde se encontró el Rasgo 112 (Entierros 47 y 50) arriba mencionado, puede ser que durante el siglo VI hubiera habido allí un basurero utilizado por los habitantes de este grupo. El nivel de ambos basureros coincide (598.50~598.70).

REFERENCIAS CITADAS

Bill, Cassandra R.

1997 *Patterns of Variation and Change in Dynastic Period Ceramics and Ceramic Production at Copan, Honduras*. Ph.D. Dissertation. Tulane University.

Nakamura, Seiichi

2018 *Proyecto Arqueológico Copán (PROARCO): Investigaciones Arqueológicas en los Grupos 9L-22 y 9L-23, Copán, Honduras, Vol.1* Kanazawa Cultural Resource Studies No. 17. Center for Cultural Resource Studies, Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University, Japan.

Viel, René

1993 *Evolución de la cerámica de Copán, Honduras*. Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa, M.D.C.

Wiley, Gordon R., Richard M. Leventhal, Arthur A. Demarest, y William L. Fash

1994 *Ceramics and Artifacts from Excavations in the Copan Residential Zone*. Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Vol. 80. Harvard University, Cambridge, MA.

PART I : COPAN ARCHAEOLOGICAL PROJECT (PROARCO):
ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION IN THE GROUP 9L-22 AND 9L-23, COPAN,
HONDURAS, VOL. 2

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photograph 1-I : Abandoned status of 9L-101 (1970-2003) 11

Photograph 2-I : After the superficial cleaning of the Structure 9L-101 in 2003 11

Photographs 3a-I, 3b-I : “Candlestick” of fine orange paste with the “Maya blue” color..... 11

Photograph 4-I : jade inlays in upper incisors 13

Photograph 5-I : Investigation of the box of the Feature 76 13

Photograph 6-I : Jade pectoral (Drawing : E. Arias) 13

Photograph 7-I : Jade pectoral No.3 (Drawing : E. Arias) 14

Photograph 8-I : Excavation of Burial 54 15

Drawing of a offering of the Burial 54, a-c (Drawing : E. Arias) 16

Burials and offerings from Structure 9L-101 of Group 9L-22

1-1 The Structure's Status before the Excavations Done by PROARCO

Structure 9L-101 is located north of the courtyard of Group 9L-22 and it is the biggest of the four structures that conform that group (see Figs. 1 to 4 and 7). Due to its size, it is believed that this structure served as the dwellings of the head of the family or of the group of families that inhabited this group.

Just as other structures found in groups 9L-22 and 9L-23, before the excavations undertaken by PROARCO in 2003 and 2004, this structure was already uncovered, free of any debris, and with its last stage of construction exposed to open air. Nevertheless, there was only a little consolidation or protection whatsoever (Photographs 1-I and 2-I).

Even if there is no official record that establishes

who excavated this structure, it is known that the archaeologist Jesús Núñez Chinchilla lead a “rescue” project in 1969 and conducted an excavation whose object was the total exposure of these structures’ surfaces (see Nakamura 2018).

The most serious problem that rose from this action was the elimination of the traces of the last occupancy of these groups that, according to some artifacts found in association with the final stage of this structure (north buttress wall), could have been during the Epi-Classic to Postclassic Period (Photographs 3a-I, 3b-I). In order to uncover the last stage of construction to clean the surface that was going to be exposed, the earth and the debris that covered —or in other words: protected— such traces of the last occupancy of the site necessarily had to be removed. Therefore, one of the academic objectives of PROARCO relating the Epi-Classic and the Postclassic (Nakamura 2018:27) was flawed even before its beginning.



Photograph 1-I : Abandoned status of 9L-101 (1970-2003)



Photograph 2-I : After the superficial cleaning of the Structure 9L-101 in 2003



Photographs 3a-I, 3b-I : “Candlestick” of fine orange paste with the “Maya blue” color

1-2. Description of the Burials Found in Structure 9L-101 (see Figs. 5 and 6 for the location of each one within the structure)

During the excavations of Structure 9L-101 a total of 19 burials were confirmed. Among these, 10 burials had offerings,

Burial 17-Feature 69 (Figs. 16-18)

Burial 26-Feature 76 (Figs. 22-30)

Burial 32-Feature 88 (Figs. 35-38)

Burial 34-Feature 91 (Figs. 39-42)

Burial 36-Feature 98 (Figs. 43-45)

Burial 43-Feature 109 (Figs. 47-49)

Burial 47-Feature 112 (Figs. 50-51)

Burial 50-Feature 112 (Figs. 54-55)

Burial 54-Feature 118 (Figs. 58-60)

Burial 59-Feature 122 (Figs. 62-63)

and 9 burials did not.

Burial 1-Feature 9 (Fig. 8)

Burial 7-Feature 39 (Figs. 9-15)

Burial 23-Feature 74 (Figs. 19-21)

Burial 30-Feature 85 (Figs. 31-34; Photographs 6-8)

Burial 33-Feature 88 (Figs.35-37)

Burial 41-Feature 103 (Fig. 46; Photographs 12-13)

Burial 49-Feature 113 (Figs. 52-53; Photograph 16)

Burial 51-Feature 116 (Figs. 56-57; Photograph 17)

Burial 57-Feature 120 (Fig. 61; Photograph 19)

A description of the most representative or most important burials follows.

Burial 7 (Feature 39; Figs. 9-15; Photograph 1)

This burial was discovered in the east section of the structure, in the eastern extension of it. The extension to the east and west was the fourth and last but one stage of construction and modification of Structure 9L-101. In view of the fact that the subfloor that covered it had been cut, this burial was then carried out after the east extension (towards Structure 9L-100) was built, but before the last modification of this eastern sector. No offerings were found.

Burial 17 (Feature 69; Figs. 16-18; Photographs 2-3)

In trench A, the trench excavated west of the room, a burial was found in poor conditions. Like the case of burial 10 of Feature 45 in Structure 9L-100 (Nakamura 2018:34-39), it had immediately been deposited on the rocks and stones of the old flow of running water (Photograph 2). It is not yet ascertained if this is a primary or a secondary burial since only part of a skull was preserved. Large shards of a pot incised with red slip were found placed on top of it (Photograph 3).

This type of pottery falls under the category “Arturo Incised”, and according to the commonly held ceramic chronology of Copan it belongs to the phase Cueva (601-700 AD; see Bill 1997:314-315, Willey et al.1994:34-35) or Acbi II (550-650 AD; Viel 1993:98-99, Fig 64d, e). However, based on the results of PROARCO, both according to the following C14 established date and according to the ceramic associations with other types in primary contexts such as burials, this chronology seems wrong. The Arturo Incised type should be situated in the Acbi I phase (400 to 550 AD), in the first part of the Early Classic in Copán (Nakamura 2018: 46, 54). The C14 dating of sample 34 (TKA-20082) by the University of Tokyo in 2018 gave the following result,

with 2 sigma:

401-475 A.D. (47.5%)

484-536 A.D. (47.9%)

Burial 23 (Feature 74; Figs.19-21; Photograph 4)

Structure 9L-101 has a modification stage (Stage III) carried out in the section that faces the group’s court. During this enlargement toward the court, the original access stairs to the main room were canceled and new stairs were built. At that time, stones that had been previously shaped to form the blocks of previous foundation (base) were possibly reused for this expansion.

The green plaster floor discovered in trench J that corresponds to the old foundation of the structure



Photograph 4-I : jade inlays in upper incisors

suggests that at that time there was another building that was almost completely demolished with the remodeling and the expansion of the foundations of Structure 9L-101-1st.

Burial 23 was discovered in the southeast corner, under that wall of the foundation of the enlarged Structure 9L-101-1st. The body was found in a flexed position with the head facing west (Fig. 19); it had jade inlays in the four upper incisors (see Photograph 4-I). These characteristics point to a member of the upper class and, together with the particular locations of the burial (under the wall of the following construction stage), they suggest that this individual could have been the occupant of this

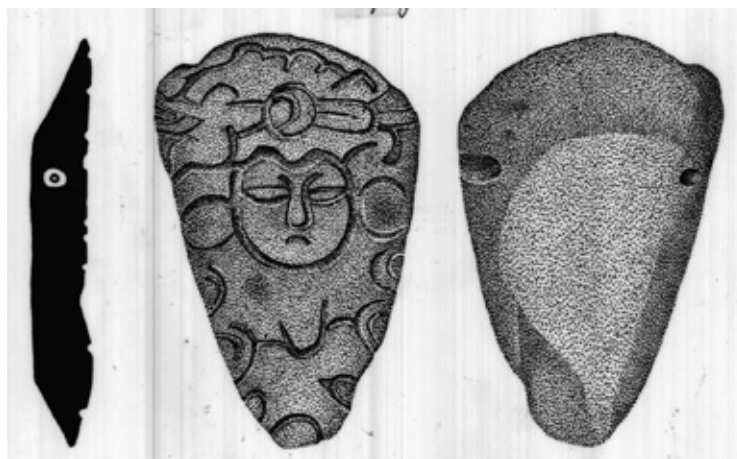
same structure during its previous stage.

Burial 26 (in the offering box of Feature 76; Figs.22-30; Photograph 5)

An offering box was discovered west of the south access stairs at the entrance to the foundation of the last construction stage of Structure 9L-101-1st (Photograph 5-I). The inner wall of this offering box has six rows of tuff blocks with a niche on each one of the four sides. Upon removing the capstones, two pots were found, one (cylindrical monochrome vessel) inclined next to the southern niche and the other one (monochrome plate) inclined as well, but next to the eastern niche. The two pots were identified by the author as “Tipon orange-brown” (Willey et al. 1994: 55-59). It is assumed that these pots fell from their respective niches at some point during the 1,300 years that have passed since this



Photograph 5-I : Investigation of the box of the Feature 76



Photograph 6-I : Jade pectoral (Drawing : E. Arias)

burial was performed because of the pressure of the filtered earth in their niches or in crevice between the tuff blocks. When cleaning the northern niche, two sea shells (*spondylus*) with a closed vulva shape were found.

Nothing was found from the west niche. A flat jade piece bearing the image of a person in frontal view (Jade No.1, Photograph 6-I and its drawing) was found lying on the floor of this offering box. This artifact measuring 7.9cm x 5.1cm x 1.1cm has two orifices in the back at the top. It is believed to have been used as a pectoral.

Another pectoral was found together with the eroded bones on the southeast corner of the box (Jade No.2). It was found broken in two pieces.

A third pectoral with two sculpted faces on its surface (Jade No.3, Photograph 7-I and its drawing) was found underneath the bones. It was hidden to sight and was identified only after removing the bones.

Burial 32 (Feature 88; Figs. 35-38; Photograph 9)

Based on the discovery of Feature 76 in front of the west niche of the structure, it was suspected that the east niche could also be associated with an offering box or with an important burial. Pursuing this line, another excavation was carried out in front of it. The discovery of a funeral with a very interesting vessel placed as an offering confirmed the initial suspicions. This pot belongs to the “Babilonia

Polychrome” or “Ulua-Yojoa Polychrome” type imported to Copan. It has two handles shaped like monkey heads that stand out and are incorporated into the design of a black monkey.

According to the chronology made by Rosemary Joyce, this type of pottery belongs to the period between 600 and 700 AD (presentation at the Seminar in June 2004). This is supported by the C14 dating of sample No.32 (TKA-20081) carried out by the University of Tokyo in 2018,

with 2 sigma:

606-659 A.D. (95.4%)

Burial 33 (Feature 88; Figs. 35-37; Photograph 9)

Fragments of bones discovered approximately 40cm to the west of Burial 32 were registered as Burial 33 of the same Feature 88. This burial is documented in the same photograph of Burial 32.

Burial 34 (Feature 91; Figs. 39-42; Photograph 10)

This burial was found on top of the sterile layer with large pebbles, but it was bounded between limits marked by flagstones situated on both sides (see Fig. 39). Two pots were found as offerings, one of the type Copador Polychrome and the other one of the type Tasu Fluted of the group Tipon. The third offering was an obsidian point of dart.

Burial 36 (Feature 98; Figs. 43-45; Photograph 11)

In the southwest section of the foundations of Structure 9L-101-2nd, a slight subsiding of a wall



Photograph 7-I : Jade pectoral No.3 (Drawing : E. Arias)



was observed. There was a slab layer covering the lower portion of that wall in front of it. It was then decided to remove it and to completely expose the wall. After reaching the level of its foundation seat, a clearer subsidence was observed; below that point a concentration of stones without a definite shape was confirmed. It was apparent that this feature was the side of an important burial. It was then decided to disassemble the basement wall of the Structure 9L-101-2nd and to continue the excavation around it.

Judging by the form of this burial, it seems that there was an intrusion at this point under the wall. The delimitation wall was confirmed only in the southern part. The burial found there had 2 pots as offerings, one of them of the type “Tasu fluted” engraved with pseudo-glyphs.

It should be noted that this place coincides with Feature 76 (Burial 26 with its noteworthy offerings box) along a north-south axis of the structure. It is possible then that this burial could also be secondary and that both could have been carried out almost simultaneously as part of a ritual before undertaking the south extension of the foundations of Structure 9L-101-2nd.

Burial 43 (Feature 109; Figs. 47-49; Photograph 14)

A seemingly very important burial was found under the room of the east extension. The body was in an extended position facing its right (right lateral decubitus). Two pots that belong to the Early Classic in Copan were left as offerings. The position of the body coincides with the one at Burial 61, Feature 127 of Structure 9L-103. This Burial 61 was found under the buttress wall west of Structure 9L-103 and the designs of the ceramic offerings that were found there (9L-103) are quite similar to the ones found in Sub-Jaguar Tomb discovered by PIAT in the Acropolis in 1992.

Burial 47 (Feature 112; Figs. 50-51; Photograph 15) and Burial 50 (Feature 112; Figs. 54-55; Photograph 15)

Two burials next to each other were found along trench Q excavated north of the west extension of Structure 9L-101 (see Fig. 6). Both were registered under the same feature number. Apparently, these burials were covered by a garbage dump or by earth brought from one. The ceramic offerings found in both burials are of the type Gualpoa Polychrome.

Burial 54 (Feature 118; Figs. 58-60; Photograph 18)

A *cist* type burial enclosed by rustic stonework and considered to be a very important one was found underneath the east extension of Structure 9L-101 (see Fig. 58-60; Photograph 8-I).

The offerings found there are rather interesting since they present particular characteristics of the transition between Bijac and Acbi I.

C14 dating of sample number 3-44 (PLD-36914) carried out by Paleo Labo of Japan in 2018 gave the following result,

with 2 sigma:

417~537 A.D. (95.4%)

The evidence, both from the ceramics typology and from the C14 dating, show that this burial is



Photograph 8-I : Excavation of Burial 54



Drawing of an offering of the Burial 54, a-c (Drawing : E. Arias)

almost contemporary with the Burial 10 of the Royal Child of Feature 45 of Structure 9L-100 (Nakamura 2018). Although they were made in different structures, both burials are located very close to each other.

Burial 59 (Feature 122; Figs. 62-63; Photograph 20)

Fragments of bones covered by a garbage dump were found under the western extension of Structure 9L-101 and were registered as Burial 59. Although the two pots found there were provisionally registered as offerings of this burial, it is probable that could actually be that they were there only after being discarded in a garbage dump. The Chilanga type pot found there is not complete and neither one of the two were found well placed near the bones. Since this burial is located near the place where Feature 112 (Burials 47 and 50) mentioned above was found, it is very much likely that during the 6th century that place was a garbage dump in use by the inhabitants of that group. The level of both garbage dumps matches (598.50 ~ 598.70).

REFERENCIAS CITADAS

Bill, Cassandra R.

1997 *Patterns of Variation and Change in Dynastic Period Ceramics and Ceramic Production at Copan,*

Honduras. Ph.D. Dissertation. Tulane University.

Nakamura, Seiichi

2018 *Proyecto Arqueológico Copán (PROARCO): Investigaciones Arqueológicas en los Grupos 9L-22 y 9L-23, Copán, Honduras, Vol.1* Kanazawa Cultural Resource Studies No. 17. Center for Cultural Resource Studies, Institute of Human and Social Sciences, Kanazawa University, Japan.

Viel, René

1993 *Evolución de la cerámica de Copán, Honduras.* Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa, M.D.C.

Wiley, Gordon R., Richard M. Leventhal, Arthur A. Demarest, and William L. Fash

1994 *Ceramics and Artifacts from Excavations in the Copan Residential Zone.* Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Vol. 80. Harvard University, Cambridge, MA.

APÉNDICE

FOTOS

Entierros

Fotografía 1. Entierro 7 Rasgo 39	21
Fotografía 2. Entierro 17 Rasgo 69 (1)	21
Fotografía 3. Entierro 17 Rasgo 69 (2)	21
Fotografía 4. Entierro 23 Rasgo 74	21
Fotografía 5. Entierro 26 Rasgo 76	21
Fotografía 6. Entierro 30 Rasgo 85 (1)	22
Fotografía 7. Entierro 30 Rasgo 85 (2)	22
Fotografía 8. Entierro 30 Rasgo 85 (3)	22
Fotografía 9. Entierro 32 y 33 Rasgo 88	22
Fotografía 10. Entierro 34 Rasgo 91	22
Fotografía 11. Entierro 36 Rasgo 98	23
Fotografía 12. Entierro 41 Rasgo 103 (1)	23
Fotografía 13. Entierro 41 Rasgo 103 (2)	23
Fotografía 14. Entierro 43 Rasgo 109	23
Fotografía 15. Entierro 47 y Entierro 50 Rasgo 112	23
Fotografía 16. Entierro 49 Rasgo 113	24
Fotografía 17. Entierro 51 Rasgo 116	24
Fotografía 18. Entierro 54 Rasgo 118	24
Fotografía 19. Entierro 57 Rasgo 120	24
Fotografía 20. Entierro 59 Rasgo 122	24

Ofrendas del Entierro (Fotos : E. Sanabria)

Ofrendas del Entierro 26 (Offerings of the Burial 26)

a	25
b	25

Ofrendas del Entierro 32 (Offerings of the Burial 32)

a	25
b	25
c	25

Ofrendas del Entierro 34 (Offerings of the Burial 34)

a	26
b	26
c	26
d	26
e	26

Ofrendas del Entierro 36 (Offerings of the Burial 36)

a 27
b 27
c 27
d 27

Ofrendas del Entierro 43 (Offerings of the Burial 43)

a 27
b 27
c 28
d 28

Ofrendas del Entierro 47 (Offerings of the Burial 47)

a 28
b 28
c 28
d 28
e 29
f 29

Ofrendas del Entierro 50 (Offerings of the Burial 50)

a 29
b 29
c 29
d 29

Ofrendas del Entierro 54 (Offerings of the Burial 54)

a 30
b 30
c 30
d 30
e 30

Ofrendas del Entierro 59 (Offerings of the Burial 59)

a 31
b 31
c 31
d 31

Entierros



Fotografía 1. Entierro 7 Rasgo 39



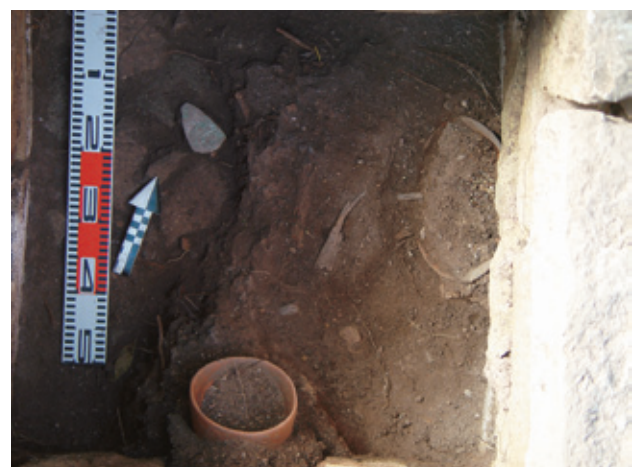
Fotografía 2. Entierro 17 Rasgo 69 (1)



Fotografía 3. Entierro 17 Rasgo 69 (2)



Fotografía 4. Entierro 23 Rasgo 74



Fotografía 5. Entierro 26 Rasgo 76



Fotografía 6. Entierro 30 Rasgo 85 (1)



Fotografía 7. Entierro 30 Rasgo 85 (2)



Fotografía 8. Entierro 30 Rasgo 85 (3)



Fotografía 9. Entierro 32 y 33 Rasgo 88



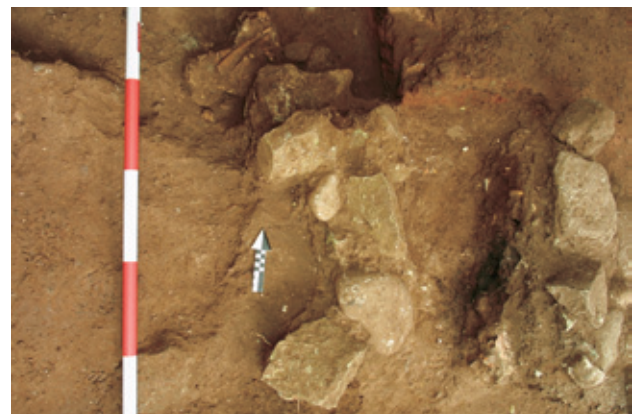
Fotografía 10. Entierro 34 Rasgo 91



Fotografía 11. Entierro 36 Rasgo 98



Fotografía 12. Entierro 41 Rasgo 103 (1)



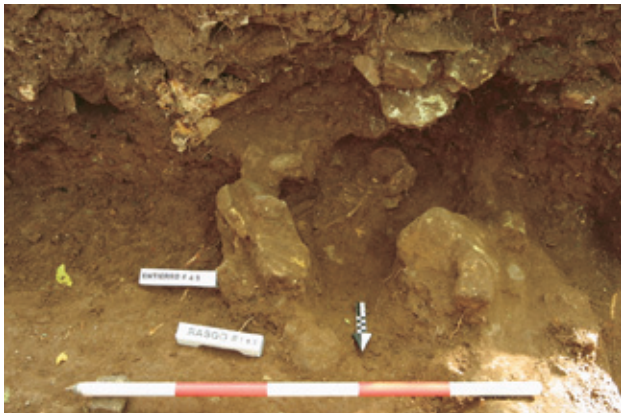
Fotografía 13. Entierro 41 Rasgo 103 (2)



Fotografía 14. Entierro 43 Rasgo 109



Fotografía 15. Entierro 47 y Entierro 50 Rasgo 112



Fotografía 16. Entierro 49 Rasgo 113



Fotografía 17. Entierro 51 Rasgo 116



Fotografía 18. Entierro 54 Rasgo 118



Fotografía 19. Entierro 57 Rasgo 120



Fotografía 20. Entierro 59 Rasgo 122

Ofrendas del Entierro (Fotos : E. Sanabria)

Ofrendas del Entierro 26 (Offerings of the Burial 26)



a



b

Ofrendas del Entierro 32 (Offerings of the Burial 32)



a



b



c

Ofrendas del Entierro 34 (Offerings of the Burial 34)



a



b



c



d



e

Ofrendas del Entierro 36 (Offerings of the Burial 36)



a



b



c



d

Ofrendas del Entierro 43 (Offerings of the Burial 43)



a



b



c



d

Ofrendas del Entierro 47 (Offerings of the Burial 47)



a



b



c



d



e



f

Ofrendas del Entierro 50 (Offerings of the Burial 50)



a



b



c



d

Ofrendas del Entierro 54 (Offerings of the Burial 54)



a



b



c



d



e

Ofrendas del Entierro 59 (Offerings of the Burial 59)



a



b



c



d

FIGURAS

Fig. 1: Grupos 9L-22 y 9L-23 con curva de nivel (elaborado por K. Imaizumi)	33
Fig. 2: Grupos 9L-22 y 9L-23 con el número de cada estructura (Elaborado por K. Imaizumi)	33
Fig. 3: Grupo 9L-22 planta general	34
Fig. 4: Planta de la Estructura 9L-101	34
Fig. 5: Localización de trincheras en la Estructura 9L-101	35
Fig. 6: Localización de los entierros en la Estructura 9L-101	35
Fig. 7: Reconstrucción hipotética de la Estructura 9L-101 (por Mélvín Fuentes)	36
Fig. 8: Entierro 1	36
Fig. 9: Rasgo 39	37
Fig. 10: Rasgo 39 (2)	37
Fig. 11: Rasgo 39 (3)	38
Fig. 12: Rasgo 39 (4)	38
Fig. 13: Entierro 7	39
Fig. 14: Entierro 7 (2)	39
Fig. 15: Entierro 7 (3)	40
Fig. 16: Entierro 17	40
Fig. 17: Entierro 17 (2)	41
Fig. 18: Entierro 17 (3)	41
Fig. 19: Entierro 23	42
Fig. 20: Entierro 23 (2)	42
Fig. 21: Entierro 23 (3)	43
Fig. 22: Planta del Rasgo 76	43
Fig. 23: Rasgo 76 Entierro 26	44
Fig. 24: Perfil este-oeste del Rasgo 76	44
Fig. 25: Perfil norte-sur del Rasgo 76	45
Fig. 26: Rasgo 76 Entierro 26 (2)	45
Fig. 27: Rasgo 76 (2)	46
Fig. 28: Rasgo 76 (3)	46
Fig. 29: Rasgo 76 (4)	47
Fig. 30: Rasgo 76 (5)	47
Fig. 31: Entierro 30 Rasgo 85	48
Fig. 32: Entierro 30 Rasgo 85 (2)	48
Fig. 33: Entierro 30 Rasgo 85 (3)	49
Fig. 34: Entierro 30 Rasgo 85 (4)	49
Fig. 35: Rasgo 88	50
Fig. 36: Entierro 32 y 33 Rasgo 88	50
Fig. 37: Entierro 32 y 33	51
Fig. 38: Entierro 32 Rasgo 88	51
Fig. 39: Entierro 34 Rasgo 91	52
Fig. 40: Perfil del Entierro 34 Rasgo 91	52
Fig. 41: Perfil norte-sur del Entierro 34 Rasgo 91	53
Fig. 42: Entierro 34 Rasgo 91 (2)	53
Fig. 43: Entierro 36 Rasgo 98	54
Fig. 44: Perfil este-oeste del Entierro 36	54
Fig. 45: Perfil norte-sur del Entierro 36	55
Fig. 46: Entierro 41 Rasgo 103	55
Fig. 47: Entierro 43 Rasgo 109	56
Fig. 48: Perfil norte-sur del Entierro 43 Rasgo 109	56
Fig. 49: Perfil este-oeste del Entierro 43 Rasgo 109	57
Fig. 50: Entierro 47	57
Fig. 51: Entierro 47 (2)	58
Fig. 52: Entierro 49 Rasgo 113	58
Fig. 53: Entierro 49 Rasgo 113 (2)	59
Fig. 54: Entierro 50	59
Fig. 55: Entierro 50 (2)	60
Fig. 56: Entierro 51 Rasgo 116	60
Fig. 57: Entierro 51 Rasgo 116 (2)	61
Fig. 58: Entierro 54 Rasgo 118	61
Fig. 59: Perfil norte-sur del Entierro 54 Rasgo 118	62
Fig. 60: Perfil este-oeste del Entierro 54 Rasgo 118	62
Fig. 61: Entierro 57 Rasgo 120	63
Fig. 62: Entierro 59 Rasgo 122	63
Fig. 63: Entierro 59 Rasgo 122 (2)	64

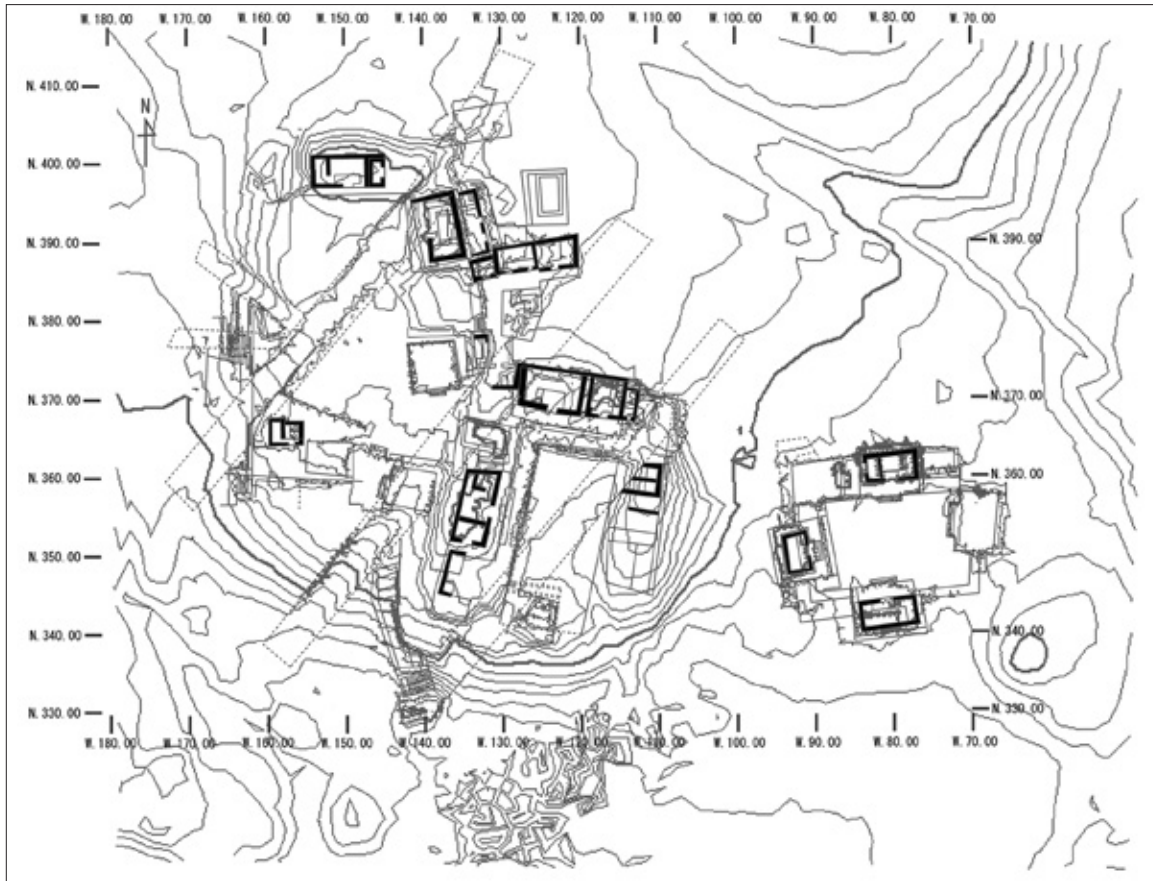


Fig. 1: Grupos 9L-22 y 9L-23 con curva de nivel (elaborado por K. Imaizumi)

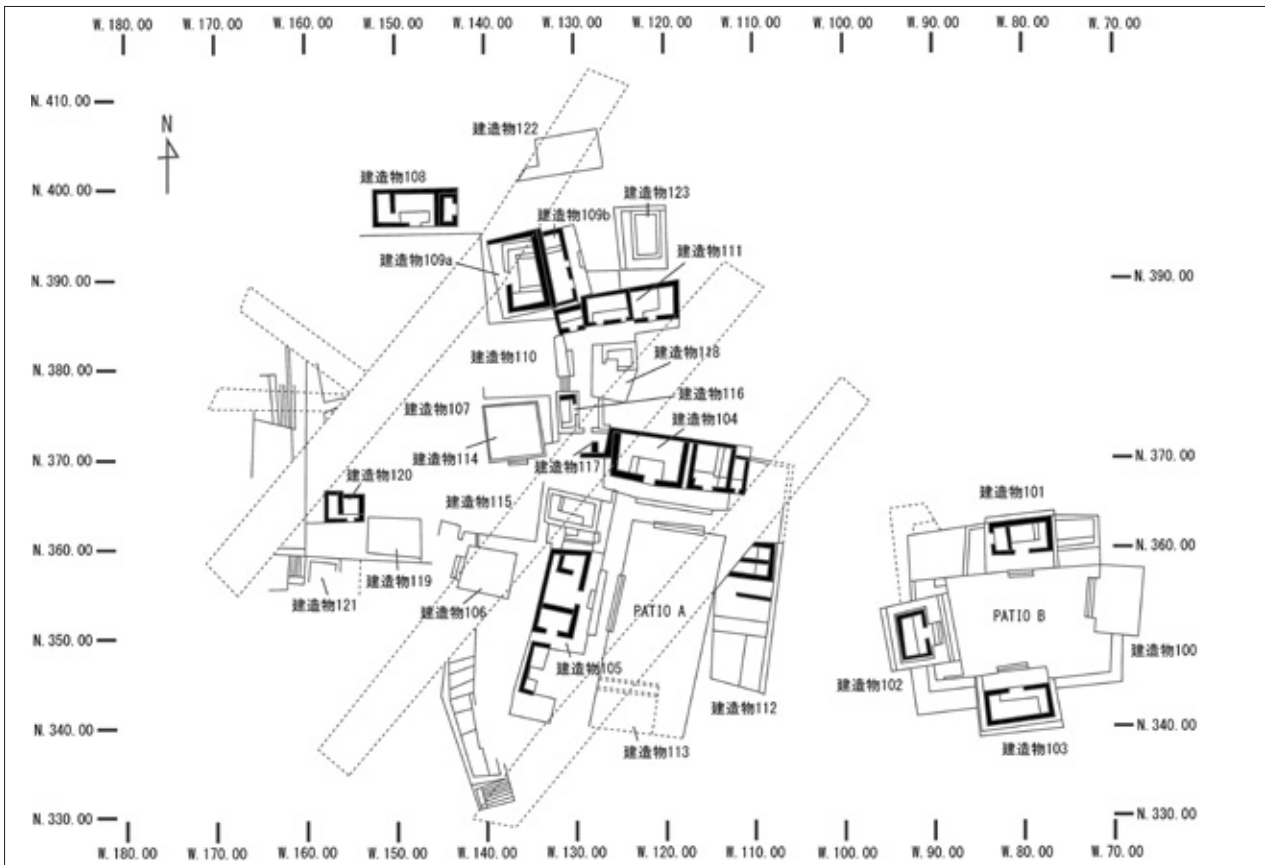


Fig. 2: Grupos 9L-22 y 9L-23 con el número de cada estructura (Elaborado por K. Imaizumi)

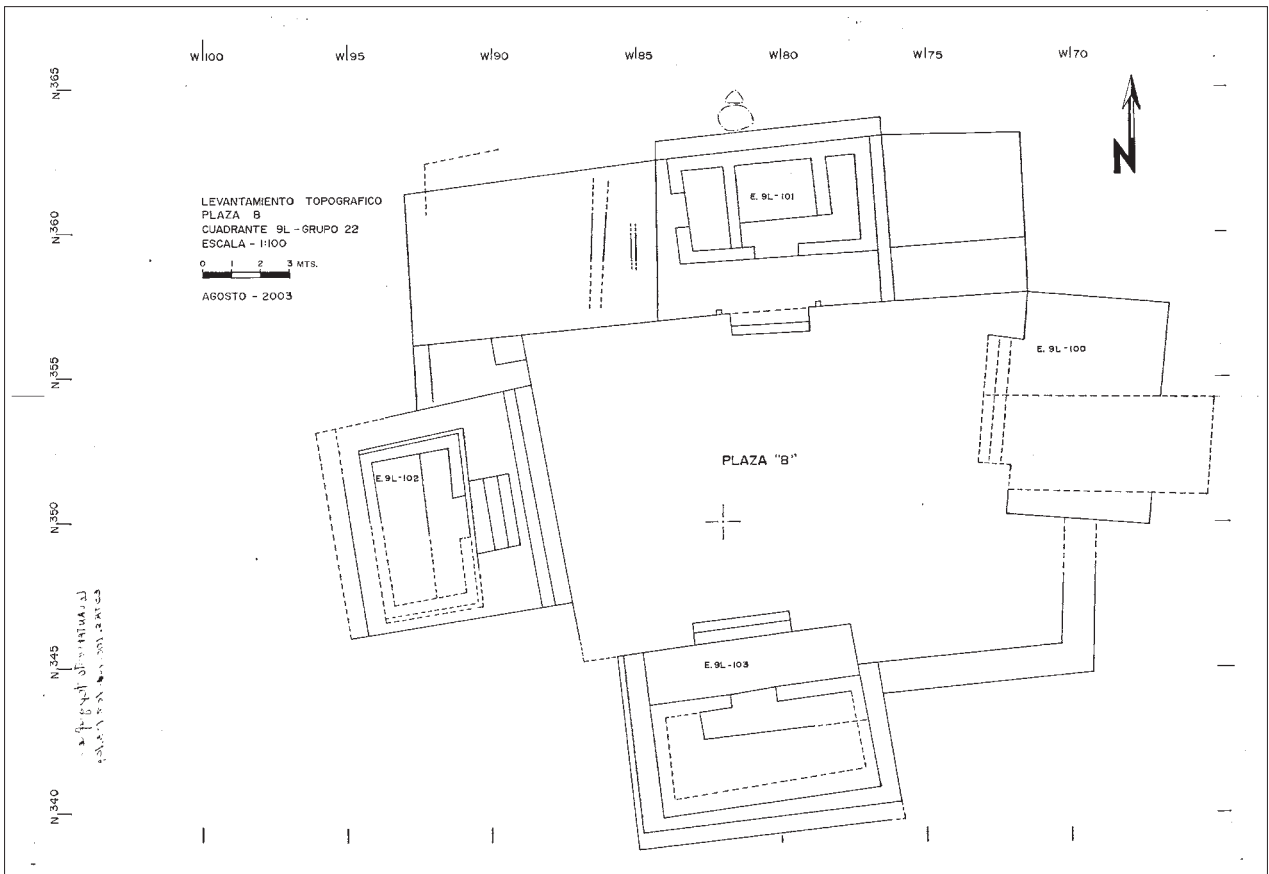


Fig. 3: Grupo 9L-22 planta general

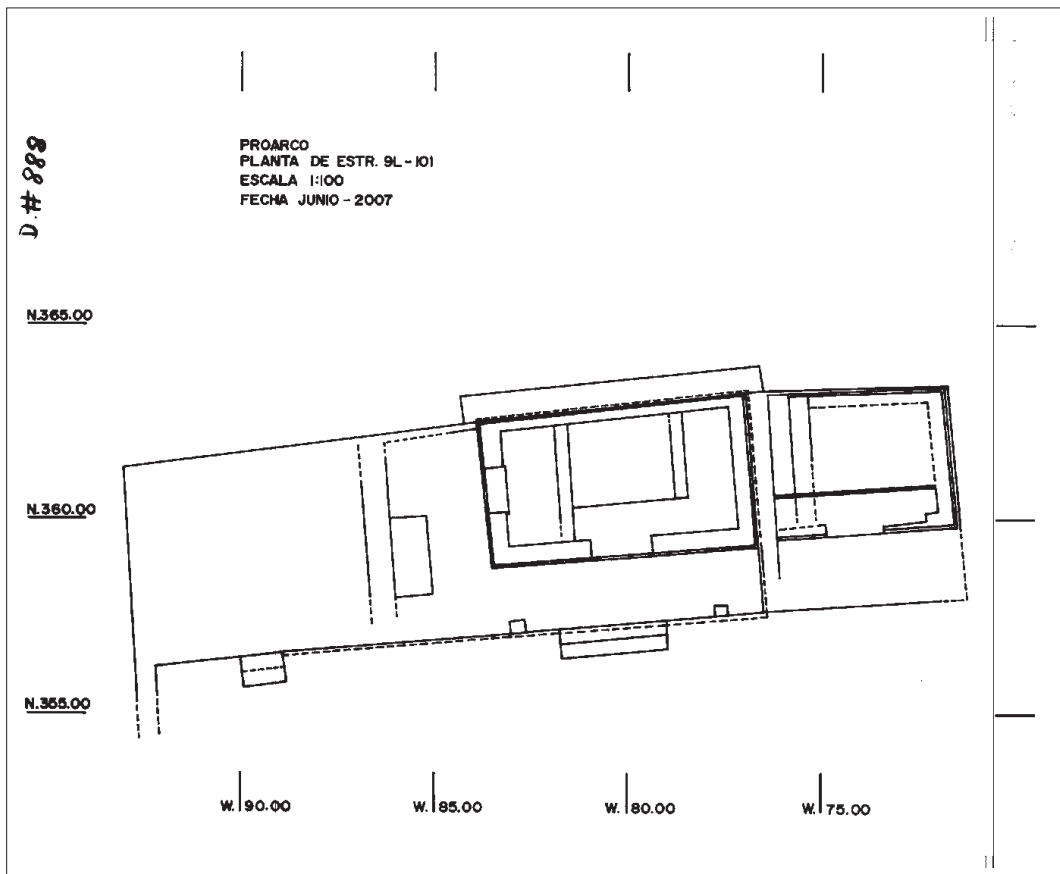


Fig. 4: Planta de la Estructura 9L-101

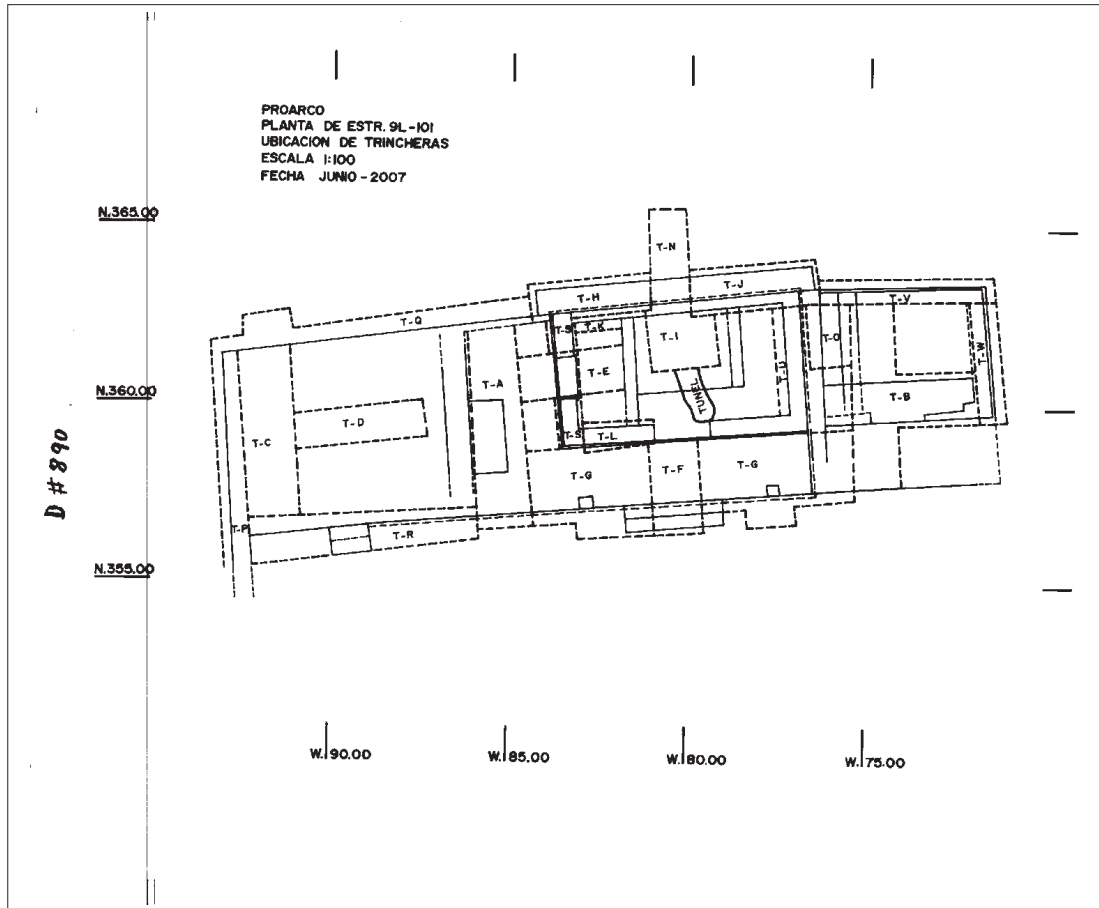


Fig. 5: Localización de trincheras en la Estructura 9L-101

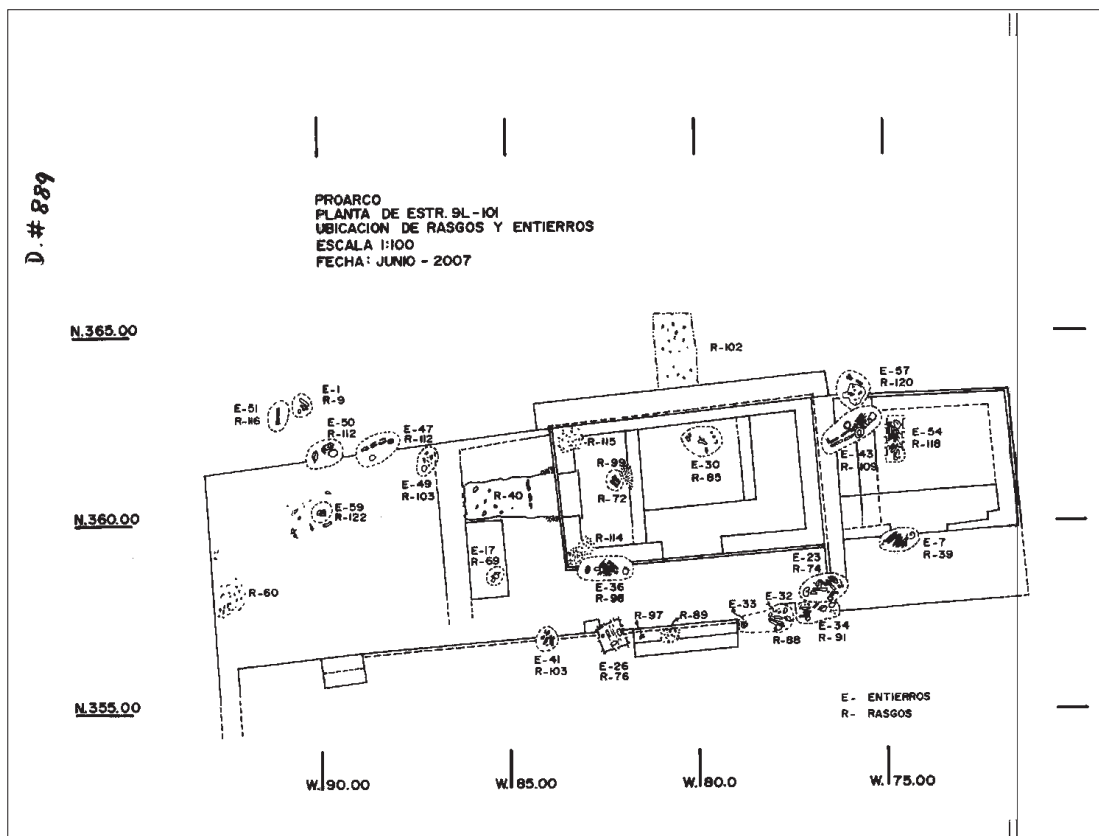


Fig. 6: Localización de los entierros en la Estructura 9L-101

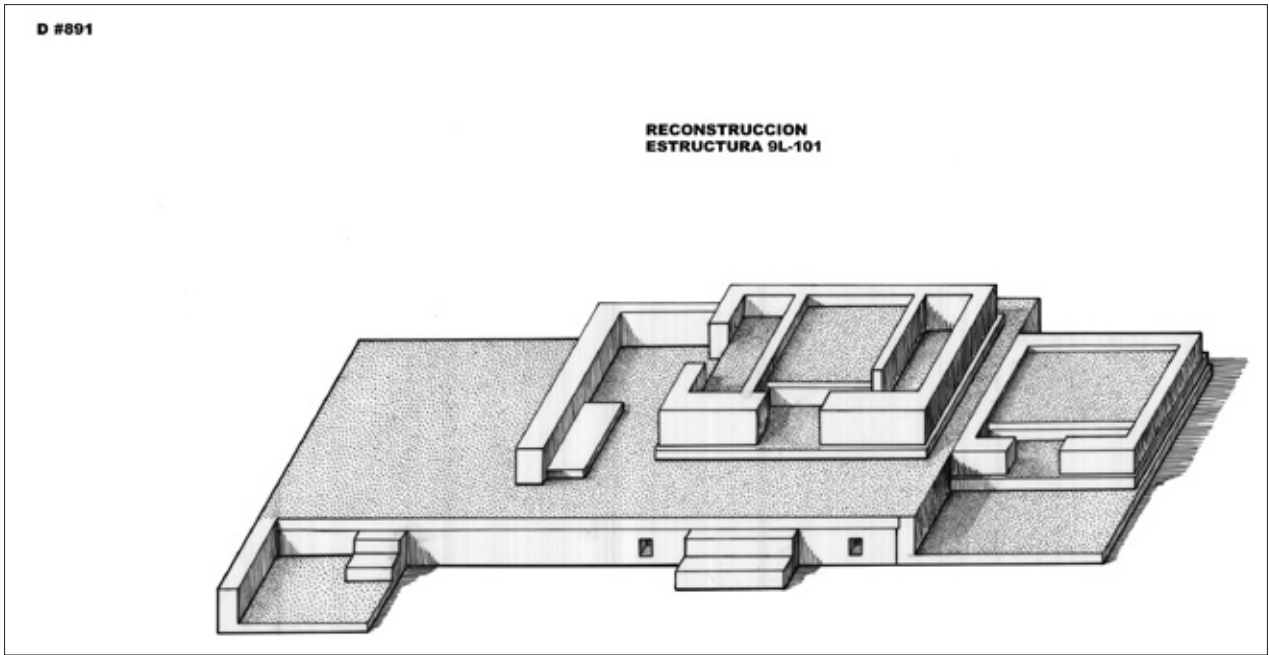


Fig. 7: Reconstrucción hipotética de la Estructura 9L-101 (por Mélvín Fuentes)

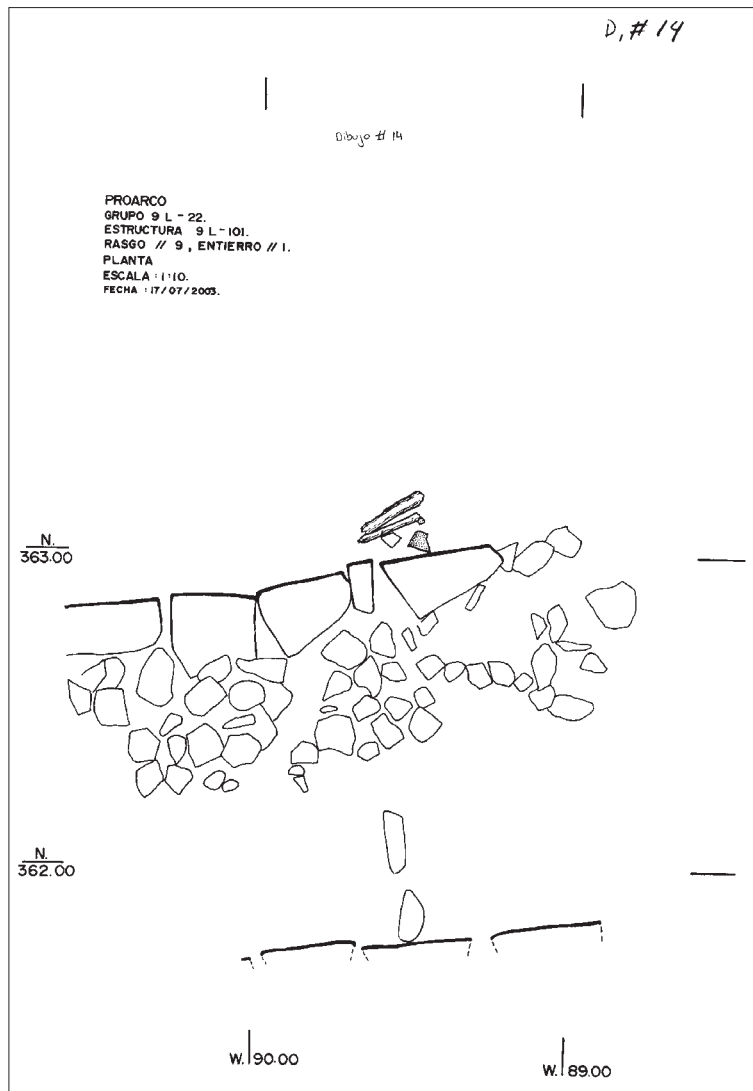


Fig. 8: Entierro 1

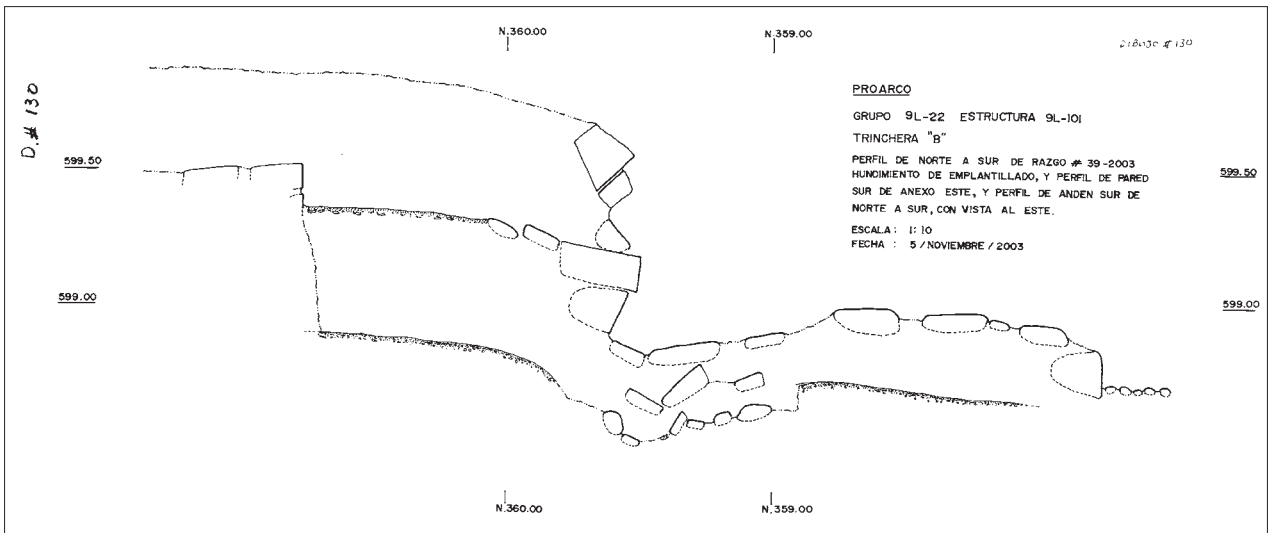


Fig. 9: Rasgo 39

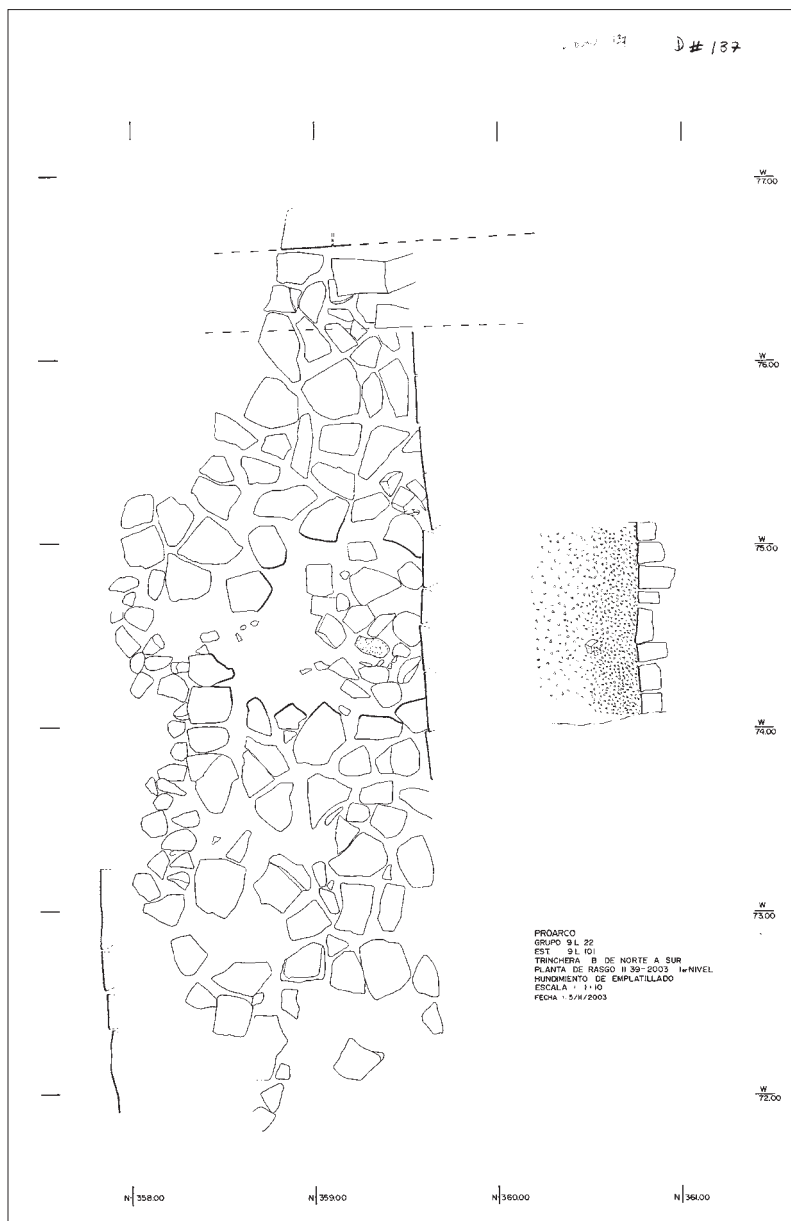


Fig. 10: Rasgo 39 (2)

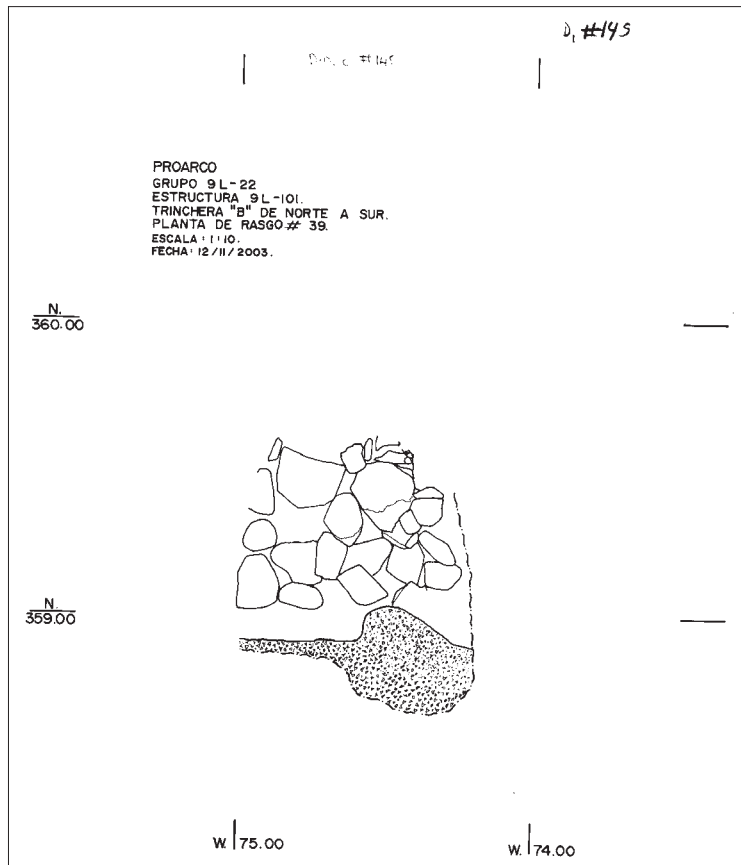


Fig. 11: Rasgo 39 (3)

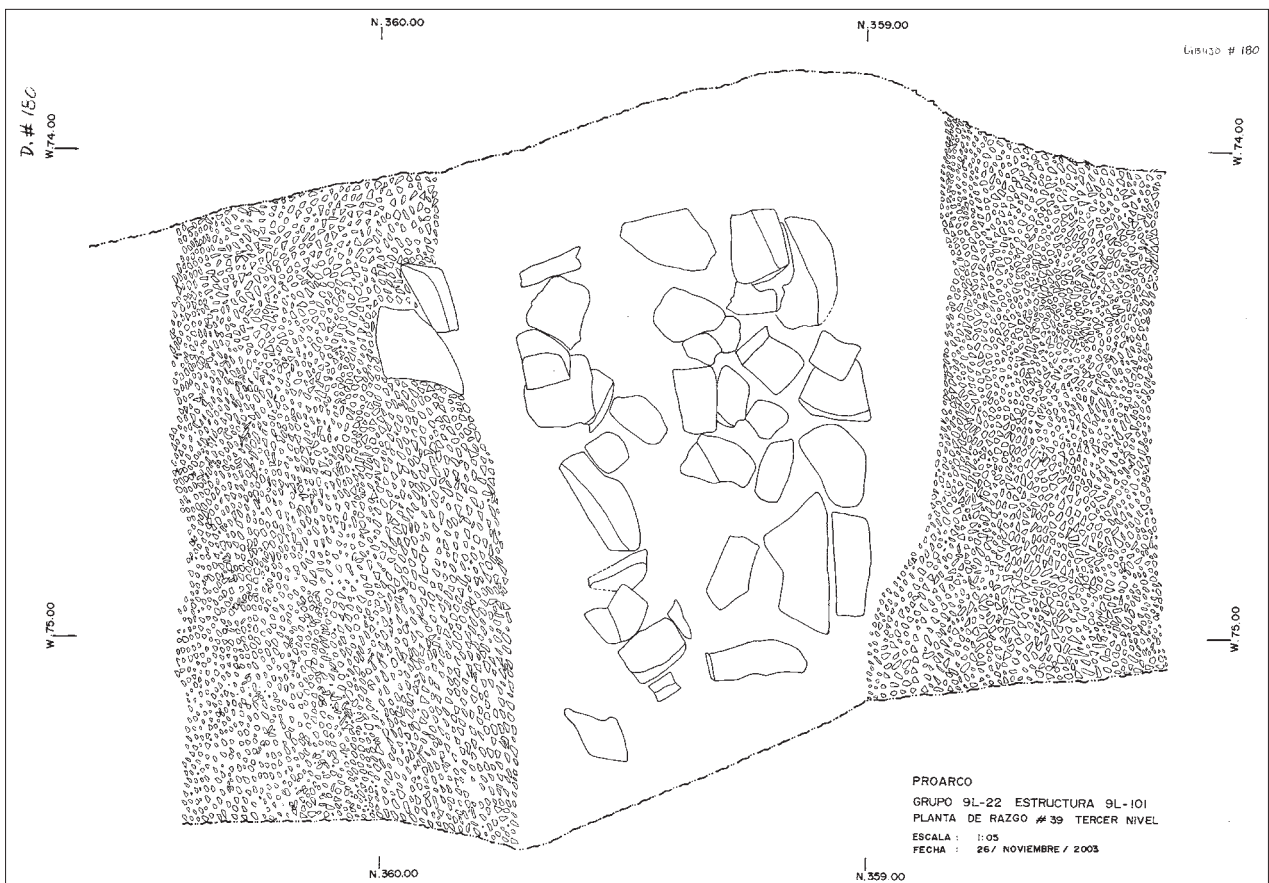


Fig. 12: Rasgo 39 (4)

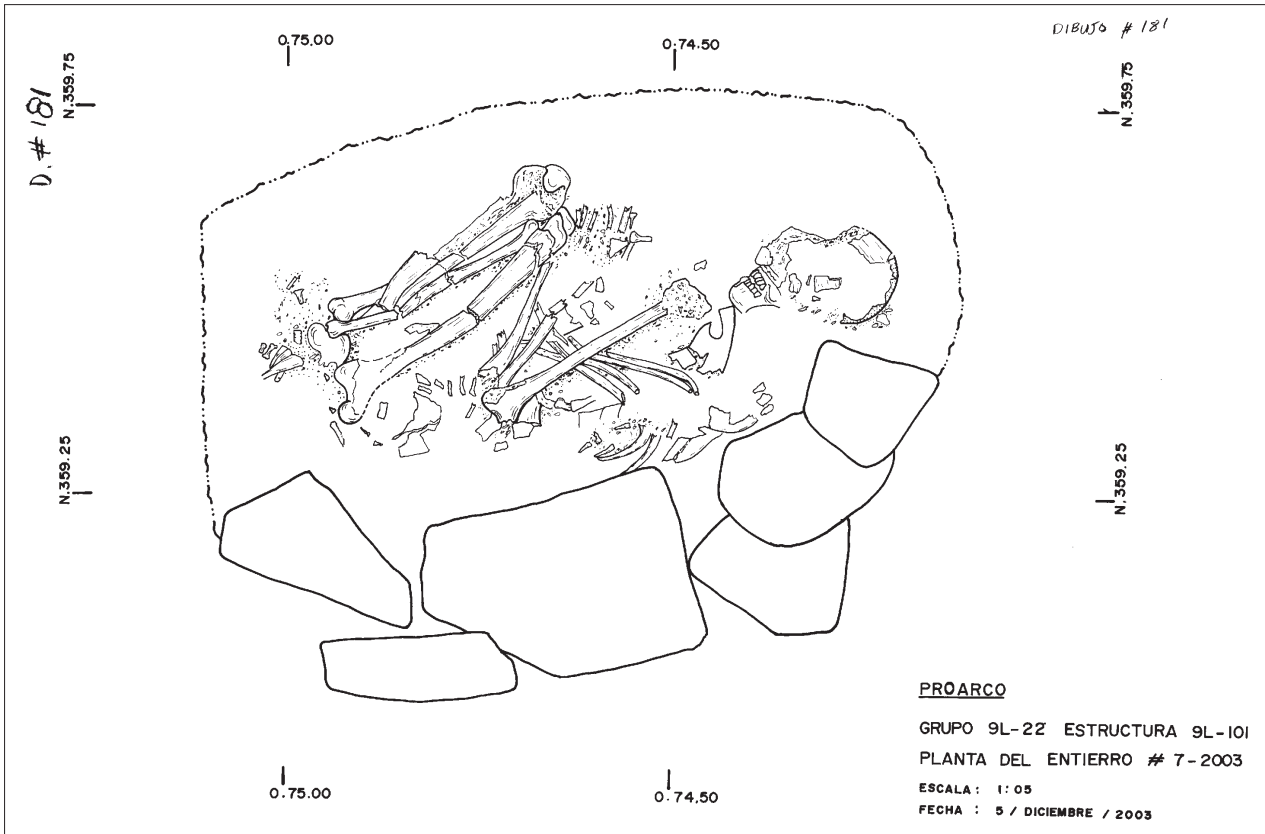


Fig. 13: Entierro 7

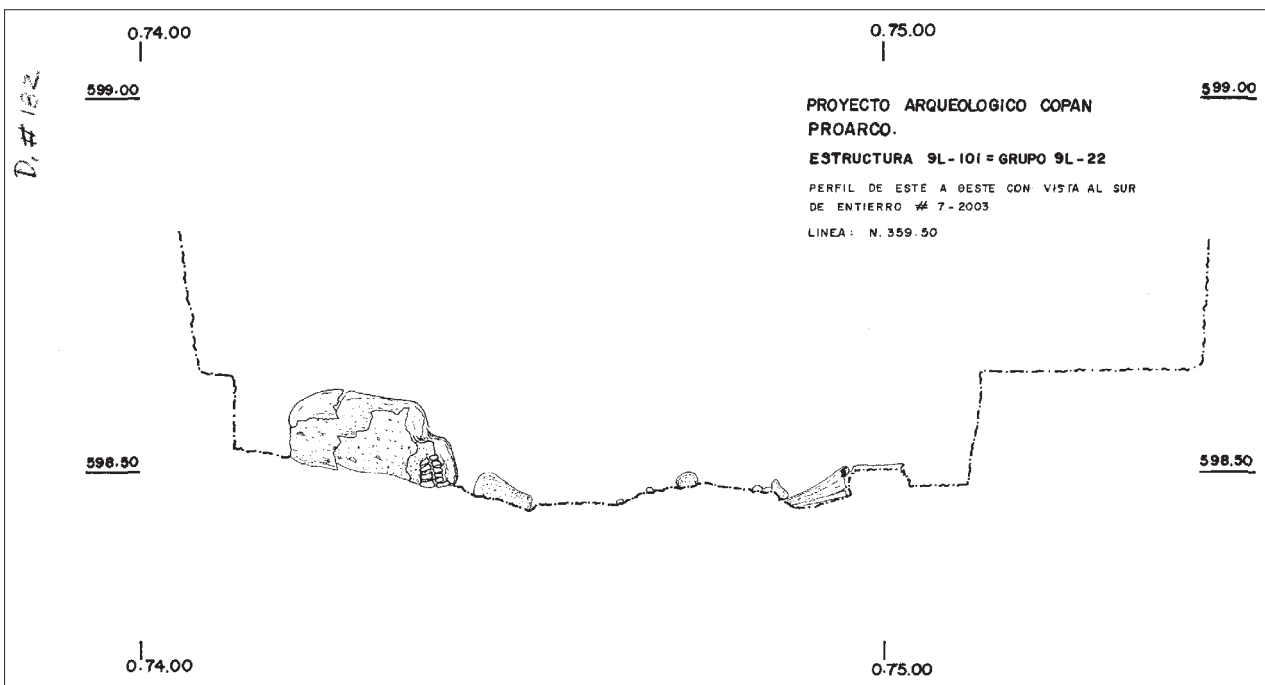


Fig. 14: Entierro 7 (2)

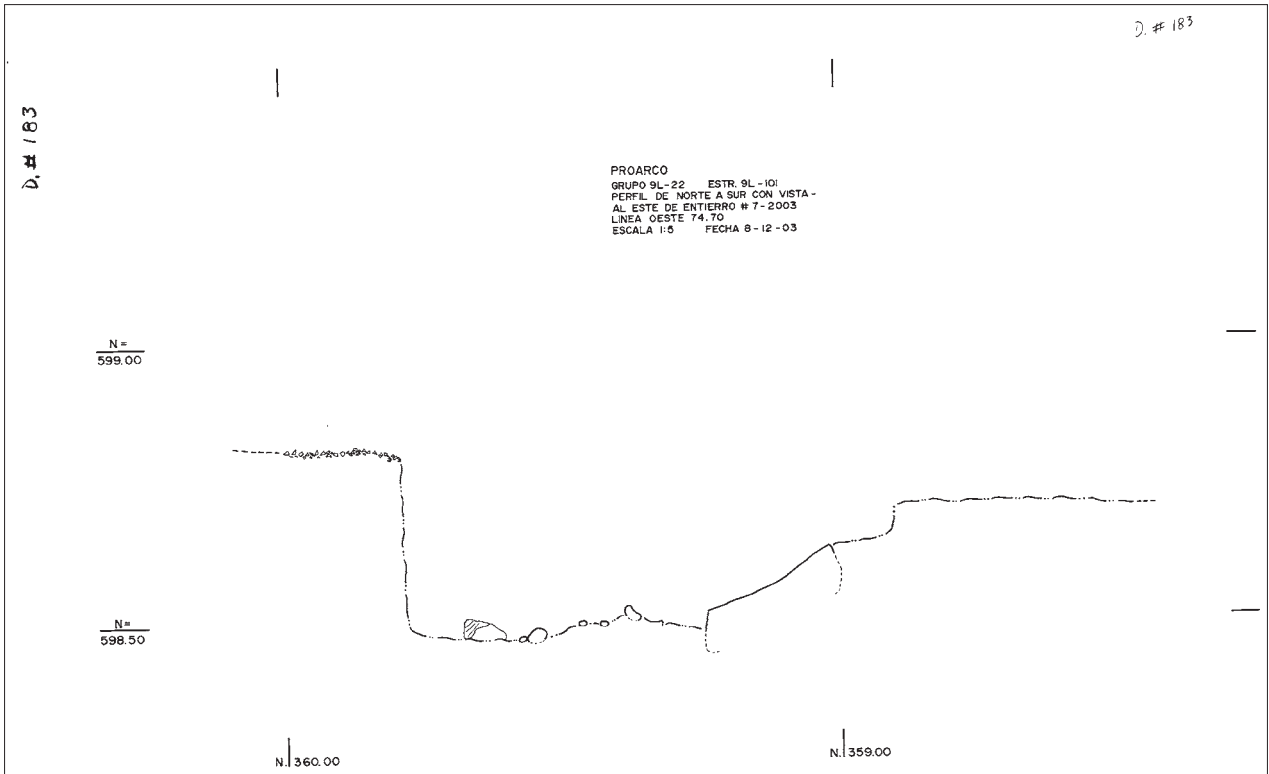


Fig. 15: Entierro 7 (3)

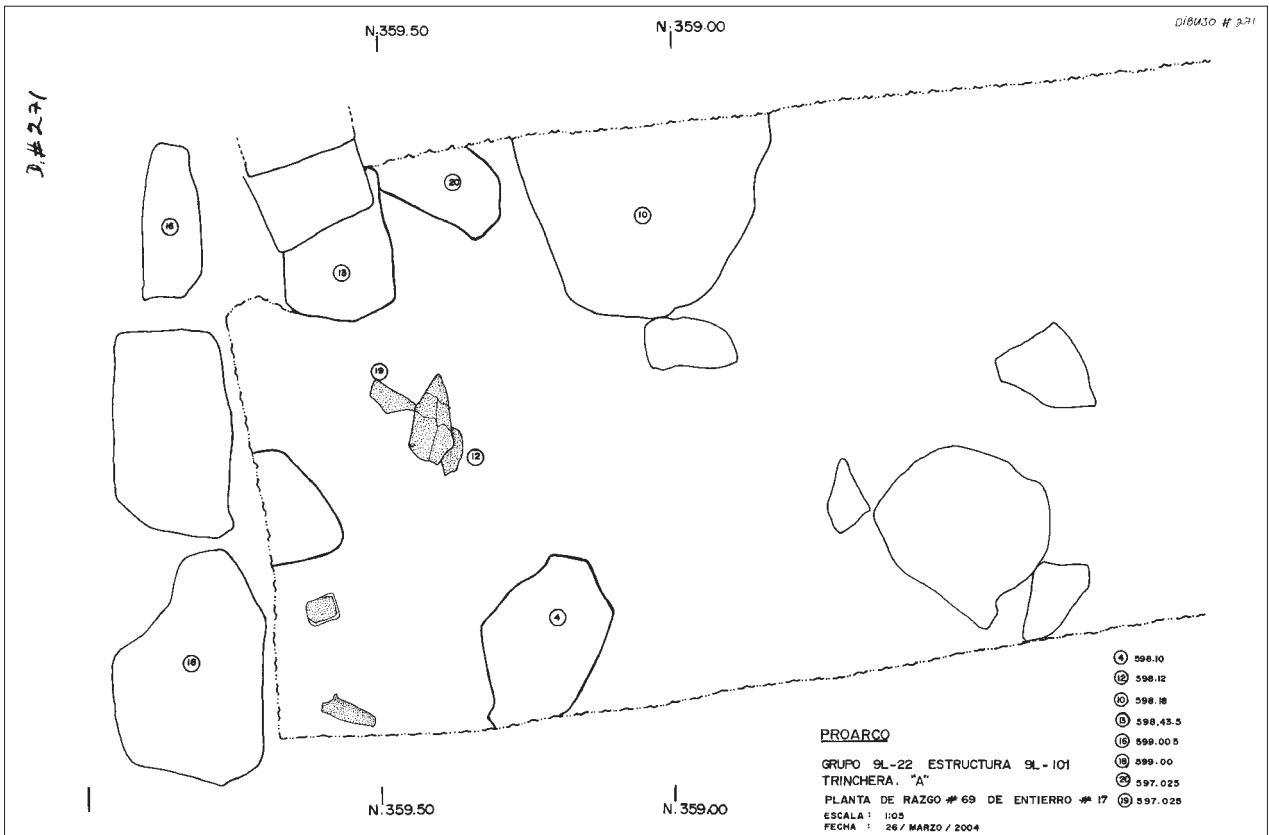


Fig. 16: Entierro 17

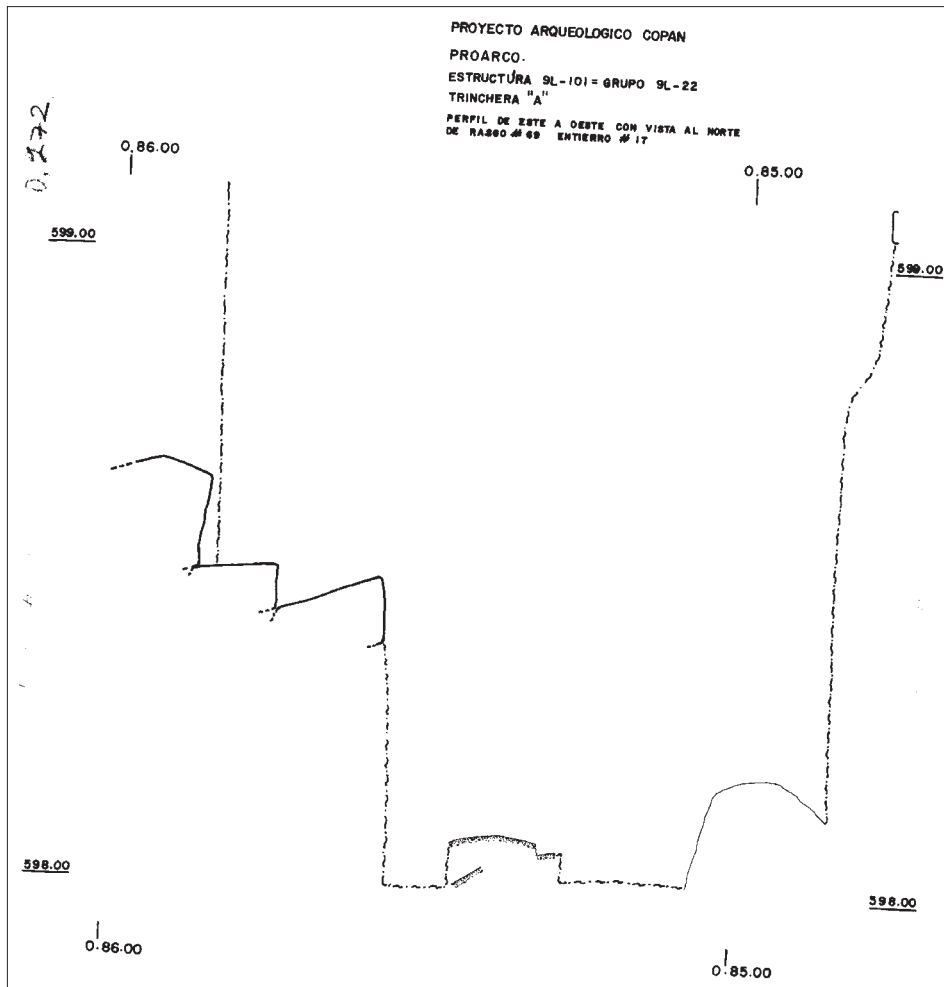


Fig. 17: Entierro 17 (2)

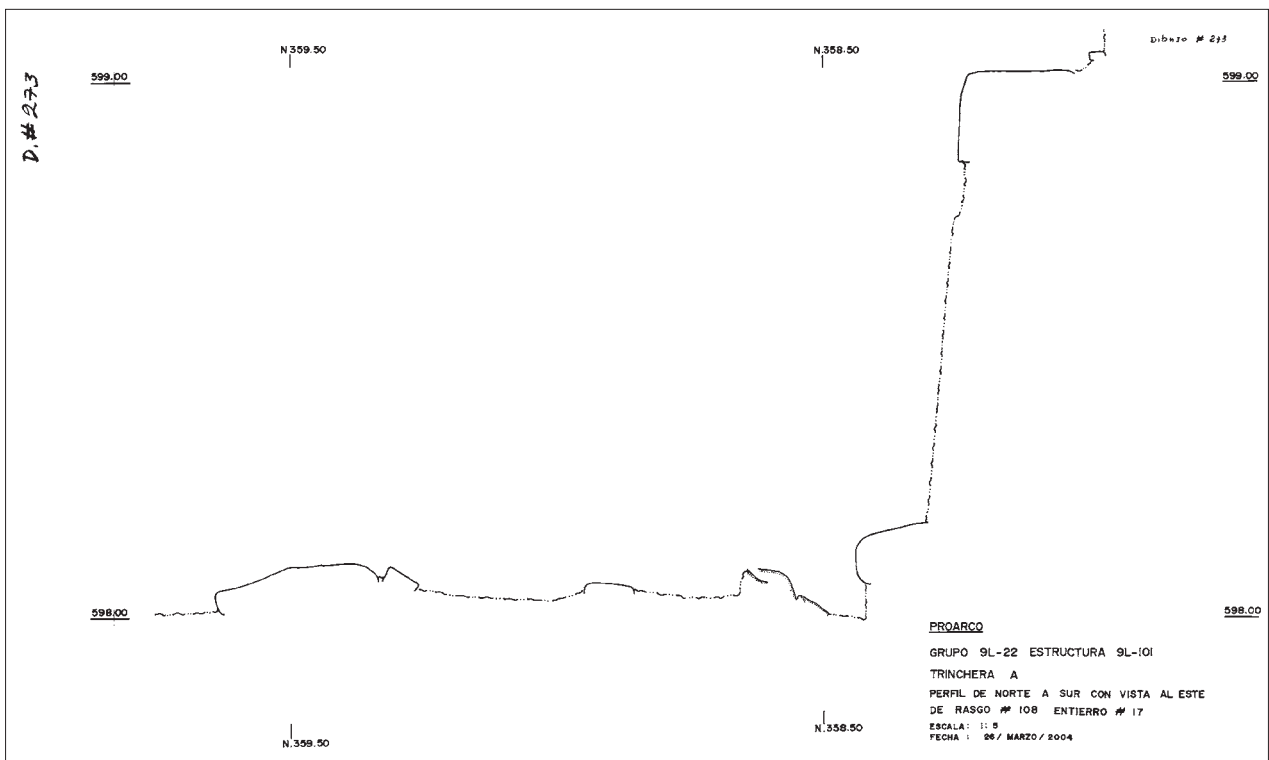


Fig. 18: Entierro 17 (3)

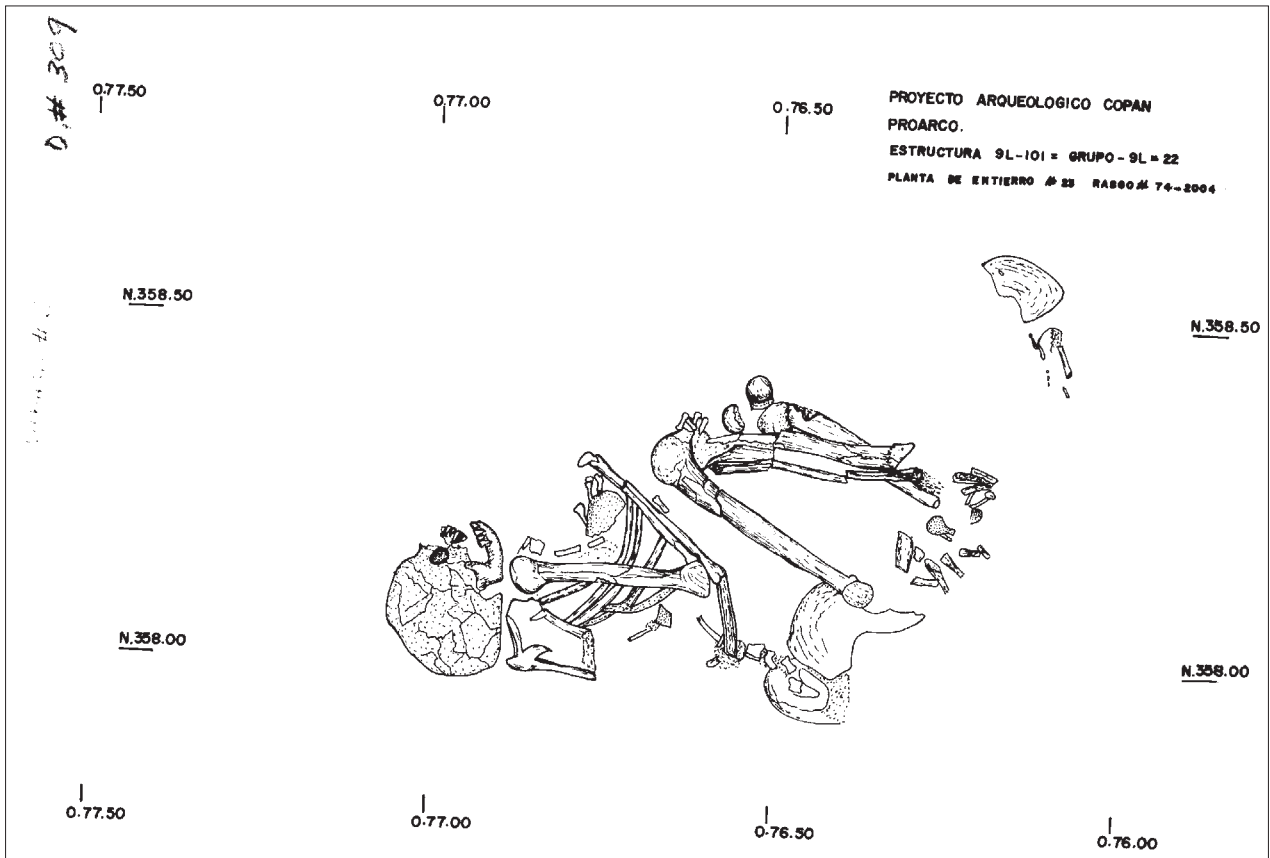


Fig. 19: Entierro 23

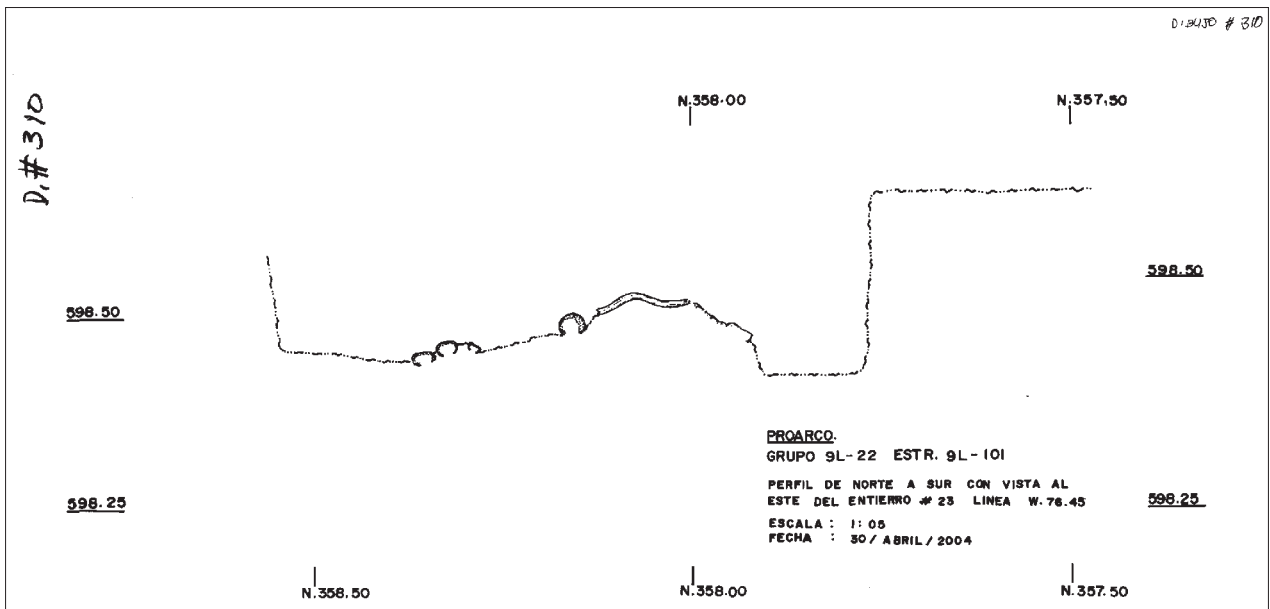


Fig. 20: Entierro 23 (2)

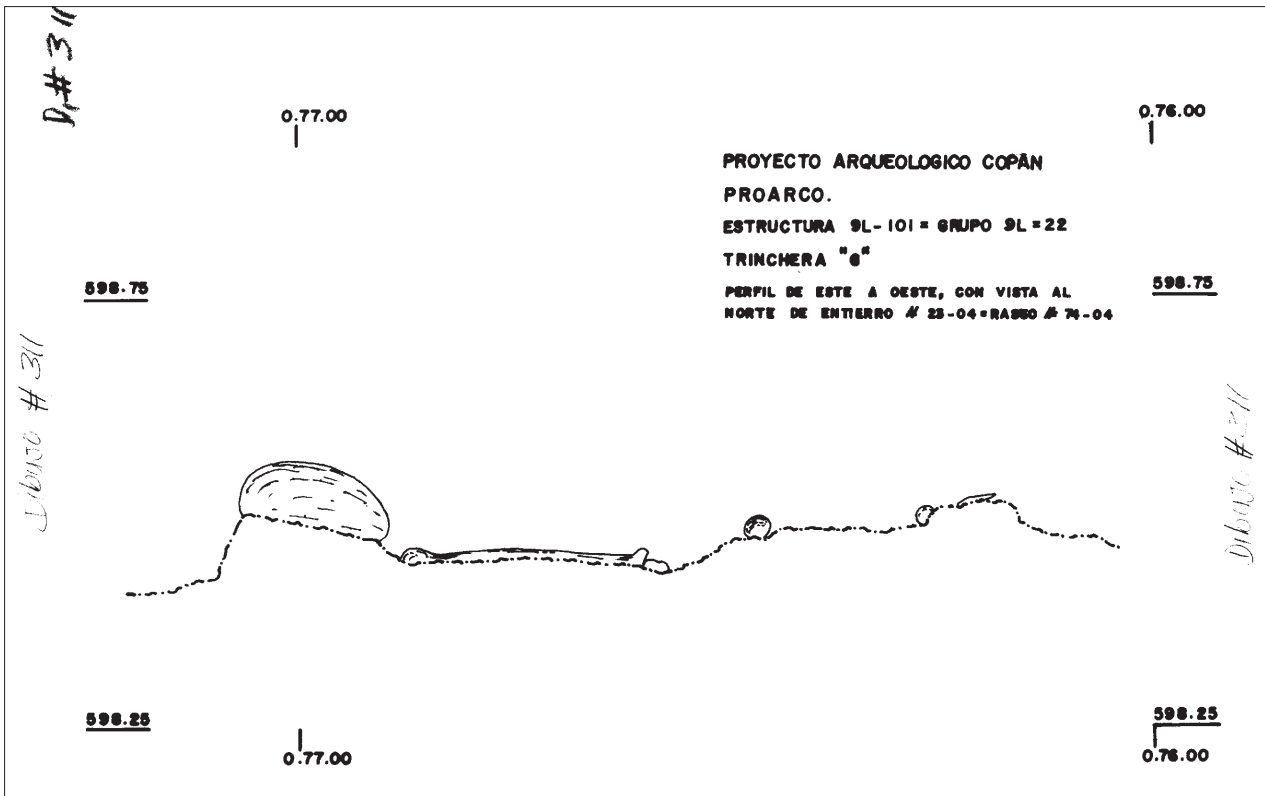


Fig. 21: Entierro 23 (3)

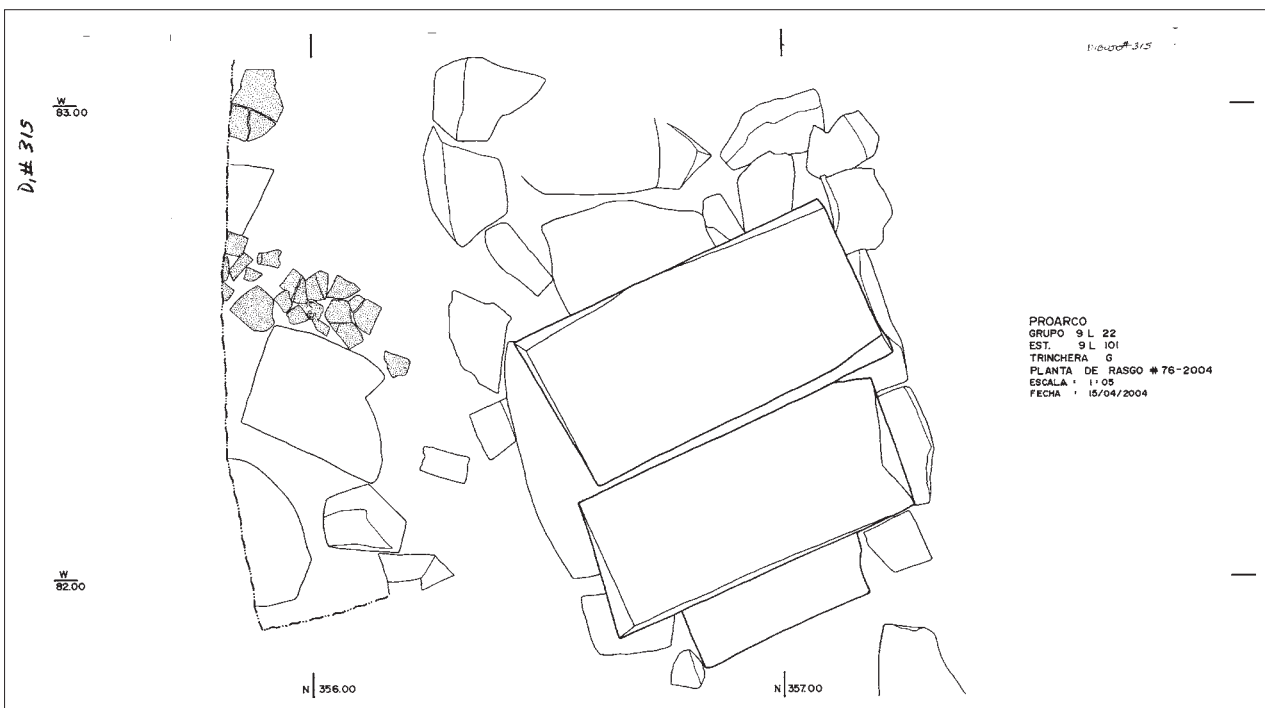


Fig. 22: Planta del Rasgo 76

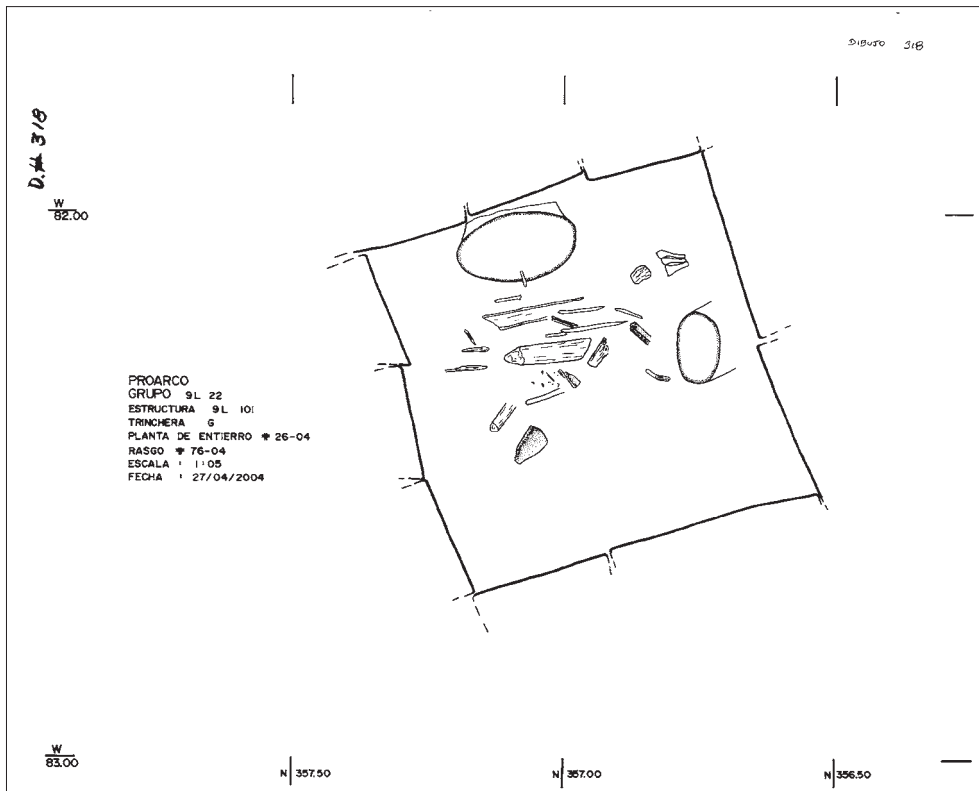


Fig. 23: Rasgo 76 Entierro 26

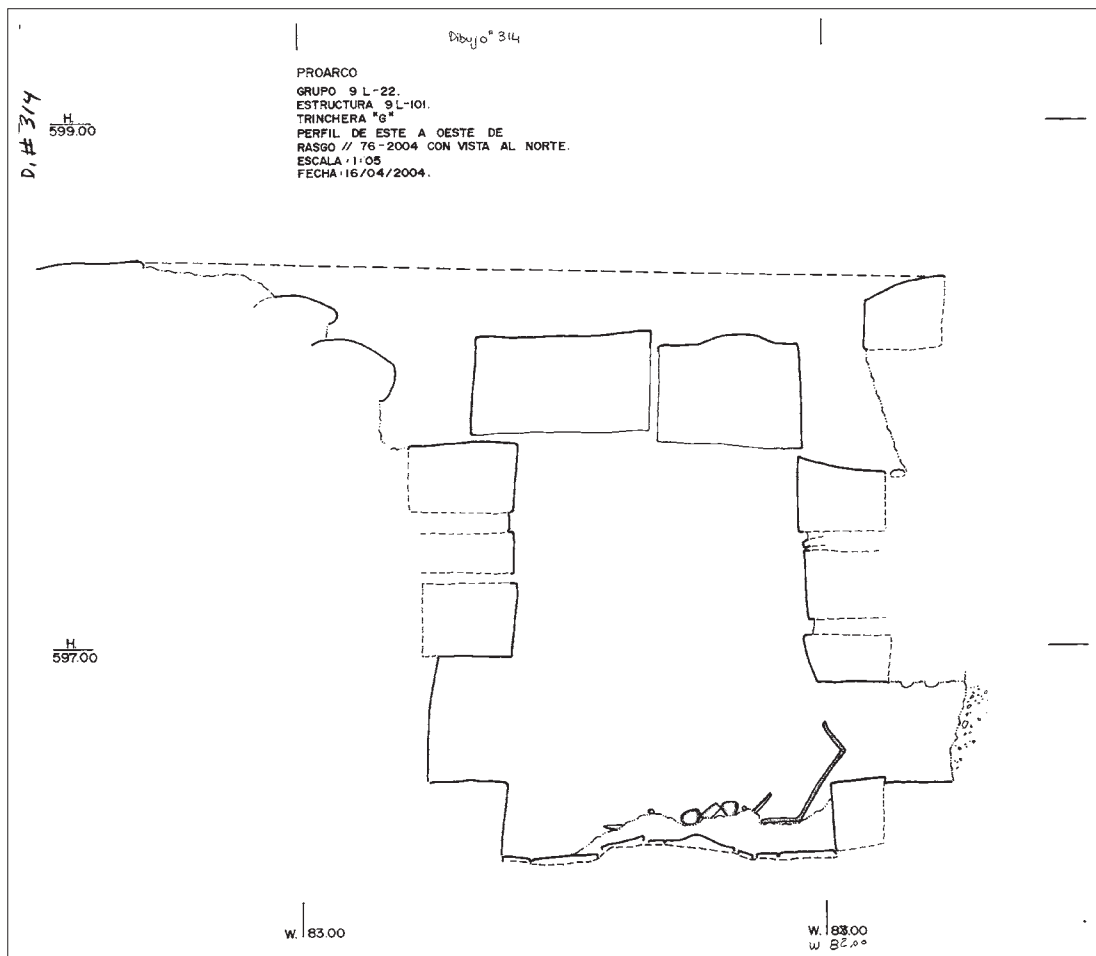


Fig. 24: Perfil este-oeste del Rasgo 76

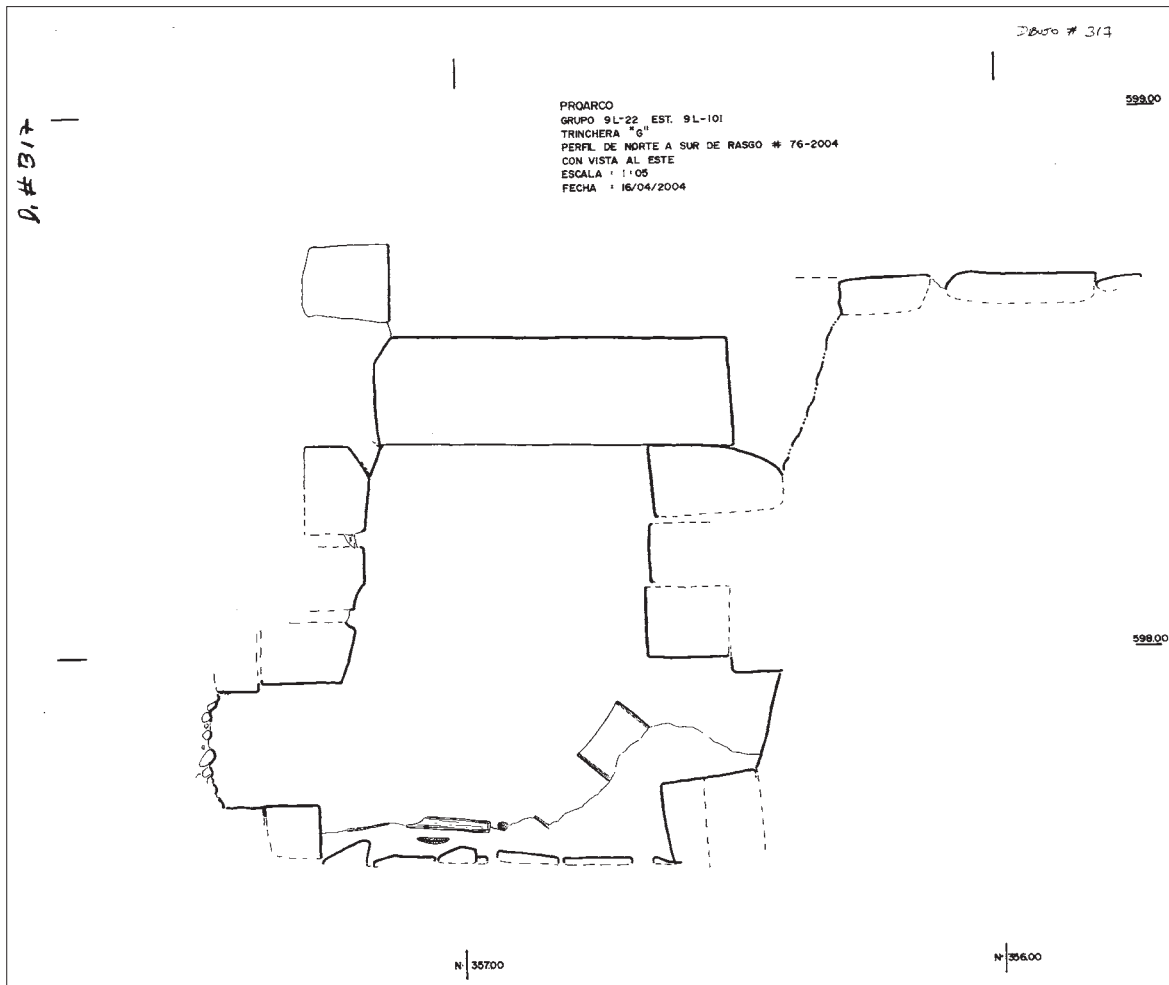


Fig. 25: Perfil norte-sur del Rasgo 76

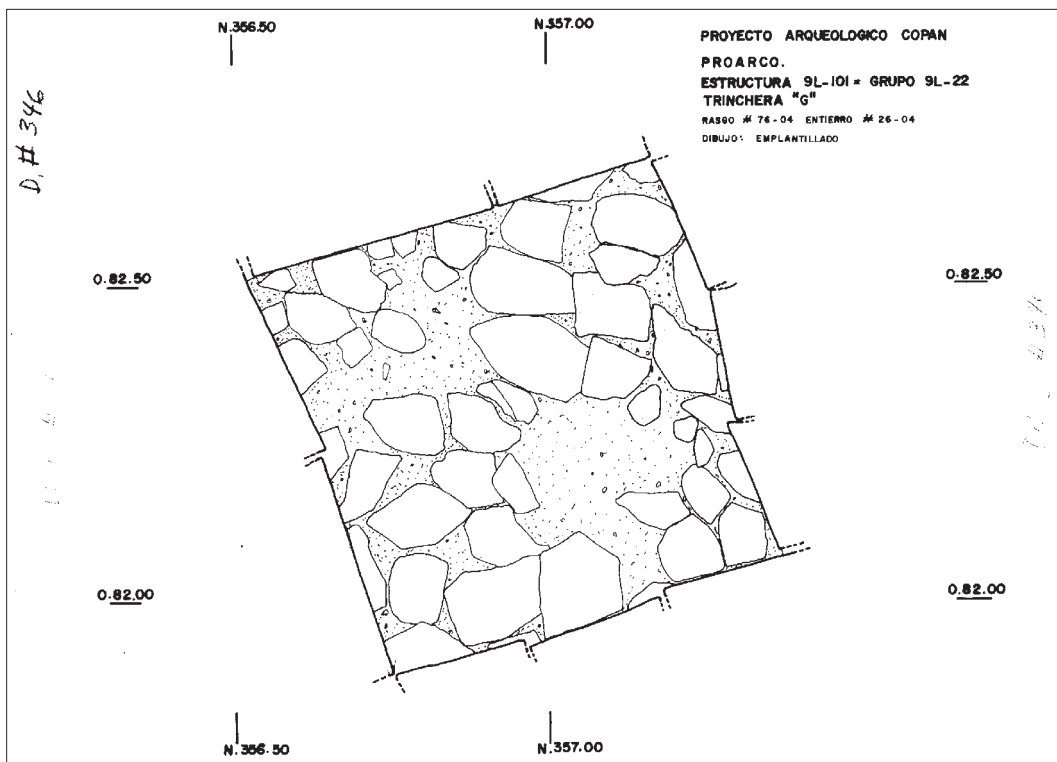


Fig. 26: Rasgo 76 Entierro 26 (2)

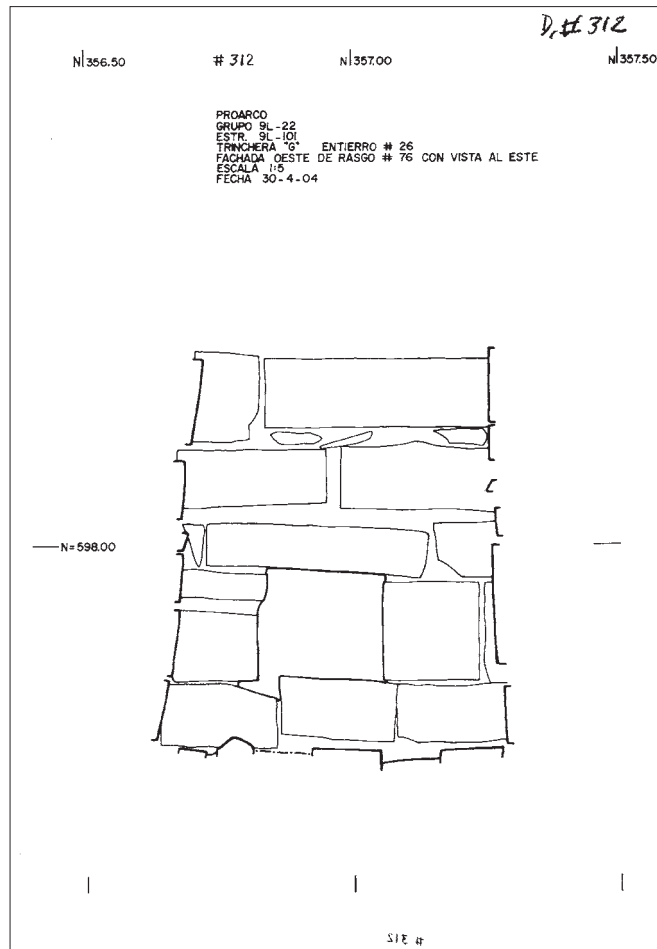


Fig. 27: Rasgo 76 (2)

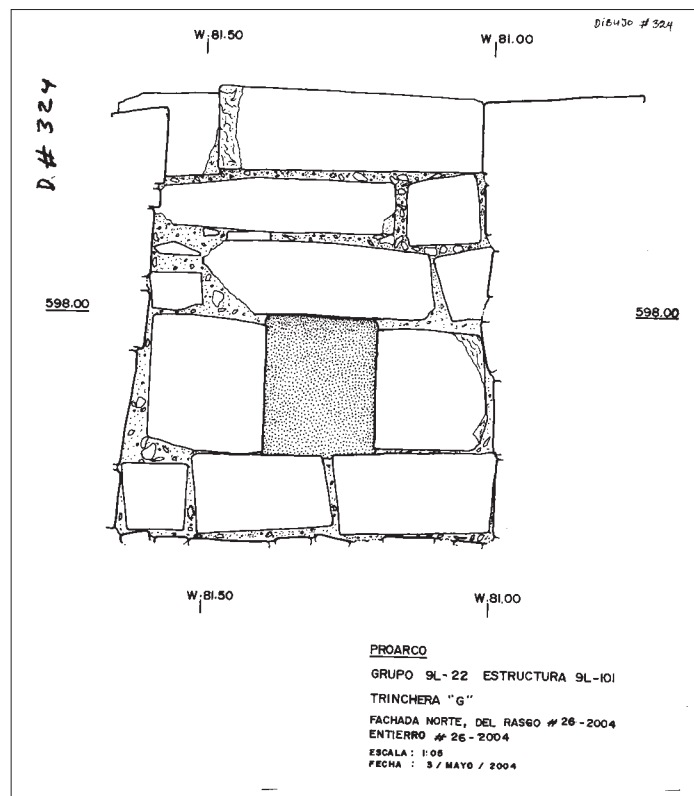


Fig. 28: Rasgo 76 (3)

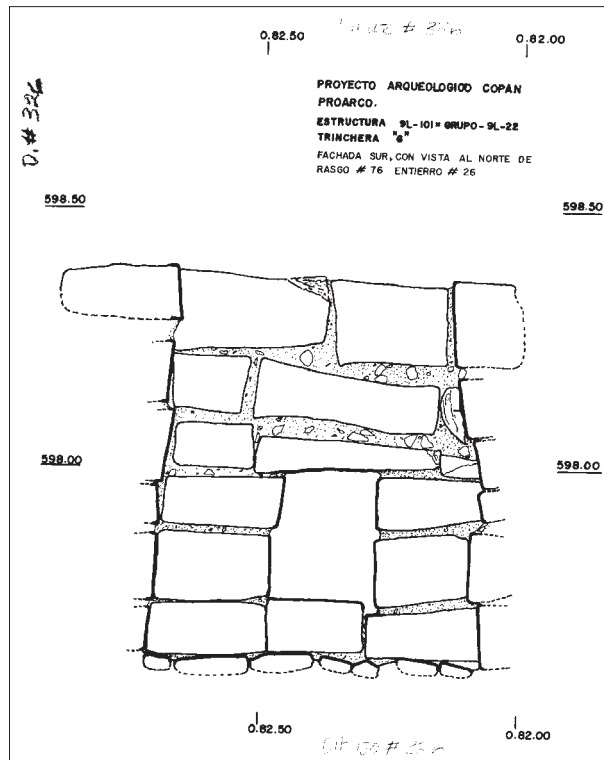


Fig. 29: Rasgo 76 (4)

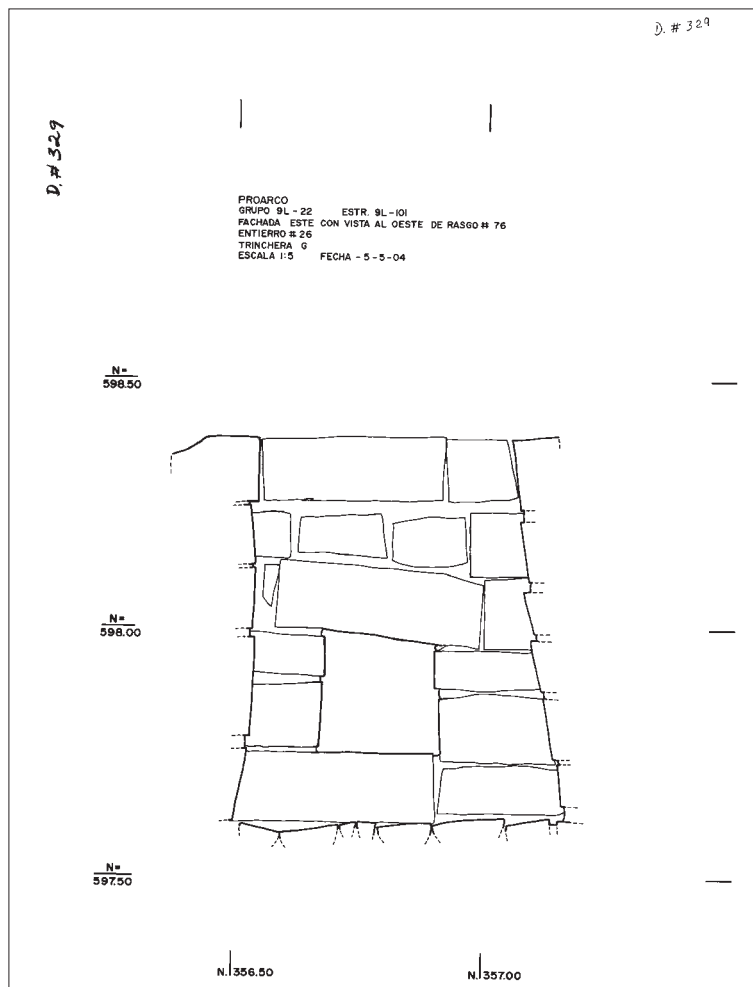


Fig. 30: Rasgo 76 (5)



Fig. 31: Entierro 30 Rasgo 85

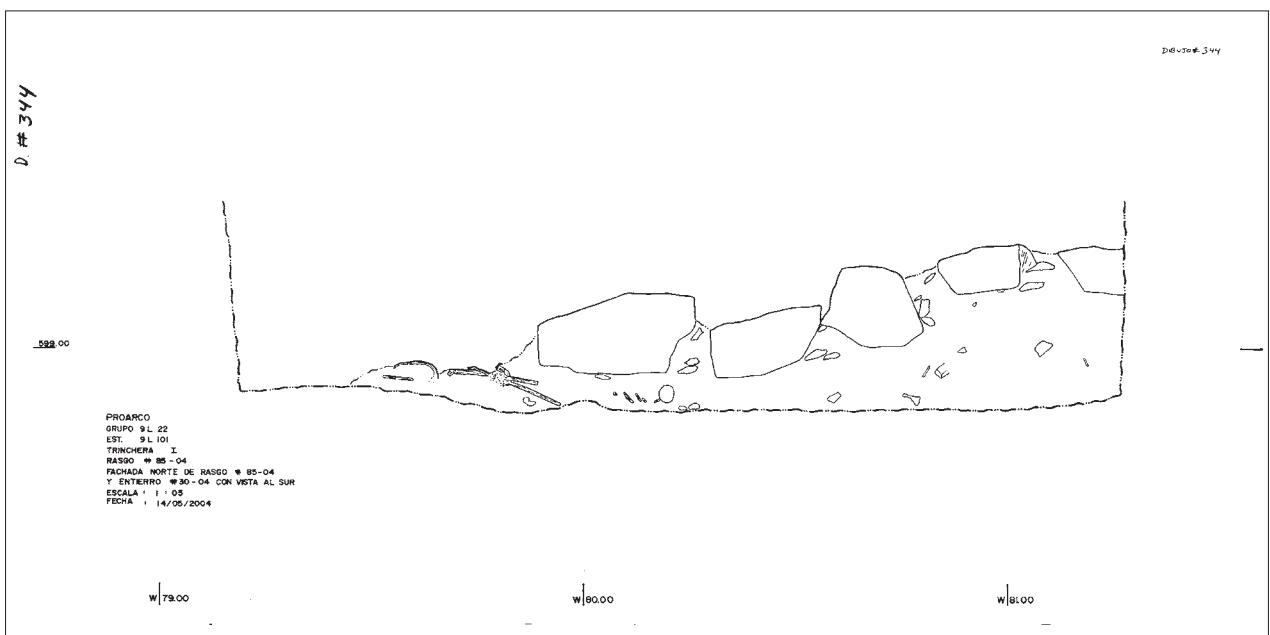


Fig. 32: Entierro 30 Rasgo 85 (2)

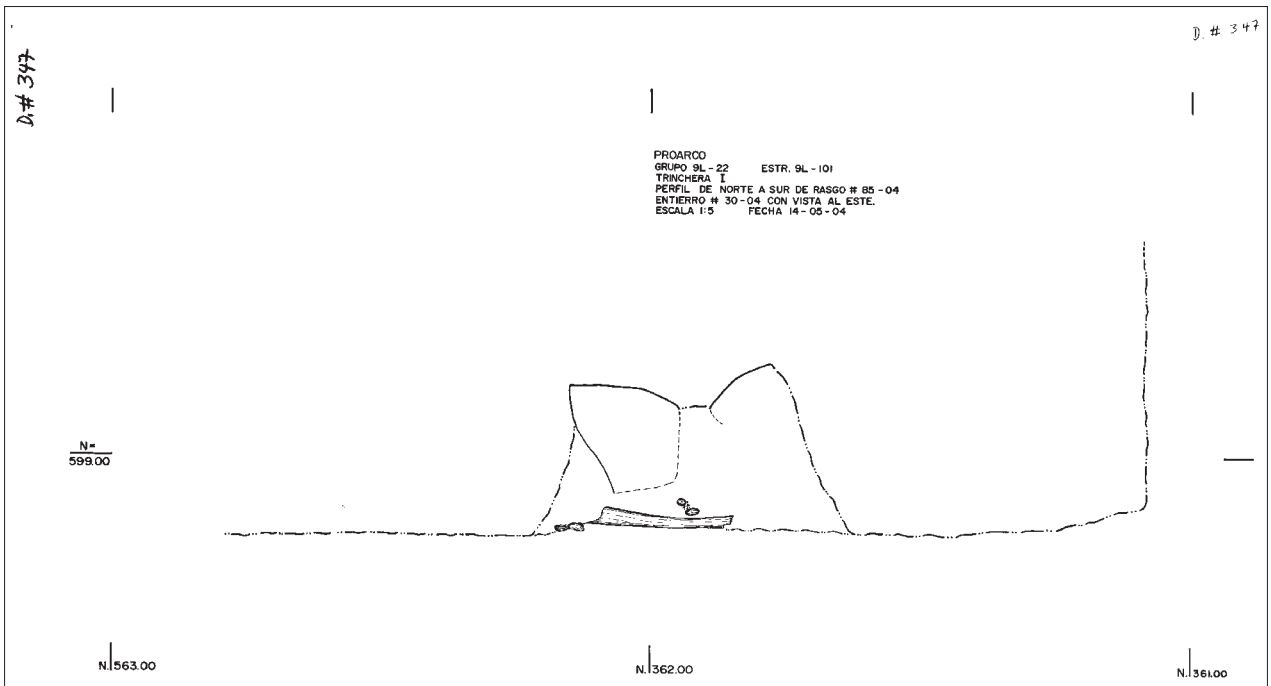


Fig. 33: Entierro 30 Rasgo 85 (3)

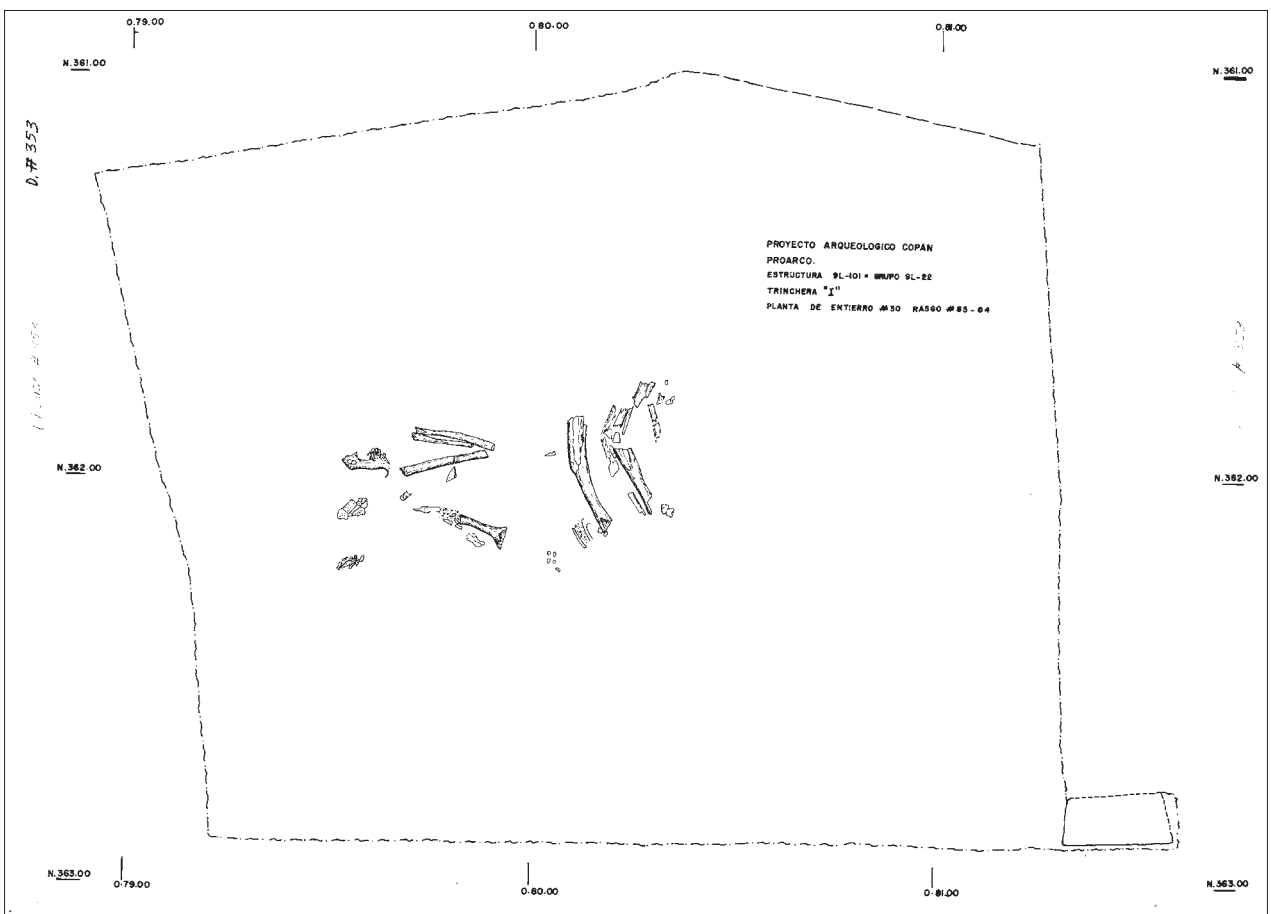


Fig. 34: Entierro 30 Rasgo 85 (4)

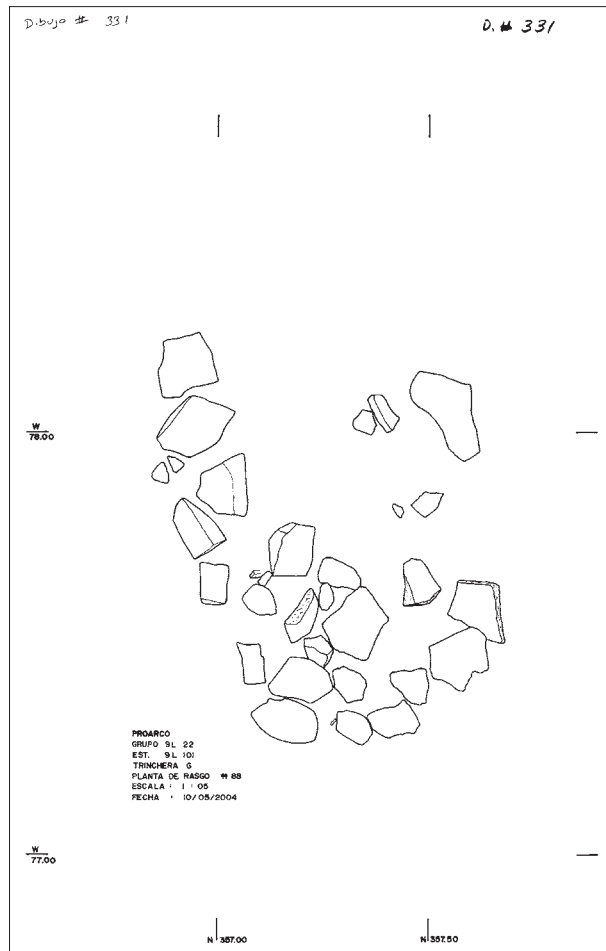


Fig. 35: Rasgo 88

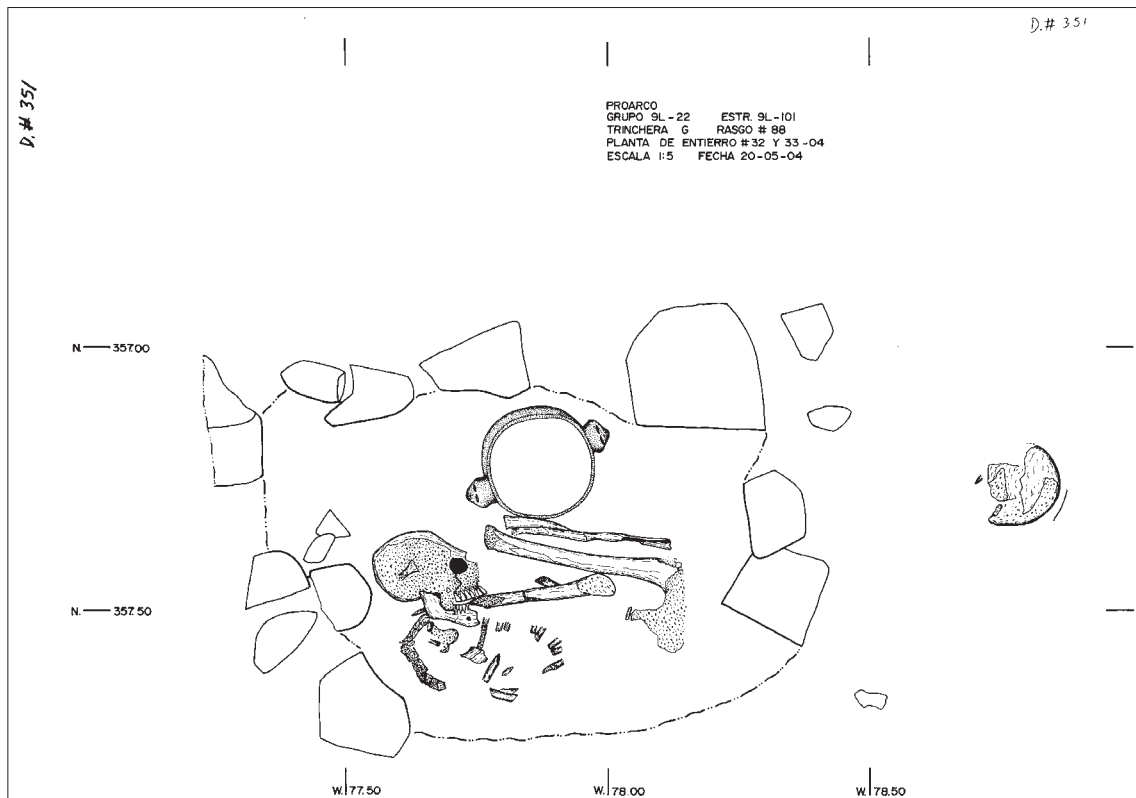


Fig. 36: Entierro 32 y 33 Rasgo 88

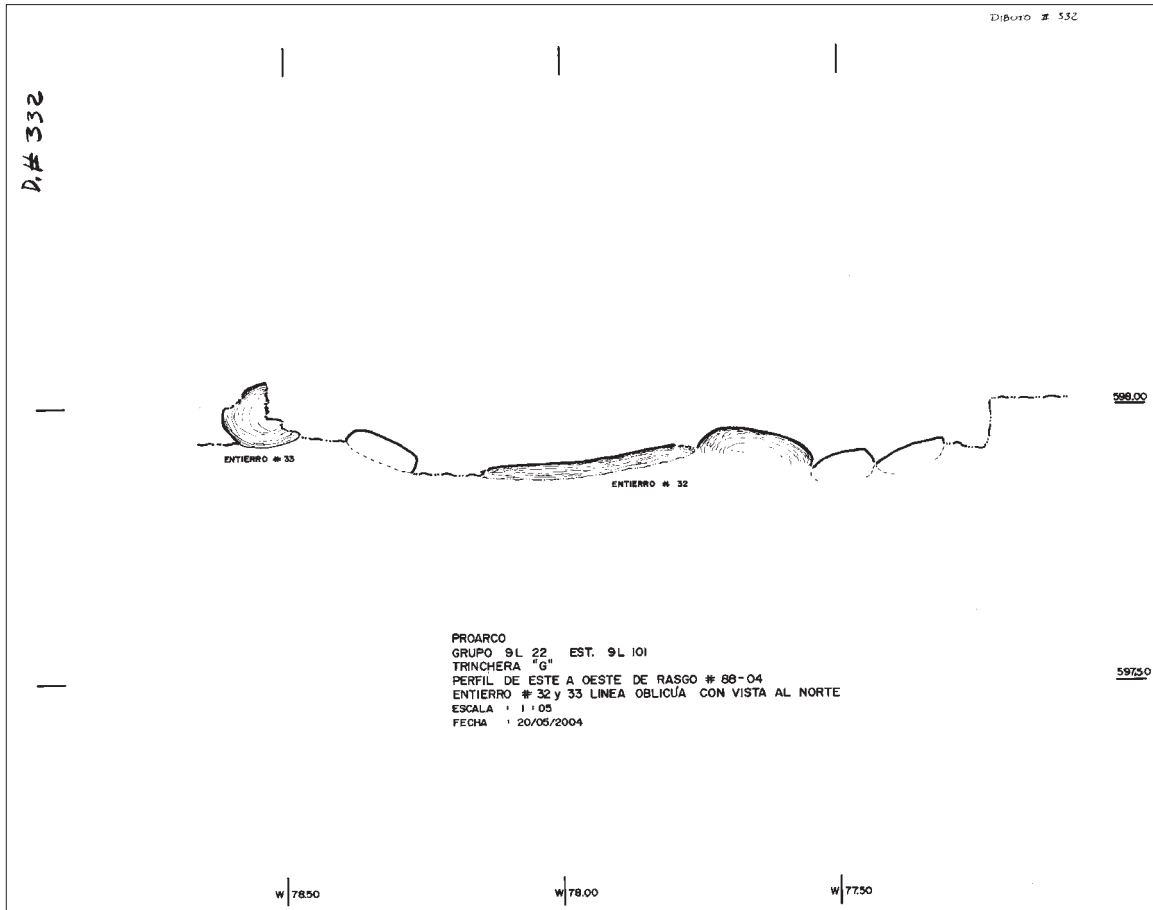


Fig. 37: Entierro 32 y 33

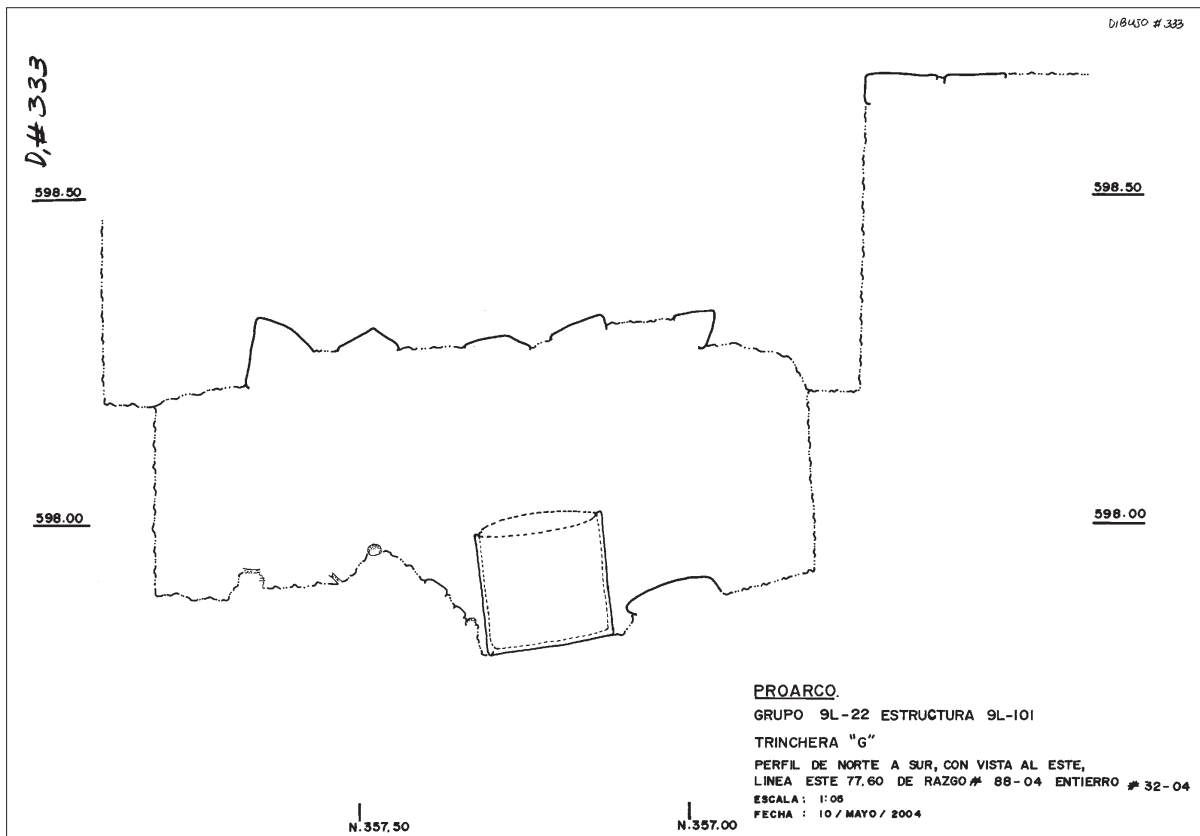


Fig. 38: Entierro 32 Rasgo 88

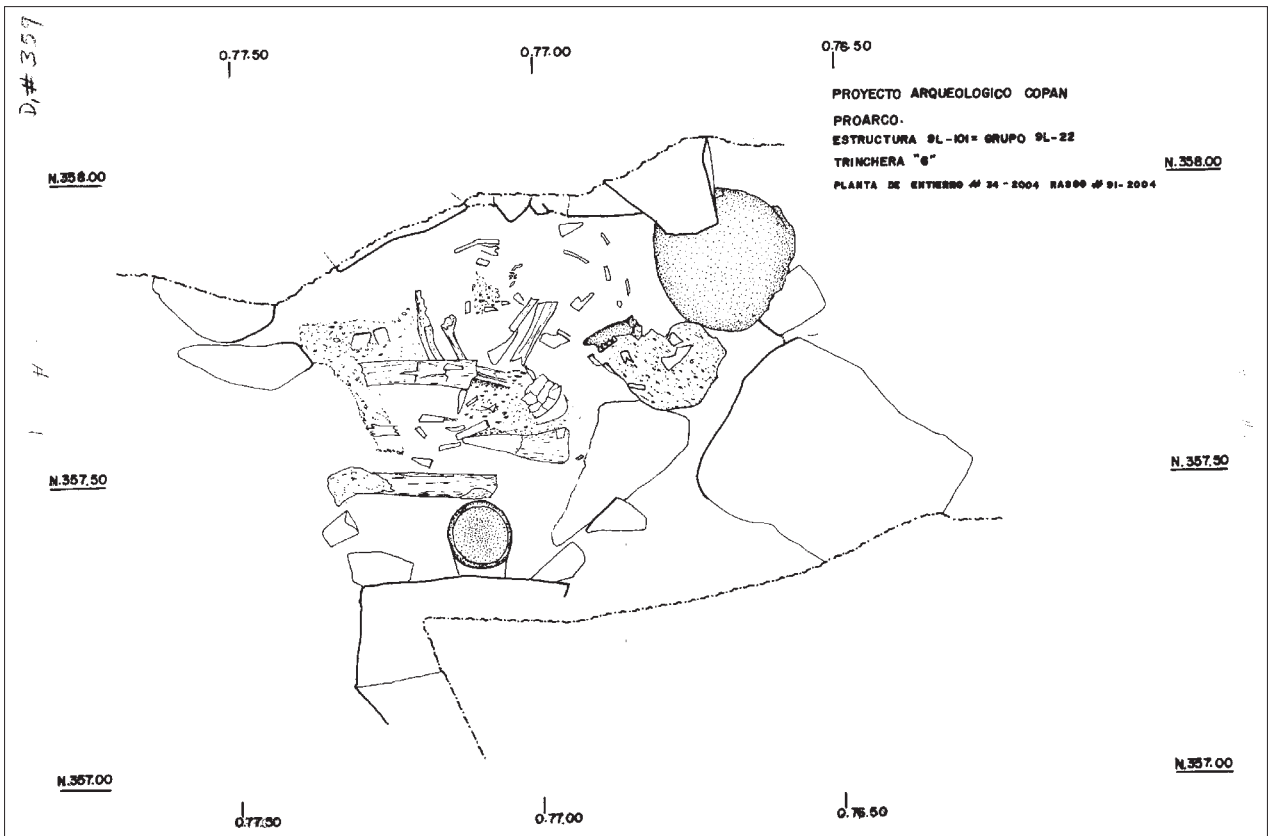


Fig. 39: Entierro 34 Rasgo 91

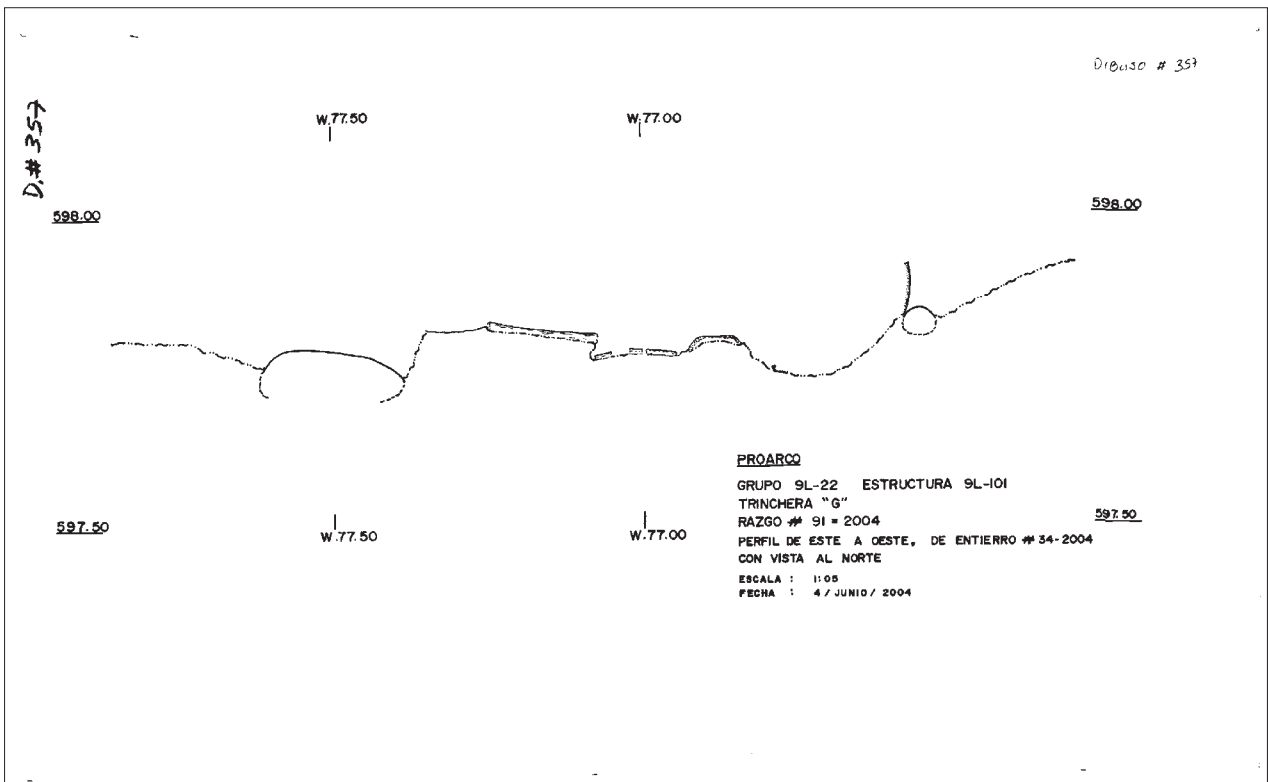


Fig. 40: Perfil del Entierro 34 Rasgo 91

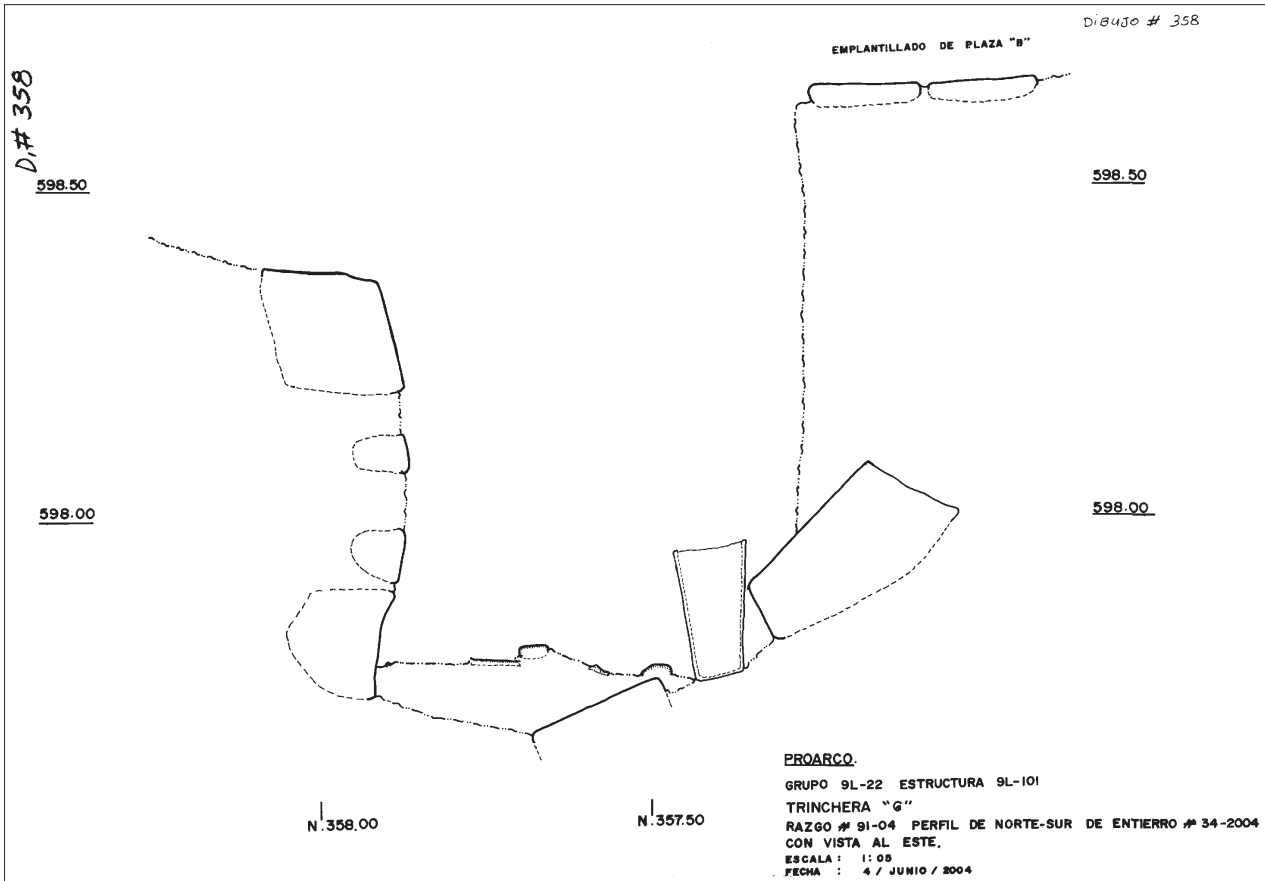


Fig. 41: Perfil norte-sur del Entierro 34 Rasgo 91

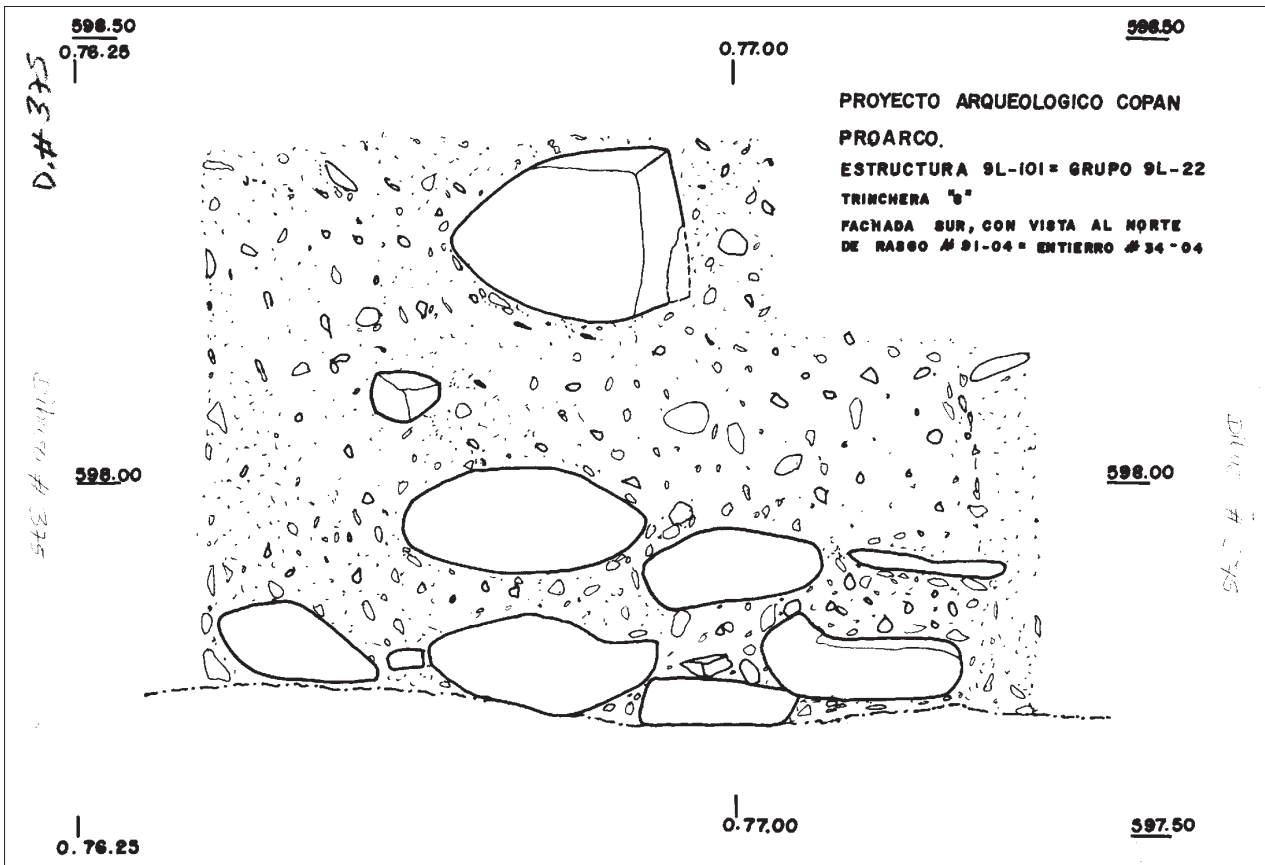


Fig. 42: Entierro 34 Rasgo 91 (2)

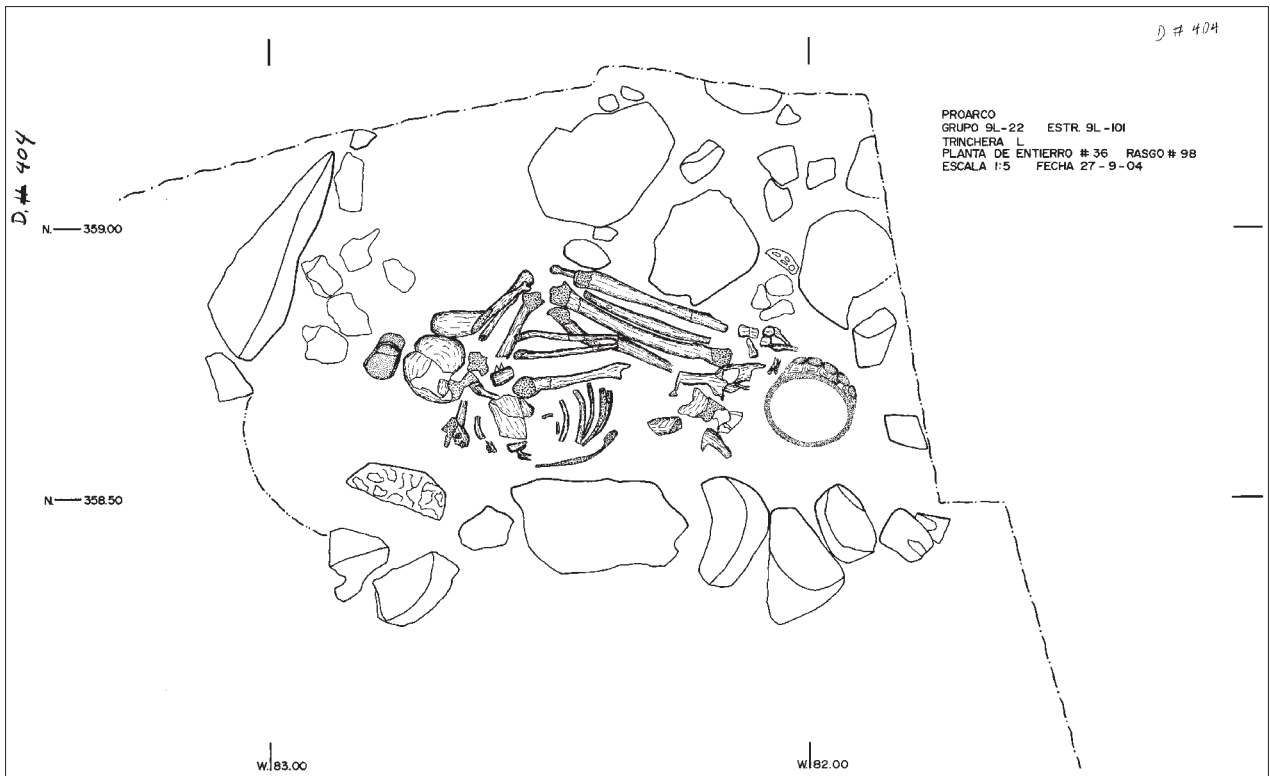


Fig. 43: Entierro 36 Rasgo 98

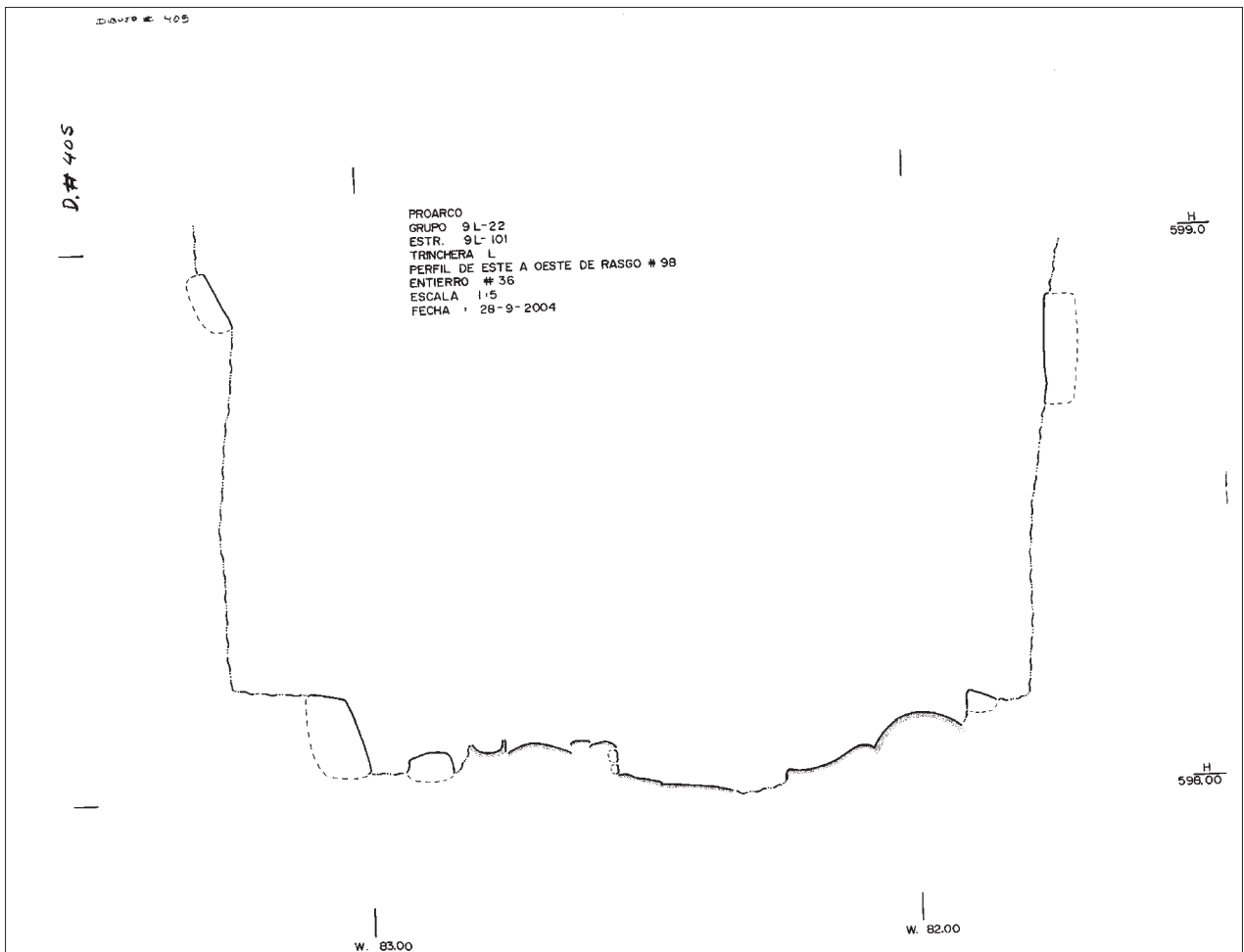


Fig. 44: Perfil este-oeste del Entierro 36

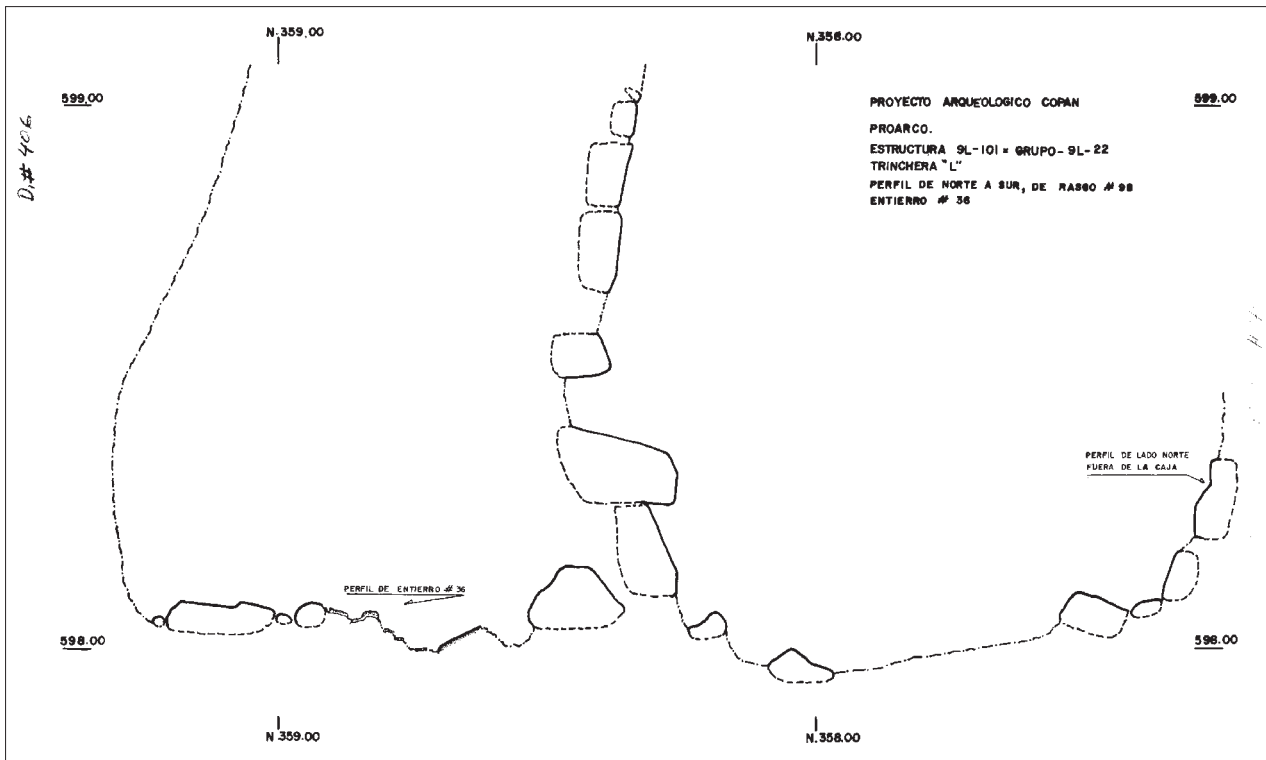


Fig. 45: Perfil norte-sur del Entierro 36

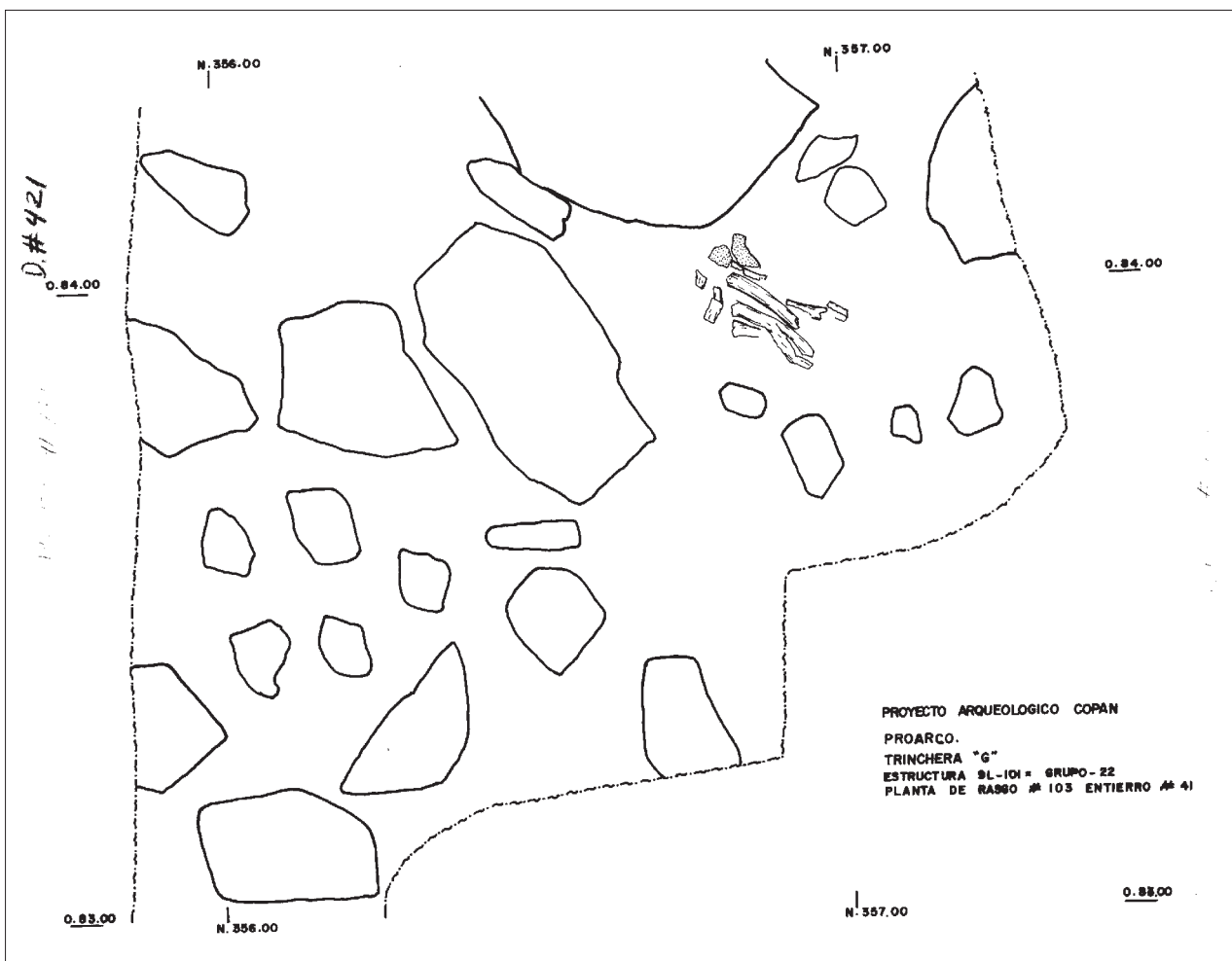


Fig. 46: Entierro 41 Rasgo 103

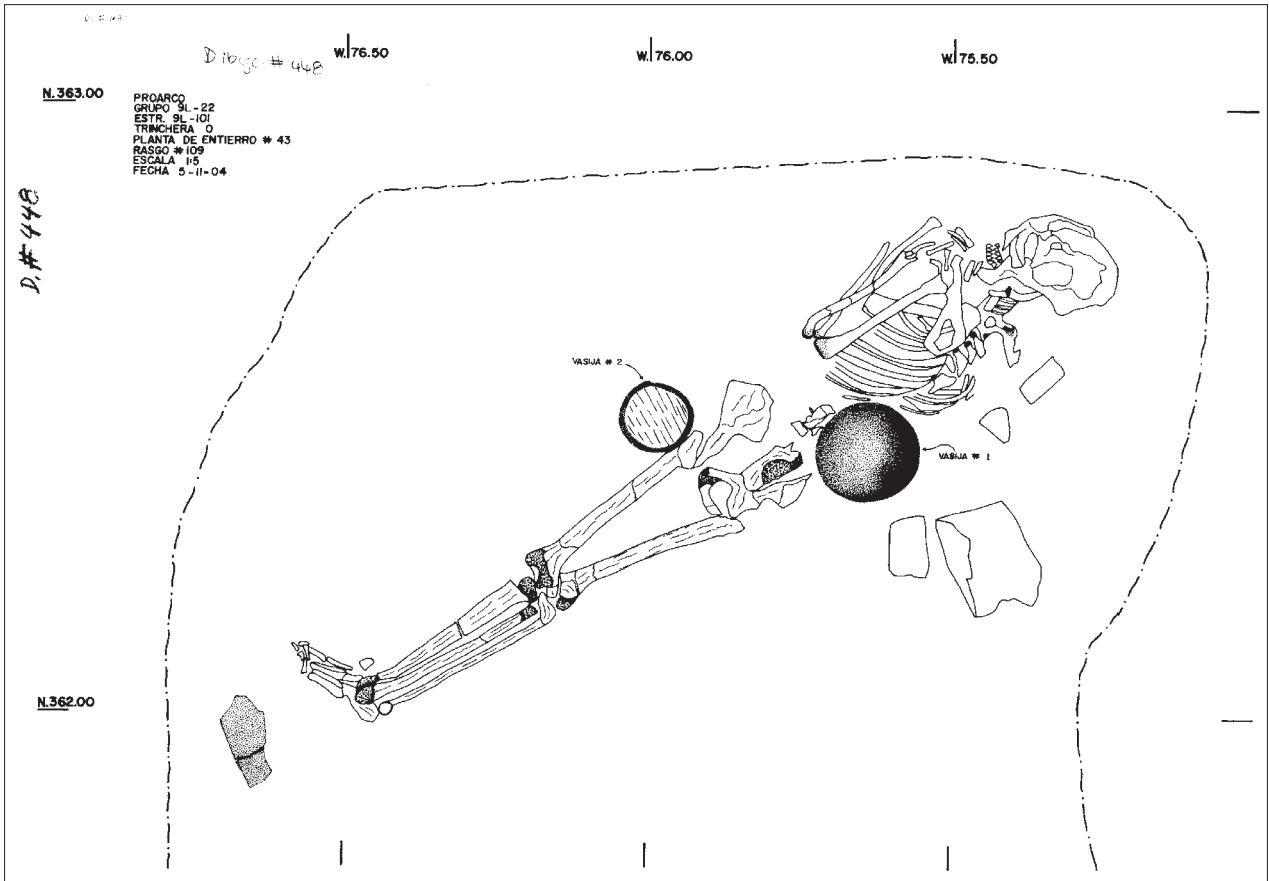


Fig. 47: Entierro 43 Rasgo 109

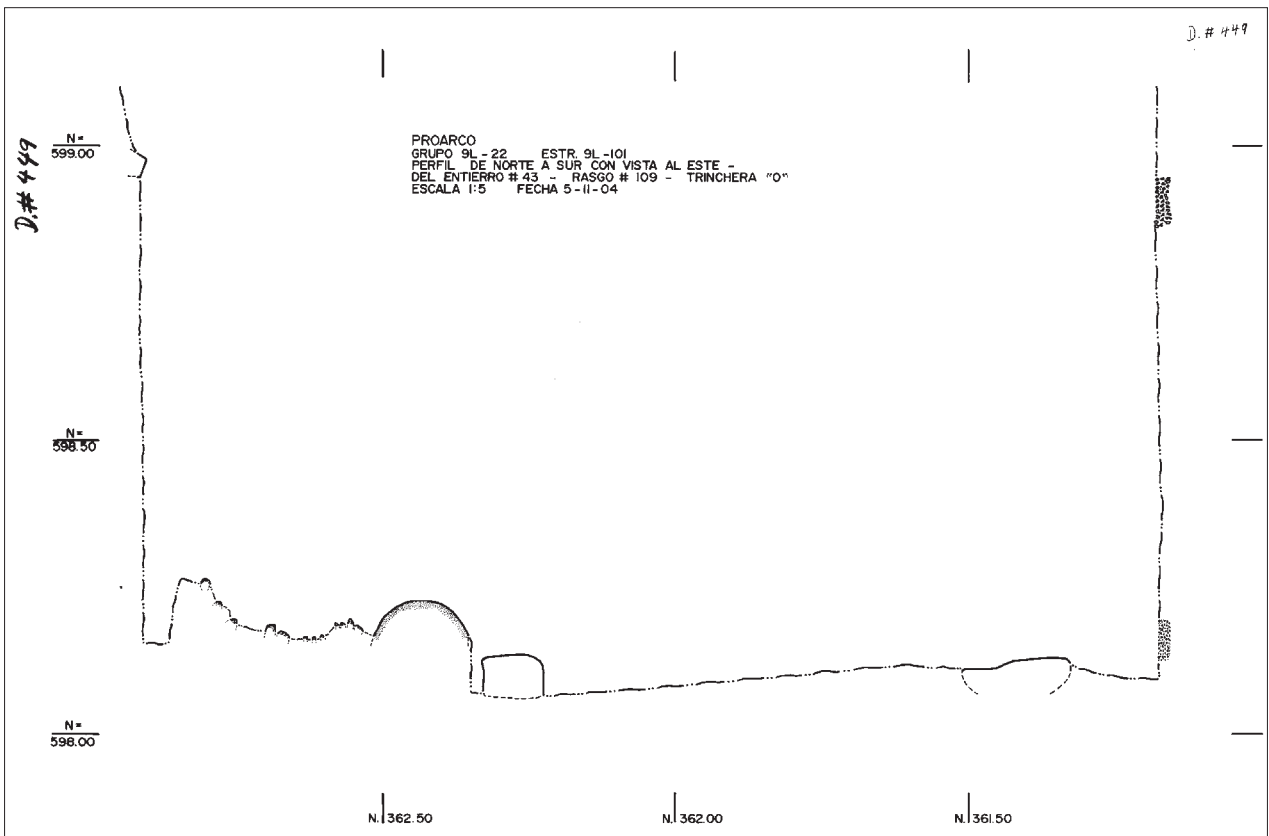


Fig. 48: Perfil norte-sur del Entierro 43 Rasgo 109

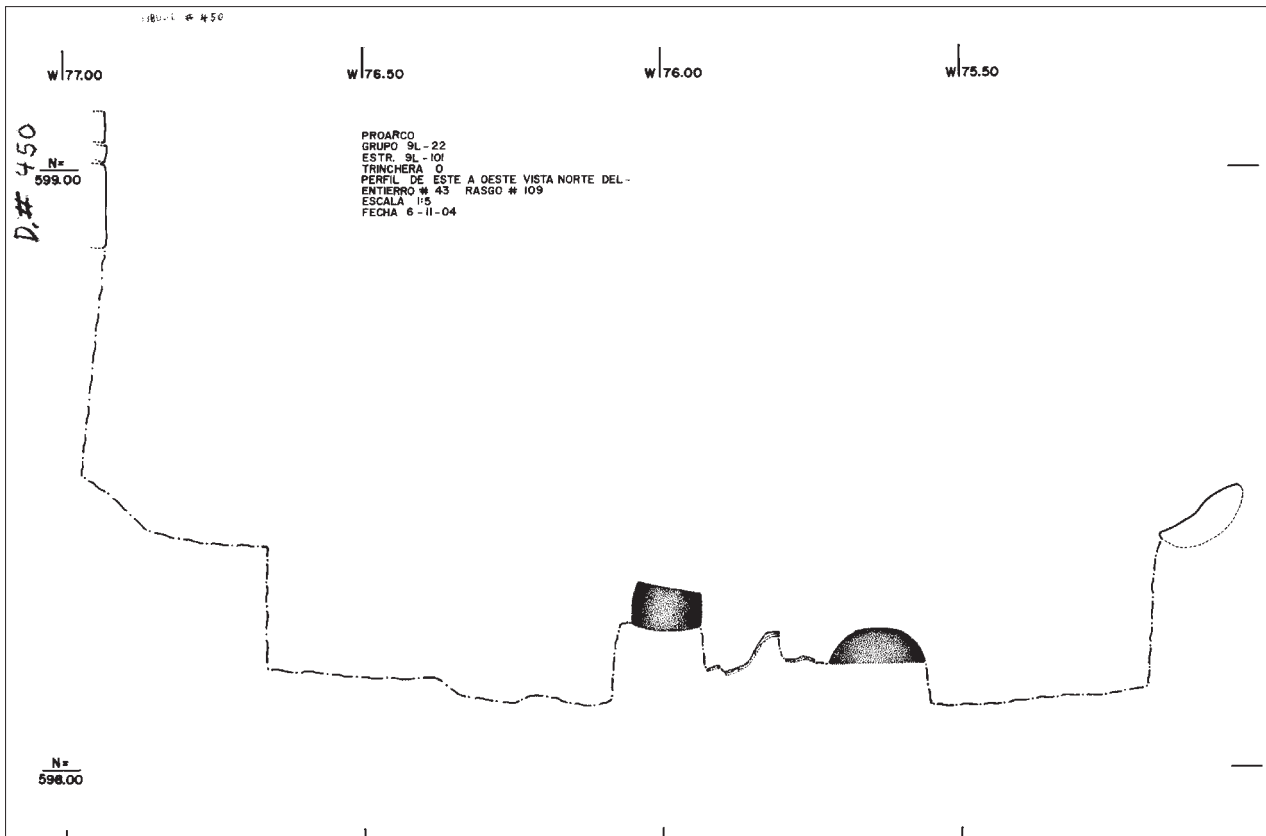


Fig. 49: Perfil este-oeste del Entierro 43 Rasgo 109

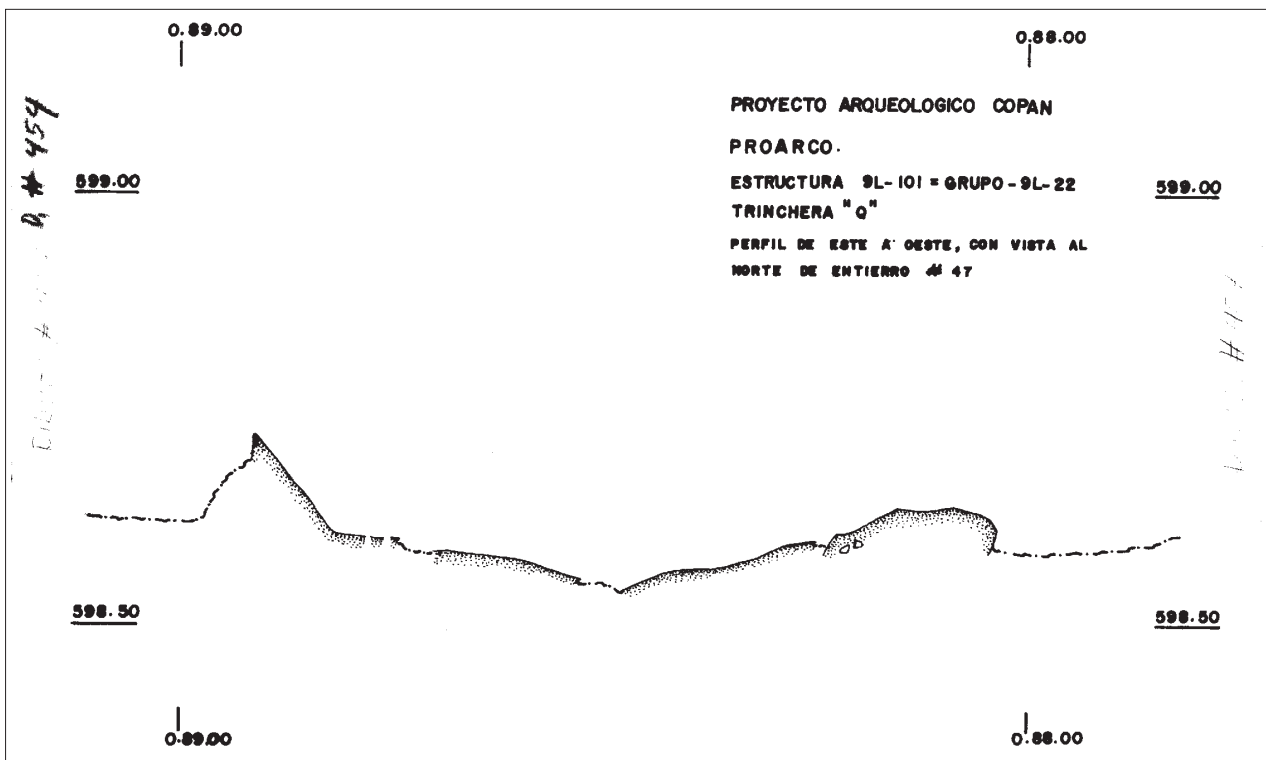


Fig. 50: Entierro 47

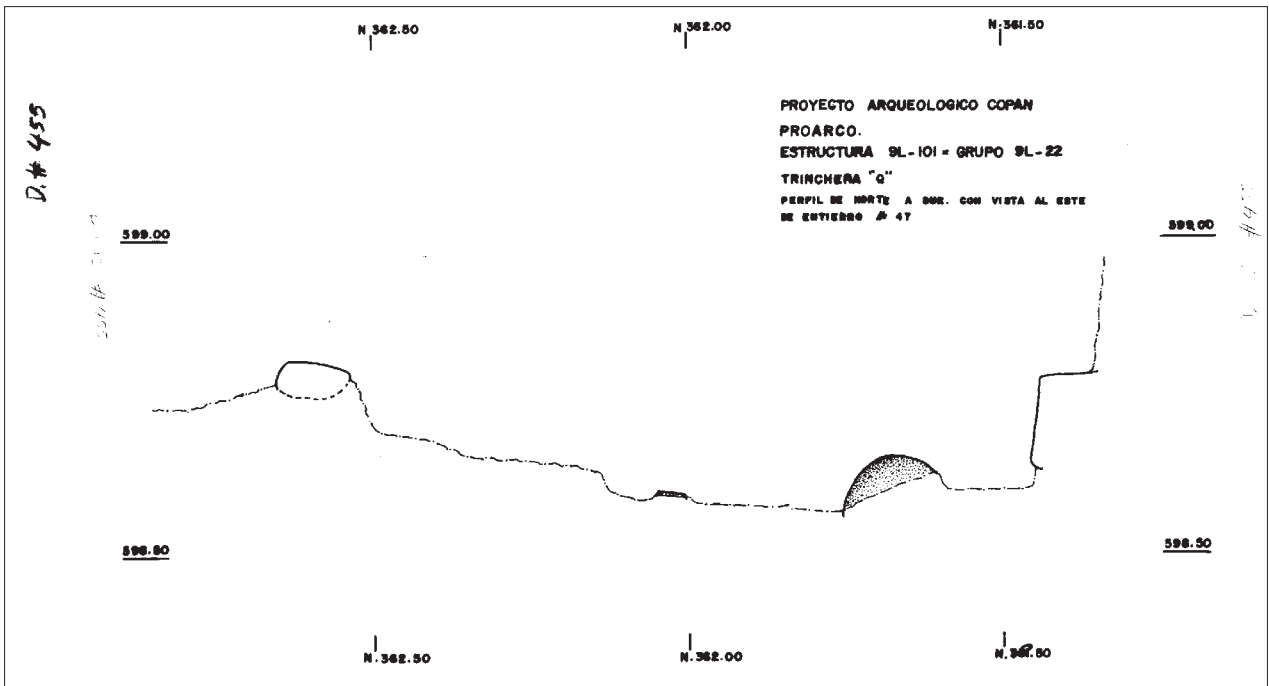


Fig. 51: Entierro 47 (2)

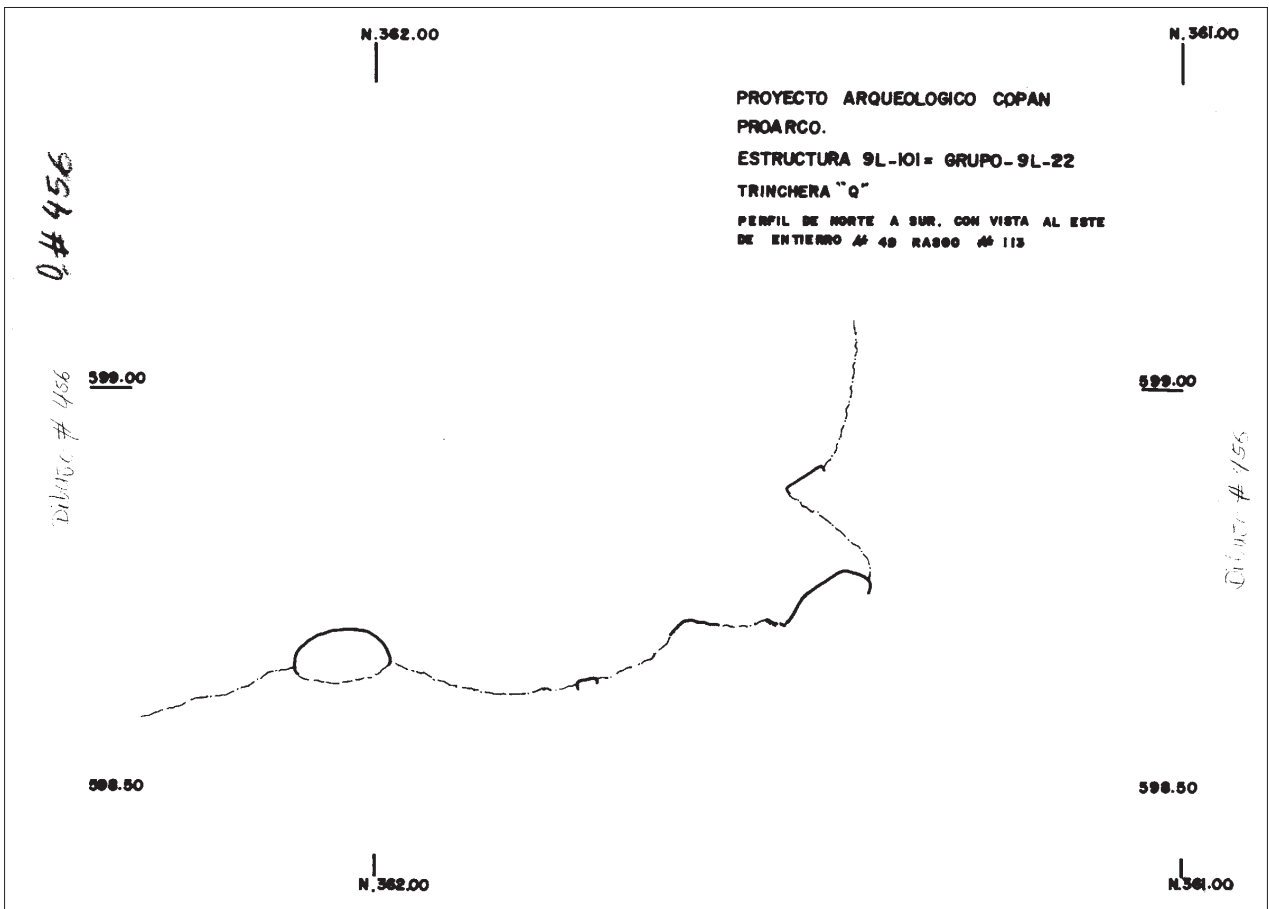


Fig. 52: Entierro 49 Rasgo 113

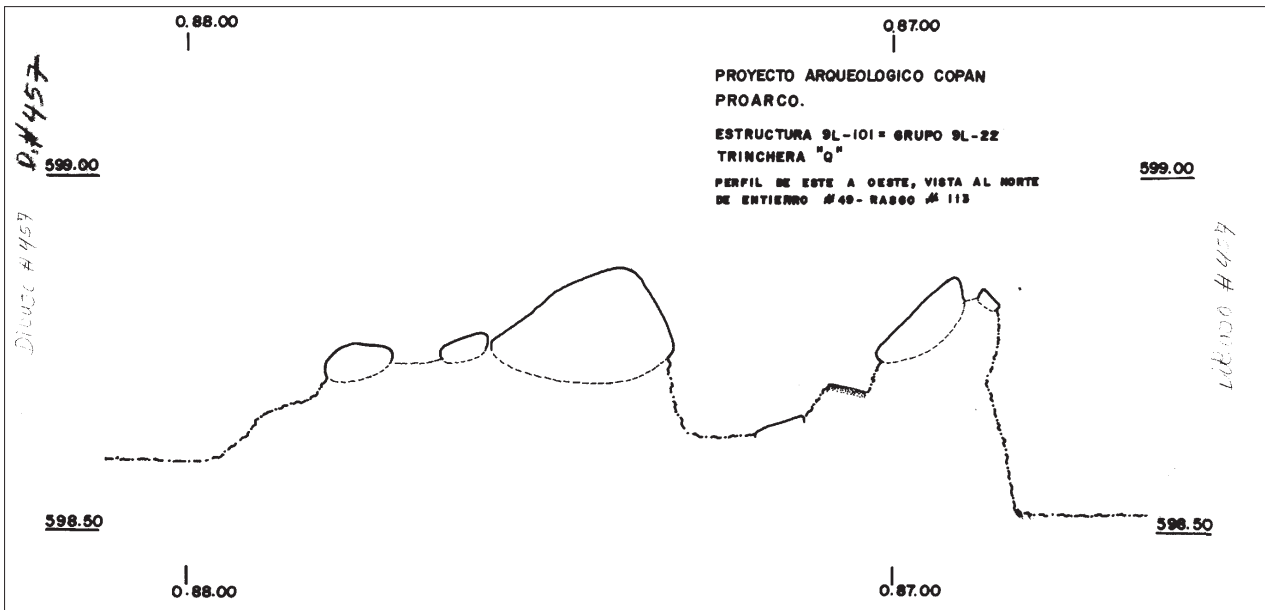


Fig. 53: Entierro 49 Rasgo 113 (2)

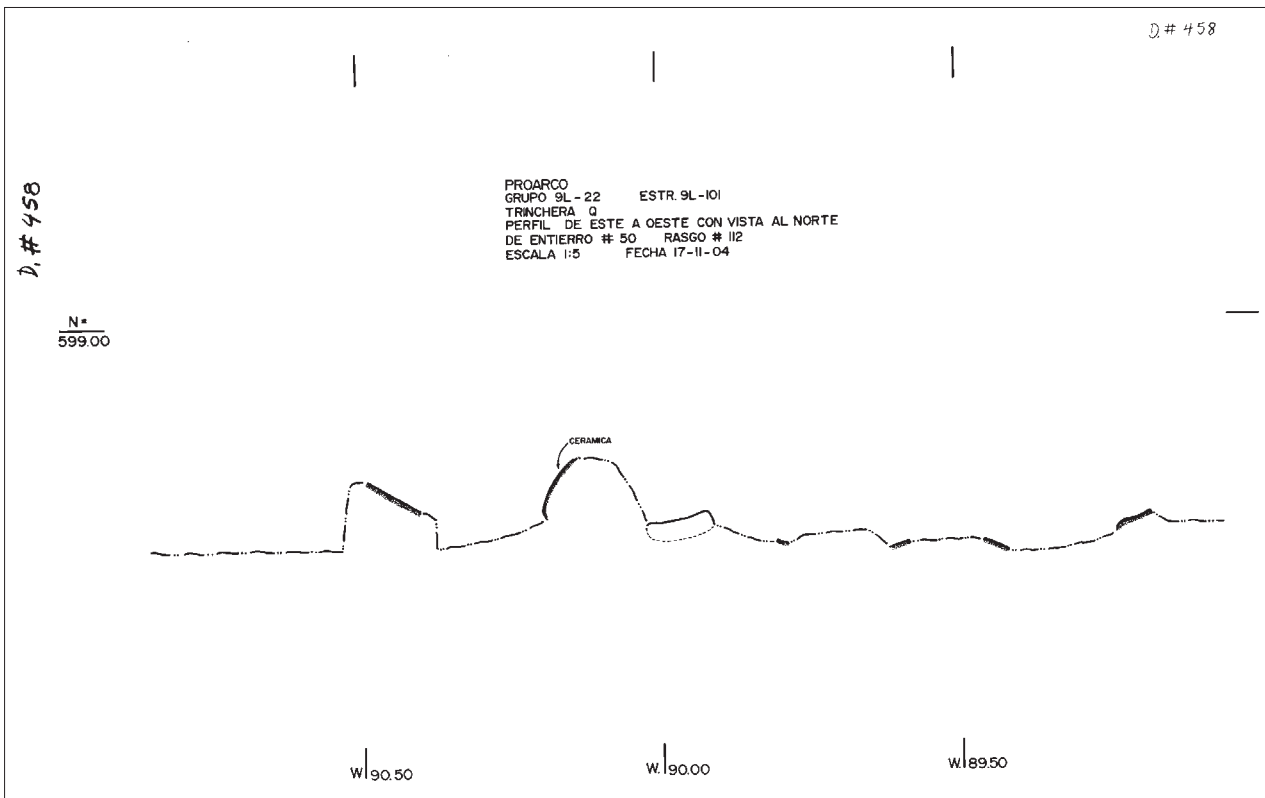


Fig. 54: Entierro 50

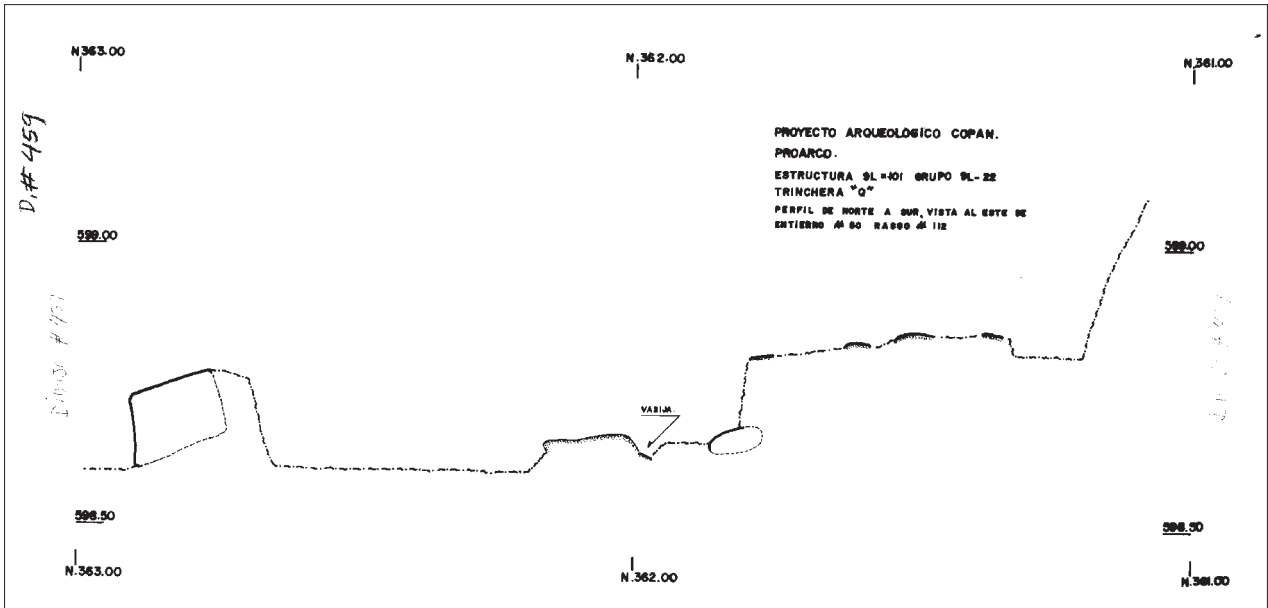


Fig. 55: Entierro 50 (2)

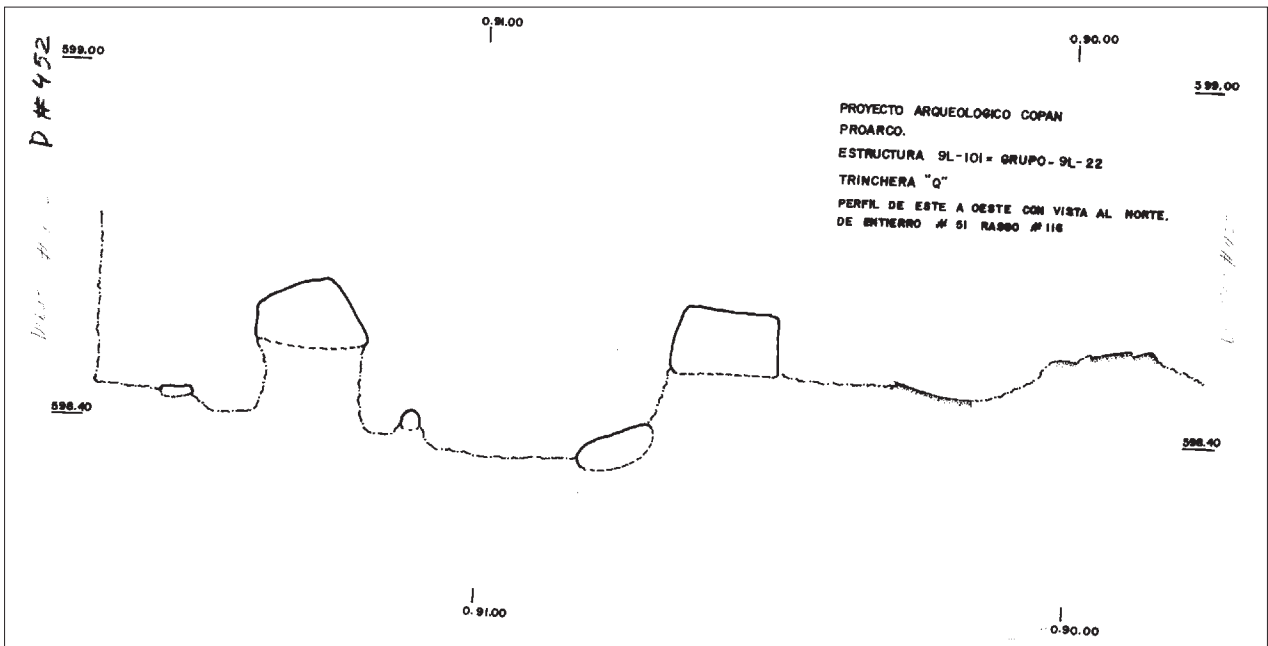


Fig. 56: Entierro 51 Rasgo 116

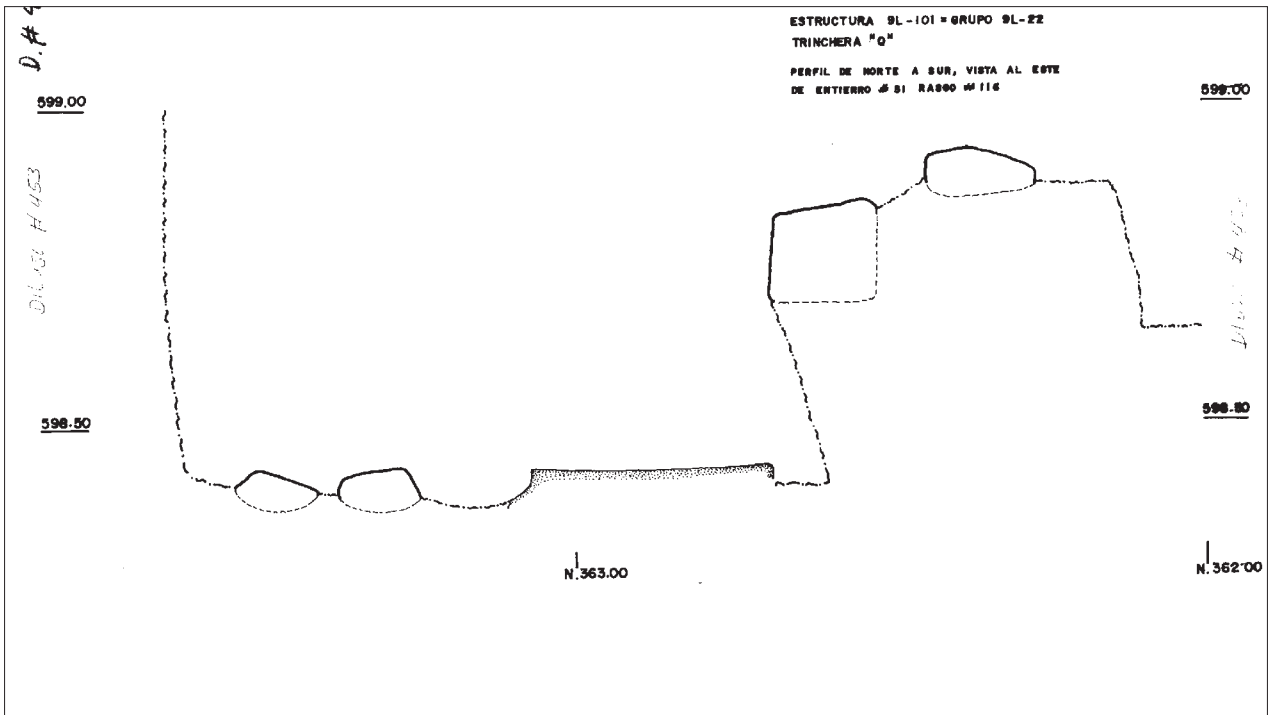


Fig. 57: Entierro 51 Rasgo 116 (2)

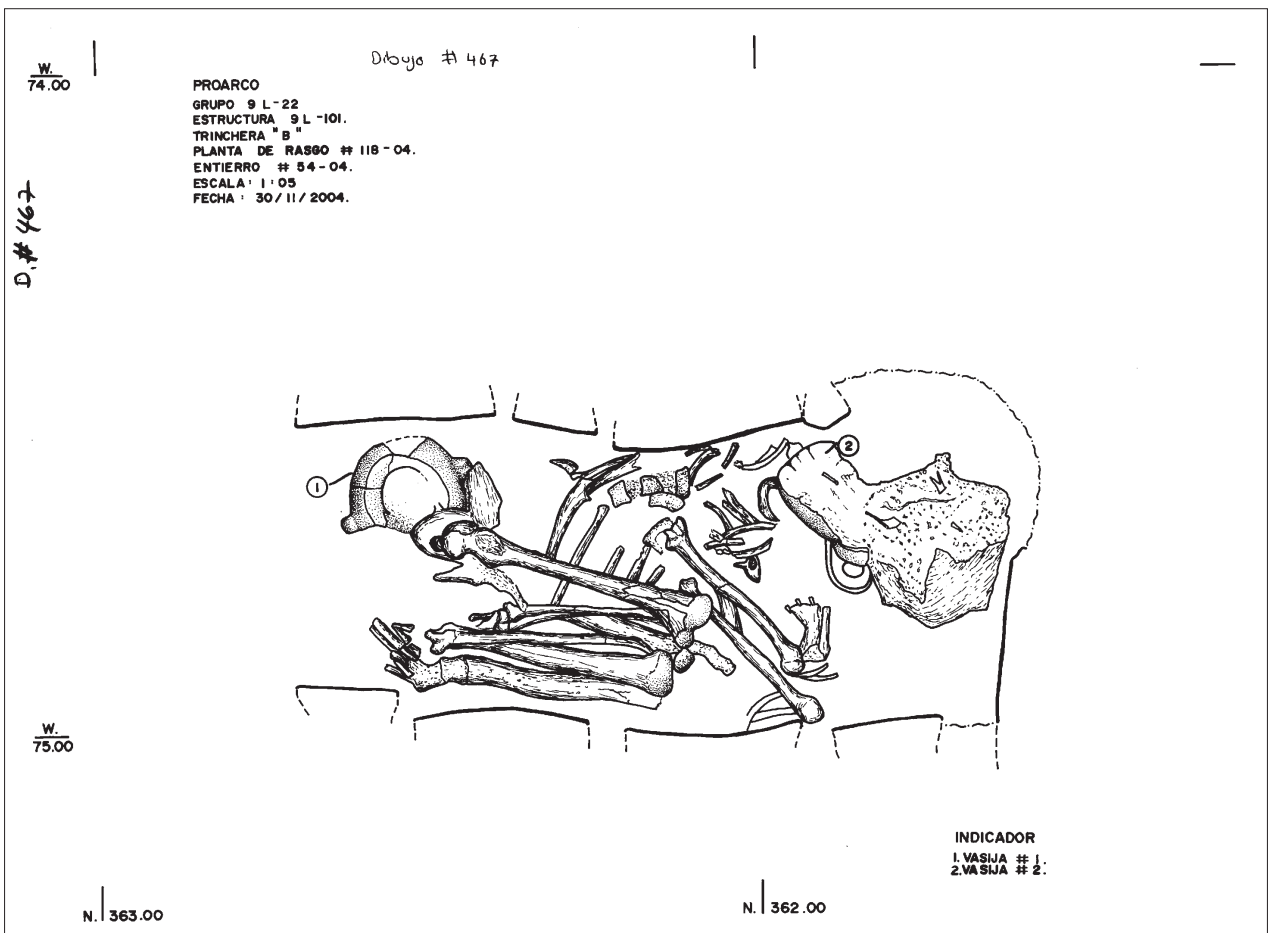


Fig. 58: Entierro 54 Rasgo 118

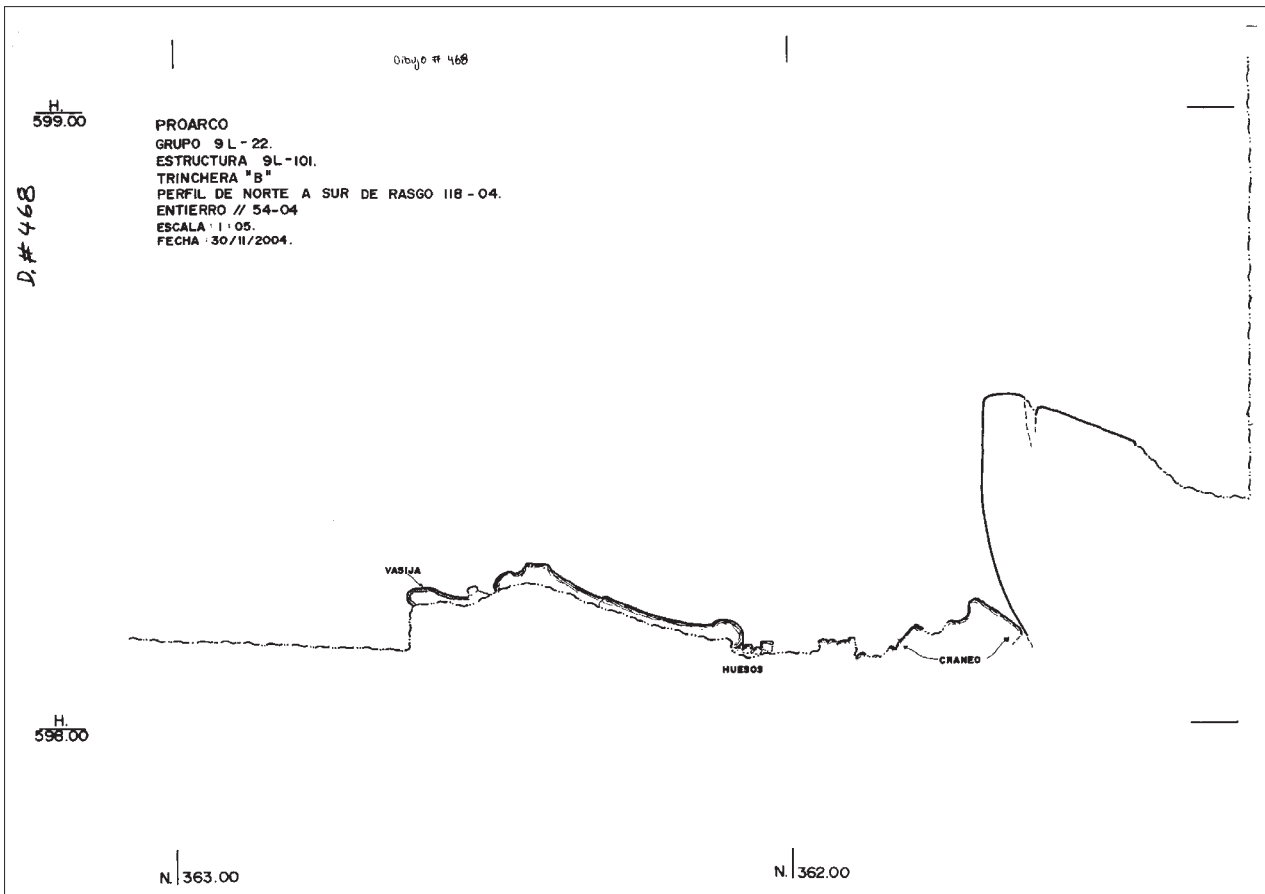


Fig. 59: Perfil norte-sur del Entierro 54 Rasgo 118

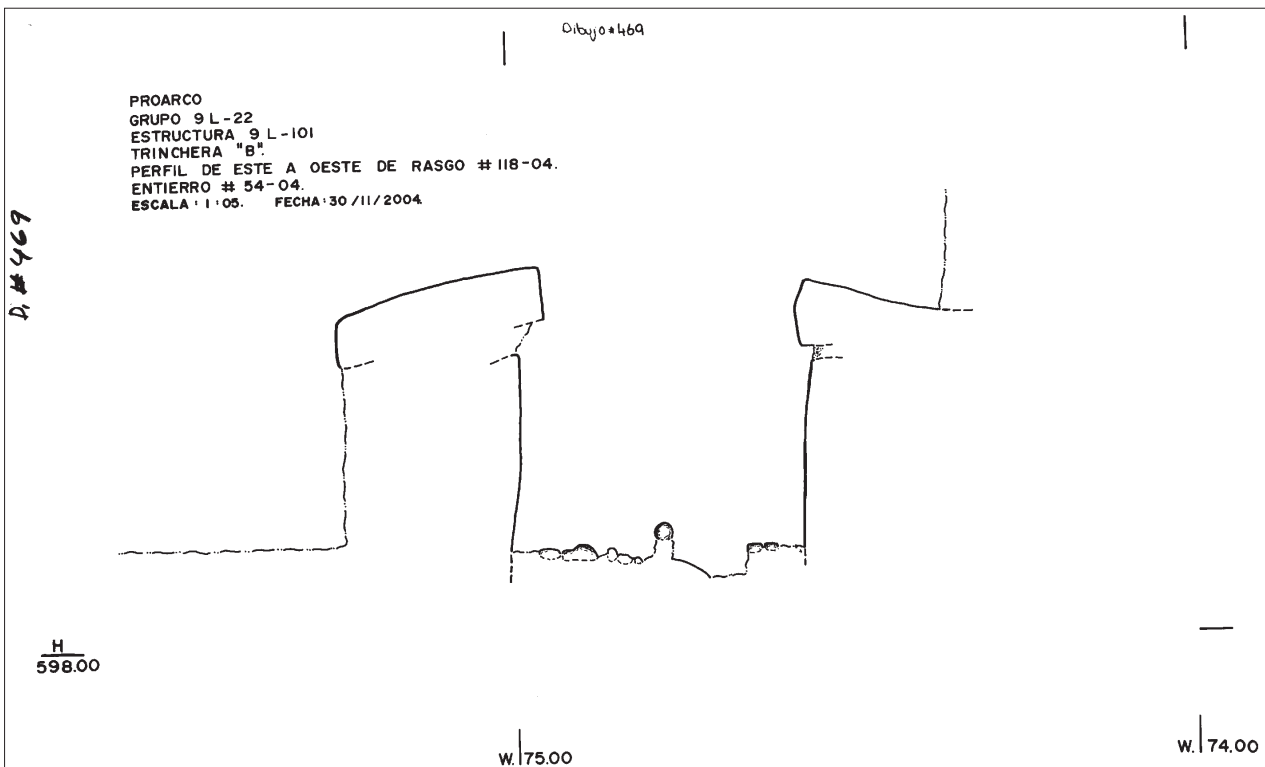


Fig. 60: Perfil este-oeste del Entierro 54 Rasgo 118

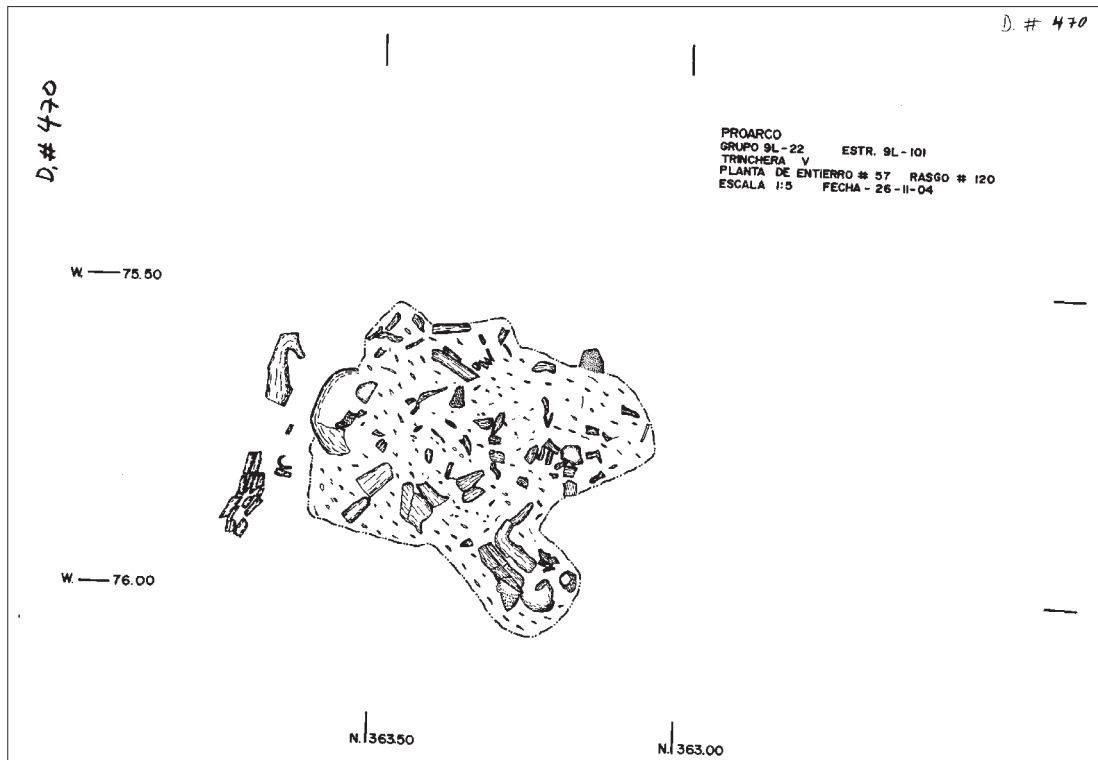


Fig. 61: Entierro 57 Rasgo 120

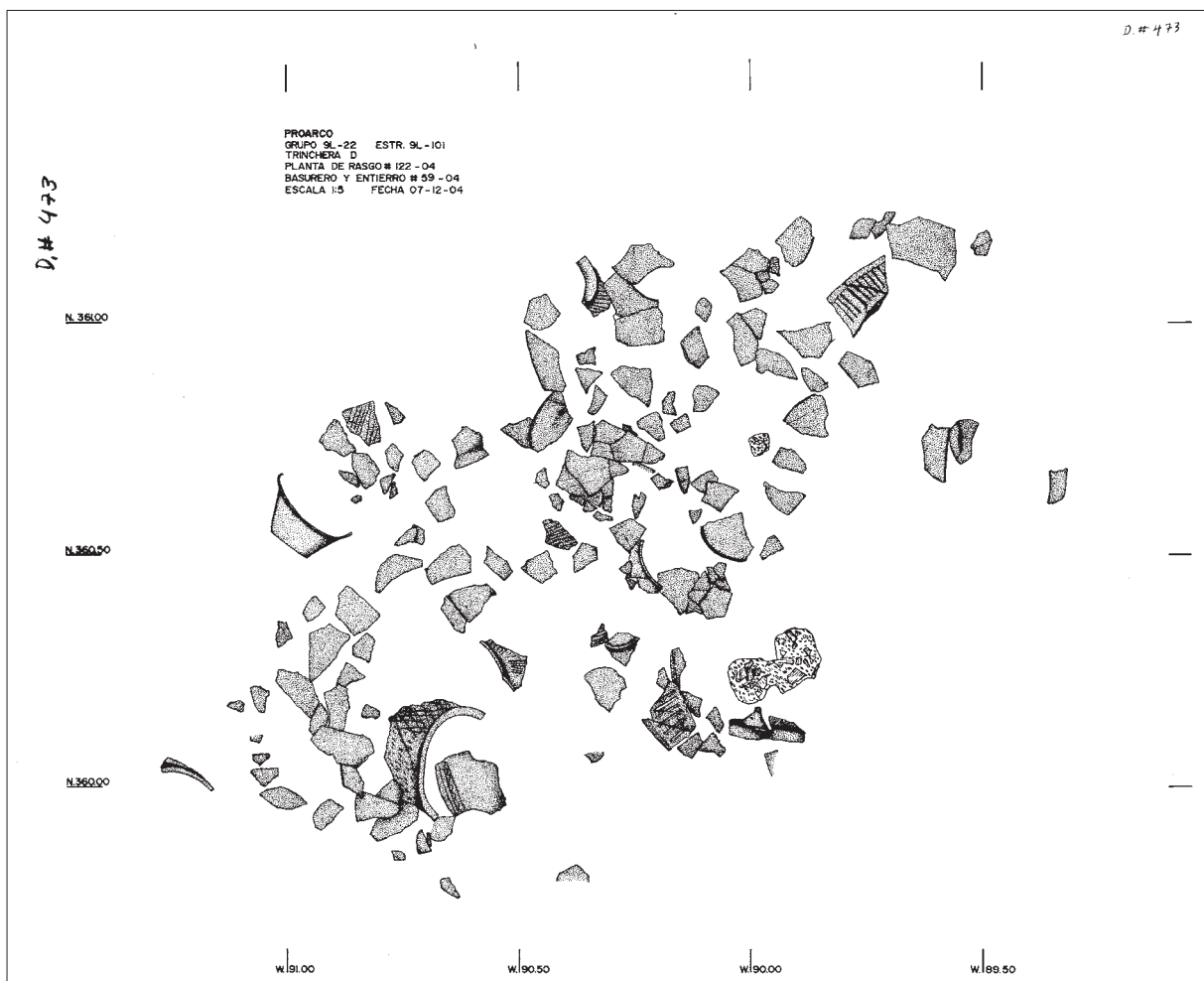


Fig. 62: Entierro 59 Rasgo 122

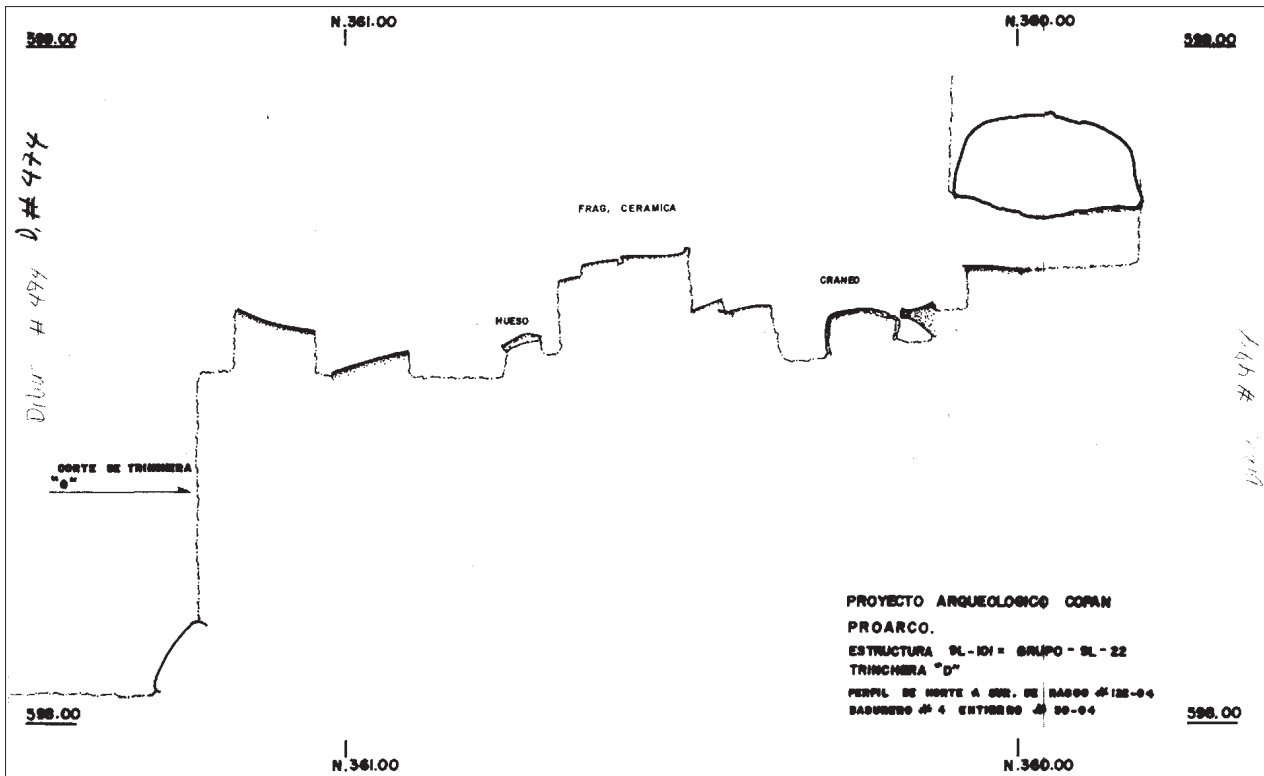


Fig. 63: Entierro 59 Rasgo 122 (2)

Personal Técnico de PROARCO (2019)

Director / Investigador Principal	: Seiichi Nakamura (Universidad Kanazawa)
Co-Director hondureño	: Mélvín Fuentes (IHAH)
Co-Director administrativo	: Carlos Carbajal (IHAH)
Investigador	: Masahiro Ogawa (Universidad Kanazawa)
Asistente de investigación	: Josue Murillo
Fotografía	: Edgardo Enrique Sanabria
Restauración de bienes muebles	: Oscar Hernando Guerra
Restauración de bienes inmuebles	: Leonidas Garza
Dibujos de campo	: Ernesto Rodriguez
Registro y clasificación de artefactos	: Concepción Lázaro
Asistente de administración	: Jorge Enrique Núñez
Apoyo en administración y sistemas	: Yoichi Sato (MIDICS)
Traducción al inglés	: Miguel Echeverría

PARTE II: APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA 3D A LA RED DE TÚNELES EXCAVADA EN LA ACRÓPOLIS DE COPÁN

Seiichi Nakamura (Universidad Kanazawa)
con apoyo de Toppan Printing, Co. Ltd.

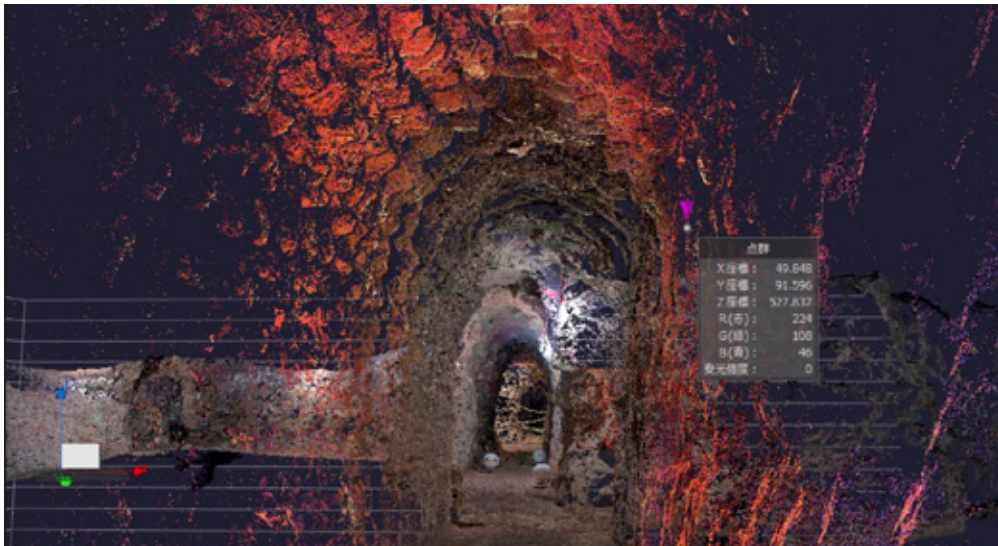


Tabla de contenidos

CAPÍTULO I : Medición 3D de la red de túneles excavada en la Acrópolis de Copán: metodología y resultados	69
CAPÍTULO II: Cálculo del volumen: prueba preliminar	85
CAPÍTULO III: Aplicación de la tecnología SLAM mediante un LiDAR móvil: resultado preliminar	91
Referencias Citadas	96

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1.	Perfil del Templo 26 según Fash 2001, etc.	71
Fig. 2.	Plano ortográfico de la red de túneles del Templo 11 elaborado por KU-Toppan en el cual están representados los niveles de profundidad por medio de un gradiente de color.	74
Fig. 3.	Modelo 3D en perspectiva de los túneles debajo del Templo 11.	75
Fig. 4.	Modelo 3D en perspectiva de los túneles debajo del Templo 11 mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.	75
Fig. 5.	Modelo 3D del perfil norte-sur de los túneles debajo del Templo 11 con la superficie de la escalinata.	75
Fig. 6.	Modelo 3D del perfil norte-sur de los túneles debajo del Templo 11 mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.	76
Fig. 7.	Modelo 3D de la red de túneles alrededor de Margarita.	76
Fig. 8.	Modelo 3D de la red de túneles alrededor de Margarita mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.	77
Fig. 9.	Mapa preliminar del área de colapsos en el nivel 2 de la red de túneles del PIAT (Cortesía de IHAH).	77
Fig. 10.	Equipo del escaneo 3D con láser FARO Focus 3D X330HDR (Cortesía de Toppan Printing, Co. Ltd.)	80
Fig. 11.	Cálculo de la longitud de los túneles I-6 e I-28.	81
Fig. 12.	Cálculo de la longitud de los túneles debajo del Templo 11.	81
Fig. 13.	Proceso de poligonalización	87
Fig. 14.	Red de túneles después de la poligonalización.	87
Fig. 15.	Red de túneles dividida en 31 secciones.	87
Fig. 16.	Mapa creado por el Zeb Revo RT (izquierda), por el Faro Focus 3D X330HDR (derecha).	93
Fig. 17.	Proyección ortogonal desde arriba de la red de túneles alrededor de Margarita mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.	94
Fig. 18.	Proyección ortogonal desde arriba de la red de túneles alrededor de la piedra Xukpi mostrando abajo la tumba de Margarita en azul y las gradas de acceso en verde a través de un gradiente de color.	94
Fig. 19.	Vista desde otro ángulo de la Fig. 18 a través de un gradiente de color.	94
Fig. 20.	Proyección ortogonal en imagen de espejo desde abajo del área alrededor de las tumbas de Hunal y Margarita.	95
Fig. 21.	Vista de perfil de la red de túneles alrededor de las tumbas de Hunal y Margarita.	95

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografías 1 y 2.	Túneles debajo del Templo 11 consolidados en la época de Carnegie	72
Fotografía 3.	Túnel del Templo 11 sin consolidación, posiblemente huella del colapso	73
Fotografía 4.	Área del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.	78
Fotografía 5.	Estado del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.	78
Fotografía 6.	Medición preliminar en el sector del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.	78
Fotografía 7.	Vista general de un túnel sin consolidación en el área del PIAT.	78
Fotografía 8 (izquierda).	Vista general del trabajo de escaneo 3D dentro de un túnel.	79
Fotografía 9 (derecha).	Otro equipo utilizado en la documentación 3D del mascarón de Yehnal.	79
Fotografía 10.	Ejemplos de marcadores (targets) puestos en uno de los túneles del PIAT.	79

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Cálculo de la longitud de los túneles debajo del Templo 11.	82
Tabla 2.	Calculo de la longitud de los túneles I-6 e I-28.	83

CAPÍTULO I: Medición 3D de la red de túneles excavada en
la Acrópolis de Copán: metodología y resultados

Introducción¹

El Sitio Maya de Copán es una de las ciudades antiguas más representativas de la Civilización Maya Clásica que se extendió desde el sur de México hasta el occidente de Honduras. Este sitio fue registrado como el Patrimonio Cultural de la Humanidad en el listado de Sitios de Patrimonio Mundial de UNESCO en 1980.

A lo largo de siglos después de su descubrimiento, este sitio arqueológico ha sido un lugar en el cual se han enfocado exploraciones e investigaciones arqueológicas, principalmente por parte de equipos de universidades y museos extranjeros. A partir de la primera mitad del siglo 20, los investigadores adoptaron la metodología de excavar dentro de las ruinas mismas una red de túneles que, en todo lo posible, evitaba tocar la última etapa de estas construcciones prehispánicas. Tomando en consideración la particular característica de las construcciones

de los antiguos mayas en las que se construía una estructura encima de otra estructura previamente construida modificándola o rellenándola (ver Fig. 1), esta metodología de excavar túneles fue en ese entonces considerada adecuada y se estableció como la única manera eficaz de hacer una investigación arqueológica de estas estructuras superpuestas. Actualmente esta metodología de túneles para la excavación en los sitios mayas es muy común, sobre todo en la arqueología de las tierras bajas mayas (ver Garrison et al. 2016).

Sin embargo, Rudy Larios considera que además de la característica superposición de estas construcciones prehispánicas mayas, en el momento de decidir sobre esta metodología también se debe tomar en cuenta el problema de la conservación, puesto que ya en la década de 1930 el Instituto Carnegie de los EE.UU. había cortado y destruido construcciones prehispánicas de grandes dimensiones en sitios mayas en Guatemala tales como Uaxactún

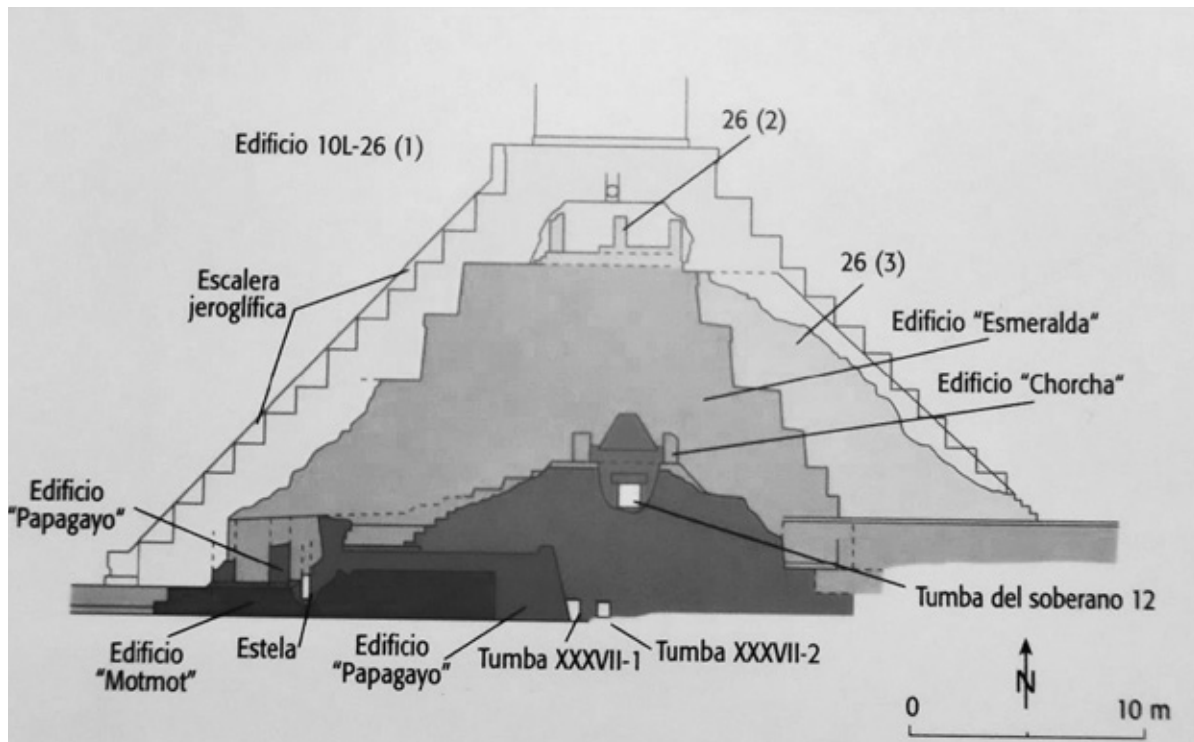


Fig. 1. Perfil del Templo 26 según Fash 2001, etc.

¹ Este capítulo es una versión revisada y modificada del Informe de una consultoría realizada en 2018 y presentado al Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAIH) en diciembre de ese mismo año por el autor (Nakamura 2018).

y Kaminaljuyú al hacer excavaciones usando la metodología de trincheras (Kidder, A.V. et al. 1946; Larios 2018; Smith 1950).

La difusión de esta metodología de excavación en Copán podría haber sido un reflejo negativo imprevisto de la ambigüedad que existe en el reglamento de las investigaciones arqueológicas que se llevan a cabo a través de túneles. En Copán, si la excavación de una trinchera o de un pozo en una investigación arqueológica llega a tocar la última etapa de construcción de una estructura prehispánica de gran tamaño, el contrato de investigaciones arqueológicas obliga al arqueólogo a estabilizar, consolidar, restaurar, y conservar dicha estructura. Sin embargo, en el caso de un túnel, si la última capa de construcción de una estructura no llega a tocarse, entonces no hay una obligación contractual. Esta particular forma de entender el reglamento le ahorra mucho tiempo y mucho dinero al arqueólogo a cargo que no va a hacer ningún trabajo de consolidación. Obviamente, este razonamiento es falaz e inaceptable ya que aun cuando la investigación se llevara a cabo excavando túneles, la estabilización, la consolidación, la preservación y el posterior relleno junto con un reporte anual documentando y detallando los túneles excavados tendría que ser obligatorio. Entre arqueólogos existe un principio que no está escrito

pero que es comúnmente aceptado: quien hace una excavación debe también rellenarla.

Antecedentes

Las primeras excavaciones de túneles en Copán fueron llevadas a cabo entre 1936 y 1942 en la parte norte de la Acrópolis, debajo del Templo 11 (Estructura 10L-11) y dentro del Templo 26 (Estructura 10L-26), y en el centro de la Acrópolis, dentro del Templo 16 bajo el auspicio del Instituto Carnegie (Estructura 10L-16) (ver Bell 2007: 113-114, Longyear 1952: 4-6). Estos túneles, sin embargo, fueron muy modestos en proporción al tamaño de las estructuras y no superaron una longitud de 150m. En caso de los túneles 1 y 3 debajo del Templo 11, la red de túneles fue consolidada correctamente (Fotografías 1 y 2).

A continuación, en 1978, durante la primera fase del Proyecto Arqueológico Copán (PAC I), otra red de túneles fue excavada por el arqueólogo Georges F. Guillemin en el Corte Arqueológico (Operación I-5, I-6, y I-7; Bell 2007: 121-123). Aparentemente Charles Cheek (y si no fue él, habría sido alguien del PAAC) extendió en pequeña escala los túneles debajo del Templo 11 previamente excavados por el equipo de Carnegie, pero esta vez dejó esta parte



Fotografías 1 y 2. Túneles debajo del Templo 11 consolidados en la época de Carnegie



Fotografía 3. Túnel del Templo 11 sin consolidación, posiblemente huella del colapso

sin consolidación alguna (Fotografía 3). En 2011 las partes no consolidadas en los túneles del Templo 11 fueron atendidas por la Asociación Copán.

Así, en la década de 1980 ya existía en Copán una red de túneles, no obstante, su dimensión en proporción con el tamaño de las estructuras prehispánicas no era excesiva. Sin embargo, esta situación cambió drásticamente con el inicio del Proyecto Arqueológico Acrópolis de Copán (PAAC).

El promotor y director general del PAAC fue William L. Fash, actualmente profesor de la Universidad de Harvard. Fash invitó como codirector de este proyecto a Robert J. Sharer del Museo de la Universidad de Pennsylvania (quien murió en 2012) para que se encargara de la dirección de la investigación de la parte este de la Acrópolis con el Programa de Investigación de la Acrópolis Temprana (PIAT). Junto con el otro codirector del PAAC, Ricardo Agurcia, arqueólogo hondureño de la Asociación Copán, dividieron la investigación en tres sectores: Fash y el equipo de Harvard se quedaron a cargo de la investigación del Templo 26 (Estructura 10L-26), Agurcia y el equipo de la Asociación Copán se quedaron a cargo de la investigación del Templo 16 (Estructura 10L-16) y Sharer y el equipo del Museo de Pennsylvania se encargaron del resto de la parte este de la Acrópolis, específicamente de la parte baja.

Cabe mencionar que Fash invitó también a Rudy Larios, arquitecto guatemalteco y restaurador independiente, y a Willys Andrews V de la Universidad de Tulane también como codirectores del PAAC. Andrews y su equipo trabajaron en el sector del Cementerio (al sur de la Acrópolis) y no participaron en la excavación de dentro de la Acrópolis. Rudy Larios fue el codirector del PAAC responsable de la restauración y estabilización de las estructuras en la Acrópolis.

Además de Oscar Cruz, el representante de la Regional Occidente del IHAH de ese entonces, y supervisor del PAAC por parte de la misma, el ya mencionado arqueólogo hondureño, Ricardo Agurcia, también se desempeñó como supervisor. Se desconoce si Agurcia fue el supervisor asignado por IHAH durante todo el tiempo que duró el PAAC (de 1988 a 1996) ya que la relación entre Agurcia e IHAH cambiaba con cada cambio en la gerencia de ésta última (Victor Cruz: 1988 a 1990; José María Casco: 1990 a 1994; Olga Joya: 1994 a 2002).

La longitud y volumen de la red total de túneles excavados por el PAAC no se han establecido aún debido a la falta de documentación adecuada de estos túneles. Larios asegura que existen más de 5,000 dibujos de estos túneles y de las estructuras descubiertas (Larios 2018: 2), pero, según nuestras averiguaciones, esos dibujos no se encuentran en los archivos del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA) del IHAH en Copán Ruinas.

Nadie sabe cuántos kilómetros y cuantos metros cúbicos fueron en realidad excavados. Larios escribe: “Esta forma de investigación (es decir, excavación por túneles) se siguió aplicando en los proyectos posteriores alcanzando ya para 1996 varios kilómetros y algo como 5,000 dibujos, más lo publicado por los proyectos anteriores.” (Larios 2018: 2). Actualmente, basándose en el estudio de Laura Lacombe de la Universidad de Harvard, la Regional del IHAH en Copán Ruinas maneja una

cifra aproximada de 3.2 km excavados (Guerra y López 2017). En una comunicación oral, Sharer le comentó a Nakamura que cuando fue asignado por IHAH como Director del Programa Integral de Conservación del Parque Arqueológico Copán (PICPAC) en 1999, programa cuyo objetivo principal fue el de atender el problema que estos túneles representaban, la cifra aproximada que manejaban era de 3 km de longitud de excavación y 1.5 km de longitud de área abierta todavía en ese entonces. Sin embargo, esta cifra parece corresponder solamente con su programa, el PIAT. Por otro lado, Bell escribe en su tesis de doctorado que la longitud total de las excavaciones llevadas a cabo durante el PAAC es de 4.2 km (Bell 2007: 143).

Para determinar la longitud de estos túneles de manera objetiva y científica, la única solución posible es hacer un levantamiento tridimensional (3D) de la red de los túneles con equipo especializado. Laura Lacombe de la Universidad de Harvard trabajó arduamente durante varios años para documentar estos túneles. Utilizando una estación total y el programa de AutoCAD, para 2017 finalizó el levantamiento de los túneles de los Templos 16 y 26 (Fash, B. y W. L. Fash 2015: 8-9; Fash, W. L. et al. 2017: 1; Lacombe 2018), pero dejó fuera la extensa red de los túneles excavados por PIAT. La

metodología usada por Lacombe con la estación total consume demasiado tiempo y no parece ser tan efectiva dentro de una compleja red de túneles como un levantamiento 3D. Se hace necesaria otra metodología definida dentro de los Términos de Referencia (TOR) de este proyecto con el fondo nacional de Honduras.

Problemática

Aunque el mapa poligonal de los túneles del Templo 11 elaborado por Laura Lacombe con la estación total a través de AutoCAD es muy exacto, aun en comparación con el mapa elaborado por nuestro equipo (KU-Toppan) por medio de una nube de puntos y con la última tecnología de escaneo 3D y un LiDAR fijado en un trípode (Fig. 2),

las principales diferencias entre las dos metodologías — la de Lacombe y la que aquí se presenta — son el tiempo consumido y la posibilidad de obtener instantáneamente toda la información requerida, por ejemplo, las vistas desde diferentes ángulos del mapa 3D (Figs. 3, 4, 5 y 6).

En cuanto a ese primer punto, es precisamente porque trabajar con una estación total consume mucho tiempo que Lacombe no logró medir la

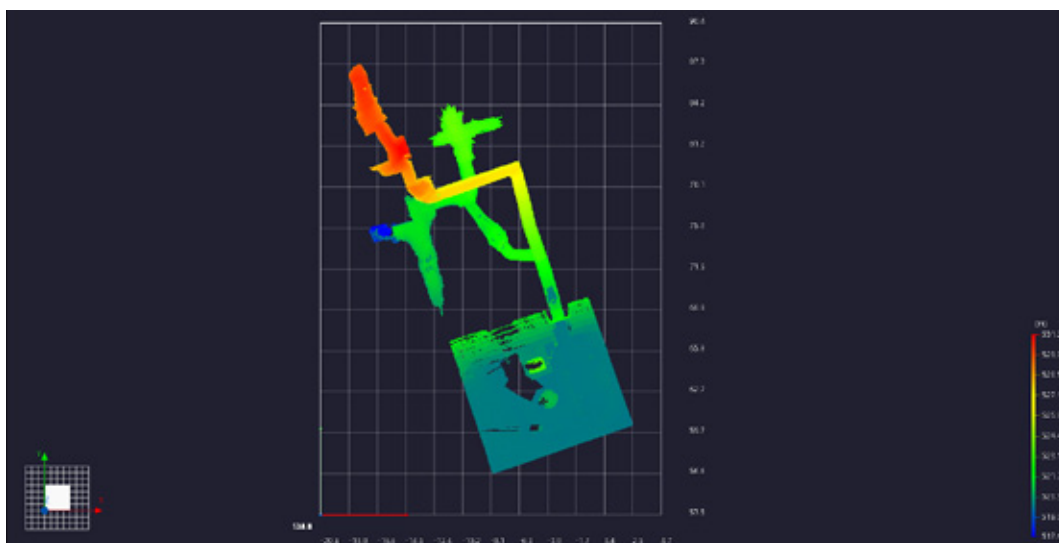


Fig. 2. Plano ortográfico de la red de túneles del Templo 11 elaborado por KU-Toppan en el cual están representados los niveles de profundidad por medio de un gradiente de color.

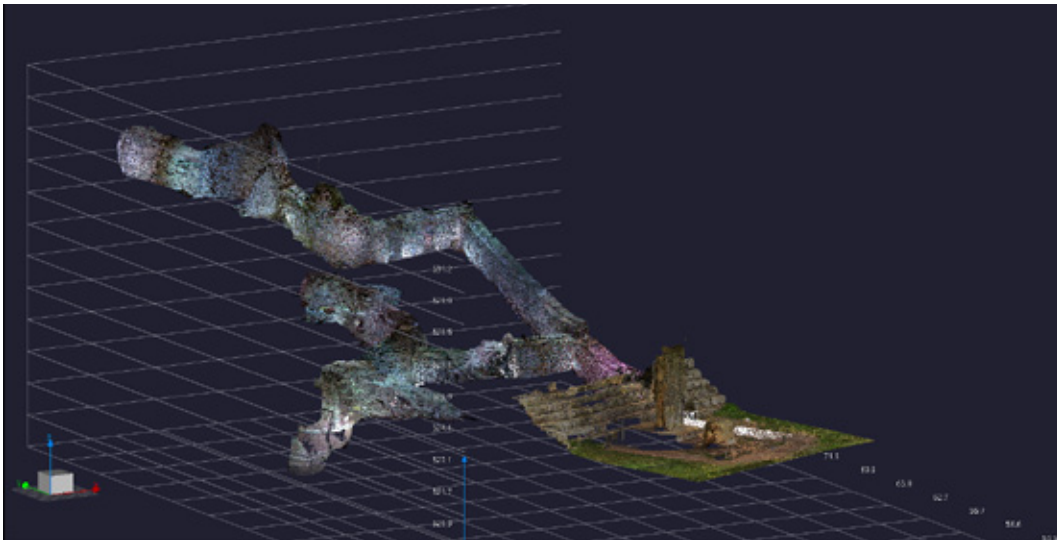


Fig. 3. Modelo 3D en perspectiva de los túneles debajo del Templo 11.

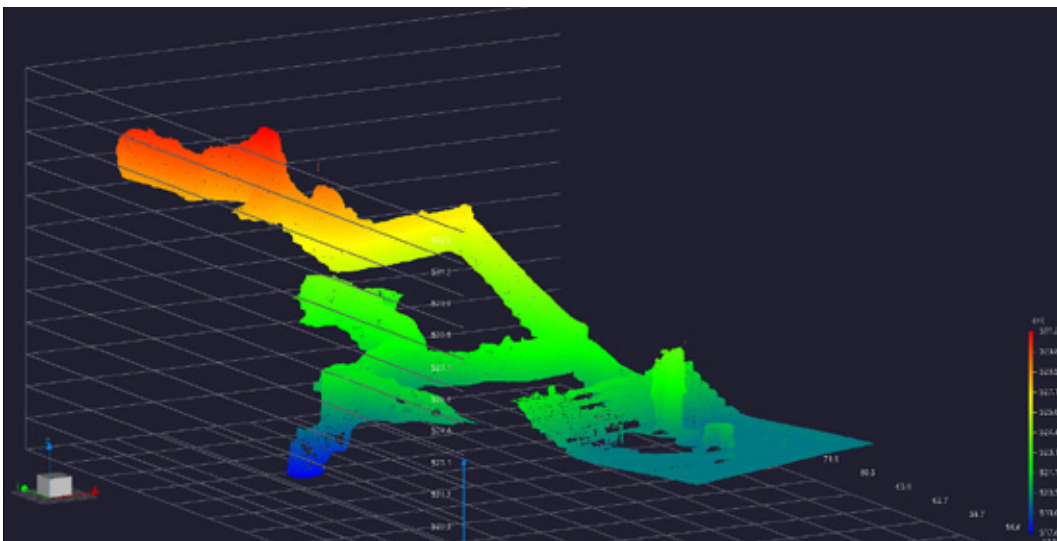


Fig. 4. Modelo 3D en perspectiva de los túneles debajo del Templo 11 mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.

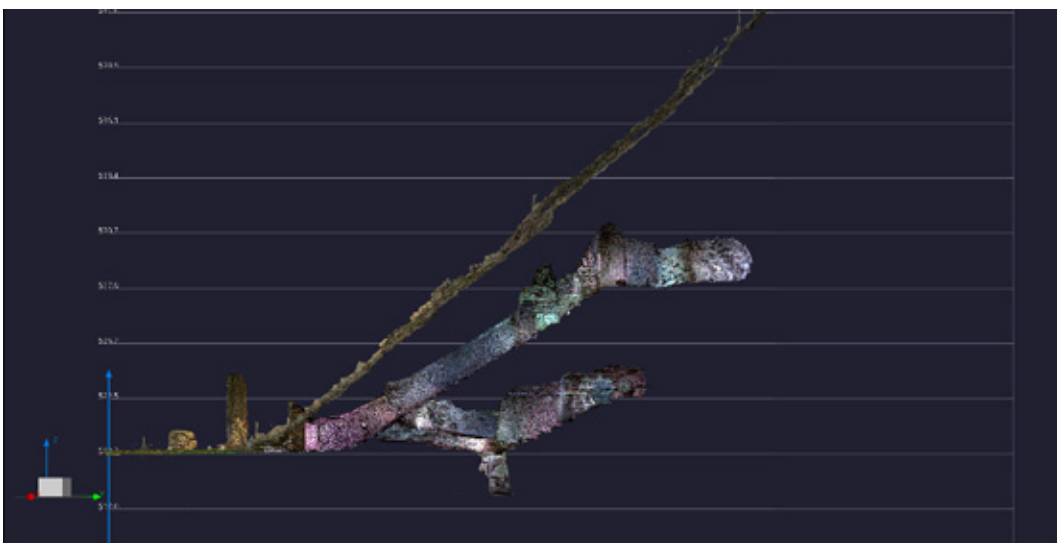


Fig. 5. Modelo 3D del perfil norte-sur de los túneles debajo del Templo 11 con la superficie de la escalinata.

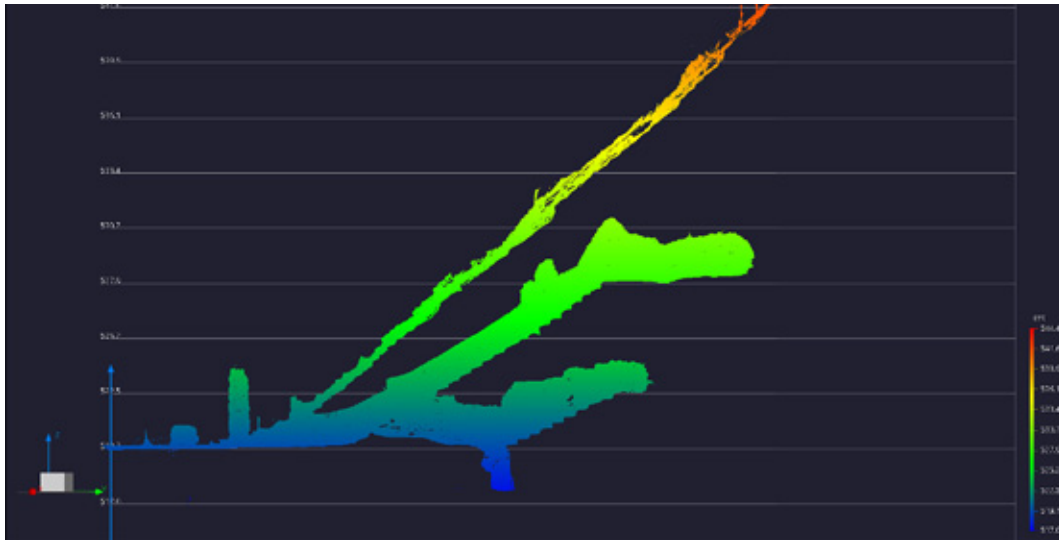


Fig. 6. Modelo 3D del perfil norte-sur de los túneles debajo del Templo 11 mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.

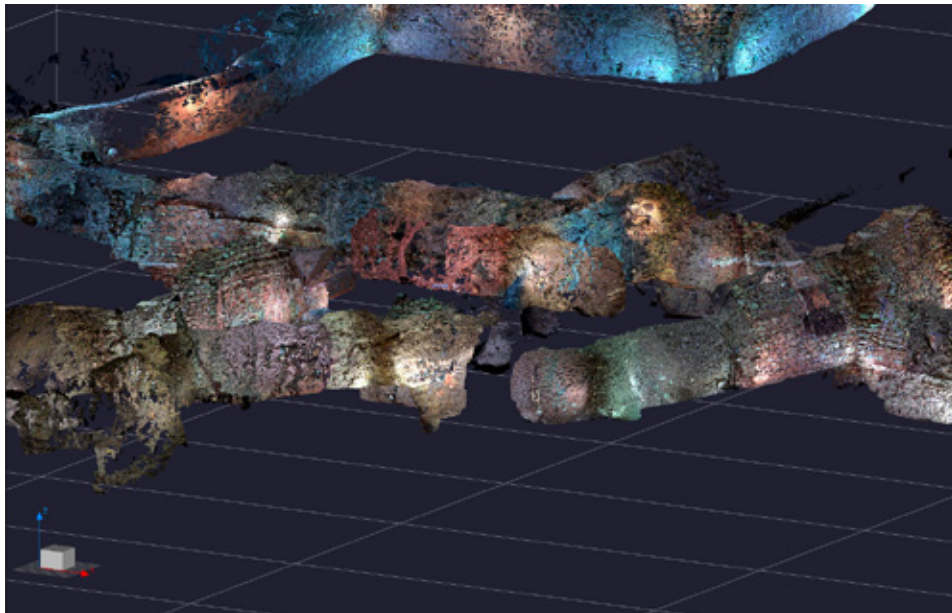


Fig. 7. Modelo 3D de la red de túneles alrededor de Margarita.

parte esencial de la red de los túneles dentro de la Acrópolis, es decir, la compleja red de túneles excavados en la parte este de la Acrópolis. La extensa red de los túneles excavados por los investigadores de PIAT es demasiado compleja para una estación total porque se asemeja a un nido de hormigas hecho sin dirección ni planificación (ver Figs. 7 y 8).

Siguiendo el punto de vista de un arqueólogo profesional y un ingeniero que trabajan en el interior de estos túneles, no deja de sorprender

que este tipo de excavaciones sin consolidación ni relleno posterior fuera realizado en un Sitio de Patrimonio Mundial. El problema es que esta falta de consolidación ha dado paso a colapsos y hundimientos de mayor y de menor magnitud dentro de los túneles, y ahora es imposible garantizar condiciones seguras para investigadores y personal técnico.

La Regional del IHAH en Copán Ruinas maneja un mapa preliminar (Fig. 9) en donde se han identificado áreas de la red de túneles como cancelada

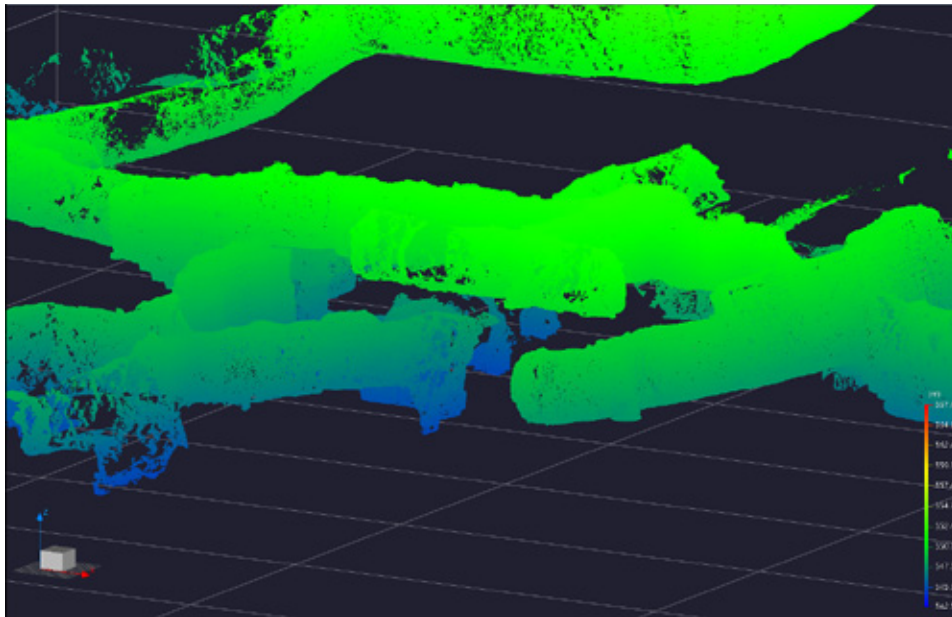


Fig. 8. Modelo 3D de la red de túneles alrededor de Margarita mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.

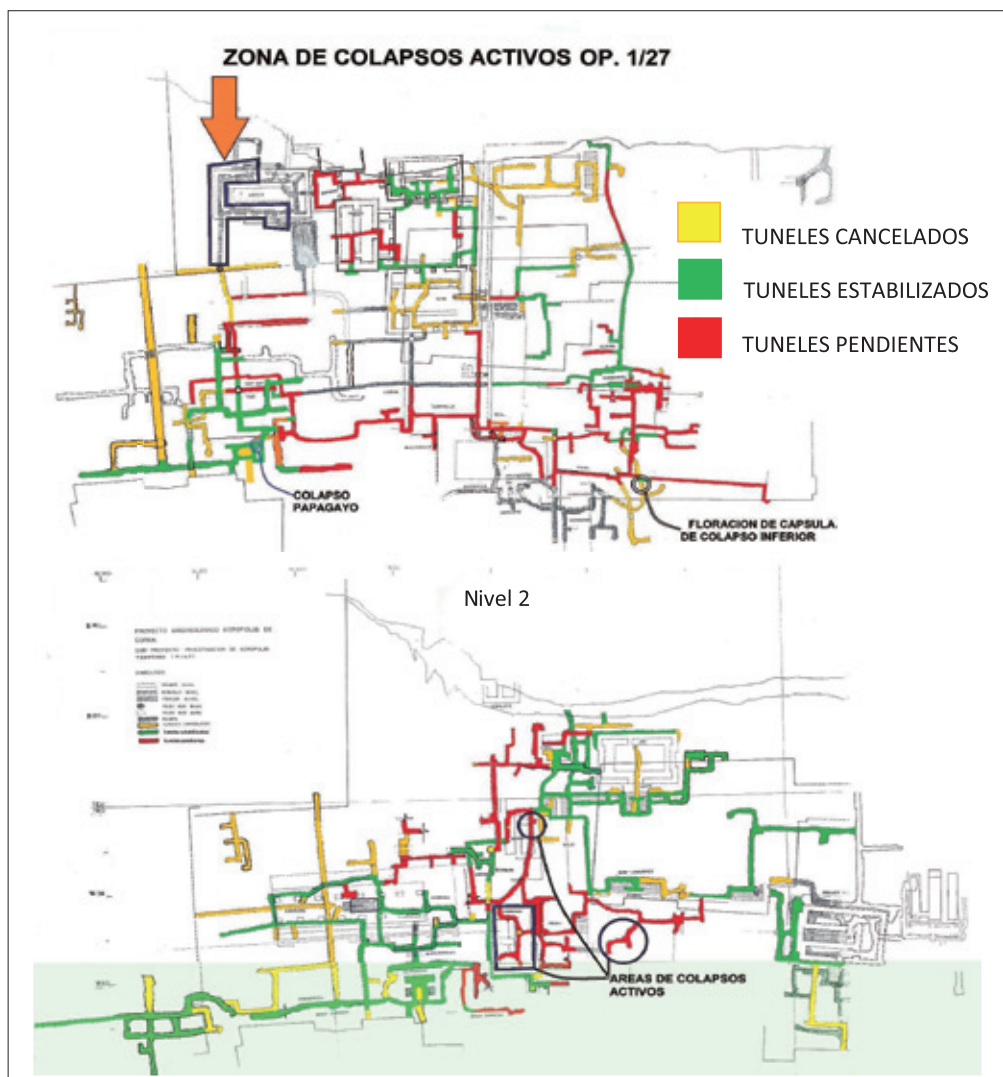


Fig. 9. Mapa preliminar del área de colapsos en el nivel 2 de la red de túneles del PIAT (Cortesía de IHAH).



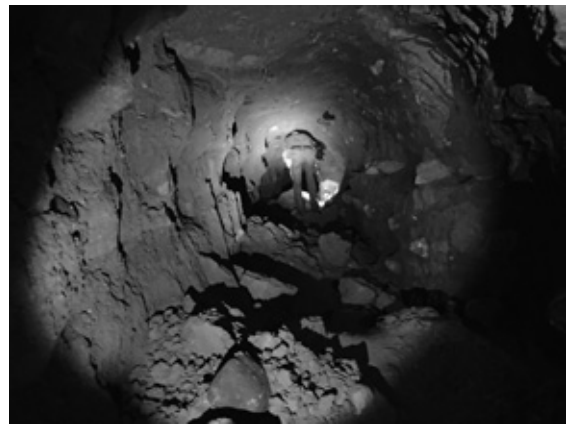
Fotografía 4. Área del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.



Fotografía 6. Medición preliminar en el sector del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.



Fotografía 5. Estado del colapso del túnel I-27 en Septiembre de 2017.



Fotografía 7. Vista general de un túnel sin consolidación en el área del PIAT.

con relleno, estabilizada y de colapsos activos. Sin embargo, según nuestra inspección en el campo, algunos sectores cancelados fueron simplemente rellenados con piedras secas mientras que a otros solamente han sido cerrados y han bloqueado su acceso. Sectores catalogados como estabilizados no siempre coinciden con nuestras observaciones. No se sabe con ningún grado de certeza el estado actual de la red, y el trabajo de la medición 3D podría aclarar esta situación.

En septiembre de 2017 los autores entraron en el túnel I-27, en una zona de colapsos activos en el área de Águila, para realizar un trabajo preliminar de escaneo 3D (ver Fig. 9 y Fotografías 4, 5 y 6). Actualmente, los materiales colapsados ya fueron sacados de este túnel por la Dra. Loa Traxler. Sin embargo, mientras no se realice el trabajo de consolidación de este lugar, el riesgo de colapsos

durante la temporada lluviosa seguirá presente.

La situación actual de la red de los túneles de PIAT no permitió la entrada a algunos sectores de dicha red. El equipo de KU-Toppan tuvo que realizar el trabajo de recolección de información bajo estas condiciones y limitaciones (Fotografía 7).

Metodología de la medición 3D

De acuerdo con los TOR, se requería medir una muestra de un túnel con más de 400m de longitud para alcanzar el objetivo de tener un diagnóstico confiable que pudiera cubrir la totalidad de la red. Se decidió seguir la siguiente metodología:

1. Usando el equipo de escaneo 3D —un LiDAR terrestre de la marca FARO apoyado en un trípode— medir detalladamente la forma de la red



Fotografía 8 (izquierda). Vista general del trabajo de escaneo 3D dentro de un túnel.
Fotografía 9 (derecha). Otro equipo utilizado en la documentación 3D del mascarón de Yehnal.

de los túneles de investigación excavados por el PAC I y por el PIAT del PAAC por el Museo de la Universidad de Pennsylvania (I-6 y I-28) y el túnel debajo del Templo 11 excavado por el Instituto Carnegie y Cheek. Se seleccionó esta metodología y se eligieron los sectores para obtener medidas de túneles excavados por las diferentes instituciones: el túnel debajo del Templo 11 por el Instituto Carnegie, el túnel I-6 por el PAC I y el túnel I-28 con las estructuras Margarita y Yehnal por el PIAT del PAAC. La longitud total de la medición sería más de 400m y estaría de acuerdo con los TOR (Fotografías 8 y 9).

Esta metodología garantiza la recabación de información diagnóstica de los túneles de cada período de investigación en Copán durante los últimos 85 años. También permite el reconocimiento de las características de cada uno, algo que a su vez va a permitir el diseño de una estrategia mejor informada para poder atender el problema de los colapsos en los túneles.

2. Tomando en cuenta el control de calidad y la fiabilidad de la información que se iba a recolectar, aun cuando el láser que iba a ser utilizado tenía un rango que alcanzaba la marca de 330m, se ubicaron

puntos de escaneo por lo menos cada 40m. Sobre todo, se tuvo mucho cuidado de verificar que el láser alcanzara la pared del túnel en la oscuridad.

3. Se colocaron marcadores temporales 3D (targets) de acuerdo con la distancia entre los puntos de escaneo para ser utilizados con los programas computacionales de posprocesamiento (Fotografía 10).



Fotografía 10. Ejemplos de marcadores (targets) puestos en uno de los túneles del PIAT.

Así como se mencionó más arriba, en ciertos lugares no se pudo instalar el equipo de escaneo debido a la falta de consolidación o a hundimientos del terreno que representaban un riesgo en la seguridad de los investigadores y del personal técnico. El levantamiento 3D de estos sectores habrá de ser realizado con una metodología diferente que se explicará en el capítulo de propuestas para el futuro.

Equipos usados para la medición 3D y sus especificaciones técnicas

De acuerdo con los TOR, se utilizó un LiDAR terrestre fijo de la marca FARO apoyado en un trípode durante la etapa de escaneo y se utilizaron computadoras con procesadores potentes y programas especializados, para el proceso gráfico 3D y para la producción de un video de un recorrido virtual del interior del túnel. Trabajar en conjunto con Toppan Printing, Co. Ltd. fue conveniente en esta fase puesto que Toppan proporcionó todo el equipo necesario para este proyecto.

Las especificaciones técnicas para el equipo utilizado, un LiDAR FARO Focus 3D X330HDR, se detallan a continuación (ver también Fig. 10):

- Tamaño del paso de la unidad de deflexión (vertical / horizontal): 0.009° (40,960 3D-Pixel on 360°) / 0.009° (40.960 3D-Pixel on 360°)
- Campo visual (vertical / horizontal): 300° / 360°
- Rango de error: ± 2mm*
- *definido como un error sistemático de la medición alrededor de 10m y 25m, 1 sigma (σ).
- Compensador de eje dual incorporado**
- **Niveles para cada escaneo : Exactitud 0.015°; Rango ± 5°
- Capacidad de poder grabar simultáneamente el valor del color del punto (R, G, B) y su posición (X, Y, Z).
- Alto Rango Dinámico en la captura fotográfica
- Scene LT, un programa gratuito proporcionado



Fig. 10. Equipo del escaneo 3D con láser FARO Focus 3D X330HDR (Cortesía de Toppan Printing, Co. Ltd.)

por FARO para ver los datos.

Este equipo de escaneo fue calibrado por el fabricante antes de ponerlo en uso, en abril de 2018, para asegurarse de que estuviera en perfectas condiciones.

Recursos humanos usados durante las mediciones

La Universidad de Kanazawa (KU) y Toppan Printing Co. Ltd. suministraron el personal profesional y con experiencia que era necesario para este proyecto. Durante la fase de medición en el campo el Ing. Takahiro Handa de Toppan, ingeniero especialista en topografía, se encargó de la recolección de información. Junto a un equipo de experimentado asistentes y un traductor/coordinador nombrado por KU, trabajó bajo la supervisión, orientación y dirección de Seiichi Nakamura de KU.

El trabajo de procesamiento de toda la

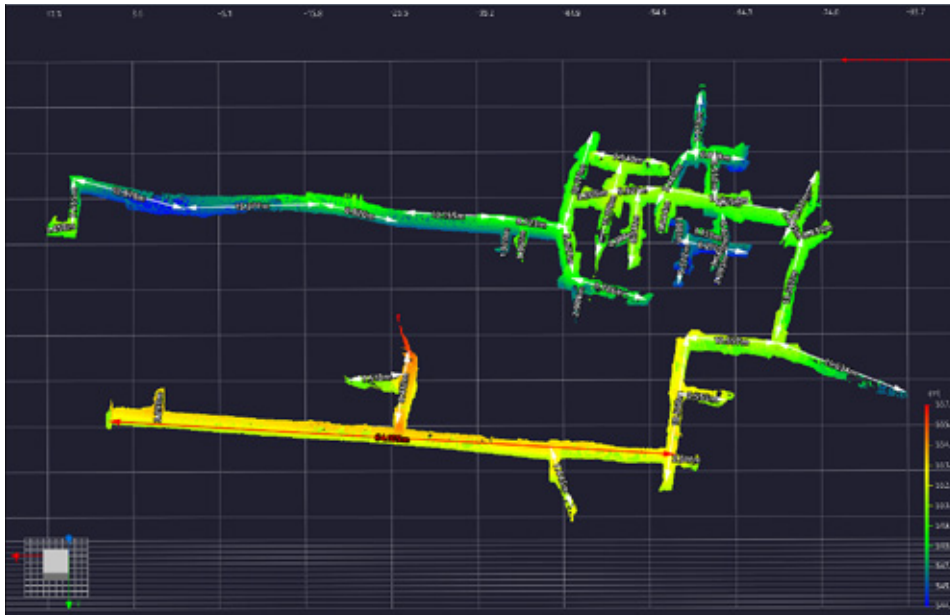


Fig. 11. Cálculo de la longitud de los túneles I-6 e I-28.

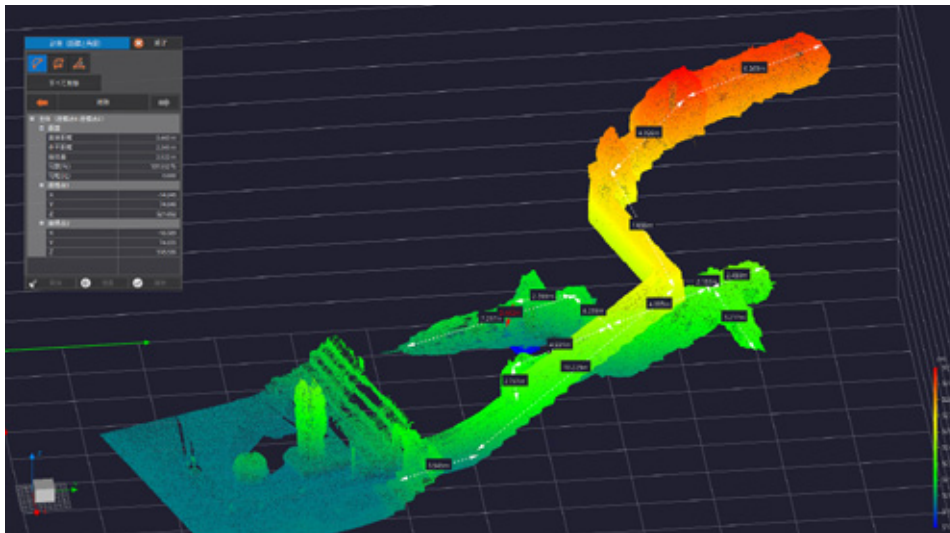


Fig. 12. Cálculo de la longitud de los túneles debajo del Templo 11.

información que siguió y la producción de un video de un recorrido virtual del interior del túnel que fue hecho con programas computacionales especializados fueron llevados a cabo por ingenieros expertos de Toppan en Japón. KU y Toppan también suministraron todo el personal profesional necesario — expertos en modelado 3D, en programación 3D y en cálculo de volúmenes — para esta siguiente fase del proyecto.

Resultado de la medición y la metodología del procesamiento de los datos obtenidos en el campo²

1. Recolección de datos

La información recolectada con el equipo de escaneo laser 3D fue grabada y guardada como *datos originales de la nube de puntos* en el formato propietario del fabricante del equipo. Cada punto registrado como parte de la nube de puntos contenía la información de las coordenadas (X, Y, Z) de la

² La explicación de esta sección fue elaborada por Toppan Printing Co. Ltd.

posición y la información (R, G, B) del color.

2. Generación de *datos fusionados*

Usando un Sistema unificado de coordenadas, los *datos originales de la nube de puntos* se fusionaron para obtener un solo dato registrado como un punto con el programa computacional FARO Scene, distribuido por el fabricante del equipo.

3. Generación de *datos filtrados*

Los *datos fusionados* fueron exportados como un archivo genérico XYZ. Para conseguir que la superficie del túnel y de las estructuras expuestas fuera desplegada en una manera limpia y clara, se aplicó un algoritmo de reducción de ruido a los *datos fusionados* con el programa Trend Point, un programa diseñado por Fukui Computer Systems de Japón para editar información guardada en una nube de puntos.

4. Generación de *datos reducidos*

Trend Point es capaz de reducir el número de puntos en la nube de puntos a través de múltiples algoritmos; el algoritmo de ecualización de la densidad de puntos se aplicó antes y después de la ejecución de una simple reducción espacial. La reducción de volumen fue fijada arbitrariamente, pero apuntando a un resultado de menos de 10 millones del aproximado un mil millones de puntos que incluían los *datos originales de la nube de puntos*.

Después de haber aplicado este algoritmo de reducción de datos a los *datos filtrados* fue posible generar una nube de puntos que no excedía el límite de 10 millones de puntos para hacer que una computadora con una unidad de procesamiento de relativa baja velocidad fuera capaz de manejarla.

Los archivos digitales de las diversas etapas del proceso de reducción de puntos — desde los *datos originales* hasta los *datos reducidos* — y el video del tour virtual del interior del túnel debajo

	Distancia Diagonal [m]
1	6.968
2	4.099
3	7.055
4	2.45
5	2.153
6	3.217
7	4.033
8	4.269
9	4.991
10	10.225
11	2.761
12	2.396
13	3.443
14	7.267
15	3.545
Total	68.872

Tabla 1. Cálculo de la longitud de los túneles debajo del Templo 11.

del Templo 11 elaborado con los *datos reducidos* fueron entregados al IHAH junto con un reporte de la medida de la longitud total de una sección de la red de túneles que sobrepasaba los 400m, tal como estipulaban los TOR del proyecto (Figs. 11 y 12, Tablas 1 y 2).

El siguiente paso en este proyecto es la generación de un modelo poligonal 3D de la red de túneles y el cálculo de su longitud y volumen total. Una segunda fase se hace necesaria como continuación de lo que se ha hecho hasta ahora para usar la información acumulada en:

1. La creación de un modelo poligonal 3D de la red de túneles con programas computacionales especializados. Antes ser desplegados y mostrados por una computadora, tales modelos requieren ser procesados por algoritmos de reducción de ruido y de interpolación de los puntos ciegos con Autodesk *3ds Max*.
2. El cálculo del espacio (volumen) que ocupa esta red de túneles con el modelo poligonal creado a partir de mediciones 3D mencionado más arriba.

—El archivo XYZ debe ser convertido en un modelo 3D con programas especializados. Se

	Distancia (Diagonal) [m]	Distancia (Horizontal) [m]	Distancia (Vertical) [m]	Coordenadas, valor 1 (X, Y, Z) [m]			Coordenadas, valor 2 (X, Y, Z) [m]		
1	64.105	64.086	1.572	6.432	5.506	551.456	-57.459	10.508	553.028
2	18.568	18.541	0.99	-56.470	13.523	552.500	-58.968	-4.850	551.511
3	15.634	14.839	4.923	-83.475	-0.373	546.709	-69.030	-3.771	551.632
4	10.557	10.522	0.856	-69.159	-3.605	551.684	-58.641	-3.884	552.540
5	8.412	8.321	1.227	-26.116	7.717	554.814	-27.450	-0.497	556.041
6	7.518	6.424	3.907	-26.953	1.482	554.478	-20.689	0.063	550.571
7	7.445	7.433	0.418	-45.820	16.958	553.072	-43.466	9.907	553.490
8	13.562	13.488	1.417	-68.965	-4.301	551.652	-71.948	-17.455	550.235
9	3.437	3.434	0.159	-75.217	-18.510	550.406	-71.936	-17.496	550.247
10	2.895	2.895	0.043	-71.524	-17.399	550.272	-70.151	-19.947	550.315
11	8.517	8.477	0.828	-69.831	-17.277	549.828	-73.540	-24.899	550.656
12	14.717	14.692	0.858	-70.462	-20.177	550.374	-55.984	-22.676	551.233
13	5.921	5.917	0.219	-55.705	-22.632	551.299	-49.809	-22.133	551.518
14	3.206	3.194	0.279	-49.766	-22.111	551.525	-46.592	-21.753	551.245
15	11.179	11.117	1.173	-48.685	-15.032	550.098	-51.564	-25.769	551.271
16	7.94	7.939	0.146	-56.184	-25.718	551.235	-48.328	-26.860	551.381
17	8.808	6.593	1.697	-65.406	-28.840	546.340	-58.813	-28.807	548.037
18	7.44	7.432	0.335	-59.088	-29.117	547.935	-55.462	-22.629	547.600
19	8.786	8.688	1.306	-54.304	-11.268	547.385	-45.837	-13.217	548.691
20	5.527	5.458	0.873	-45.991	-13.540	549.258	-45.093	-18.923	550.130
21	12.171	12.114	1.171	-45.093	-18.923	550.130	-48.260	-30.616	548.959
22	7.665	7.181	2.654	10.234	-25.602	548.390	10.404	-18.423	551.044
23	3.456	2.864	1.934	10.404	-18.423	551.044	13.207	-19.011	549.110
24	8.211	8.21	0.101	-57.632	-19.261	545.988	-65.683	-17.651	546.089
25	1.881	1.651	0.902	-58.016	-20.732	547.460	-58.002	-19.081	546.558
26	5.522	5.298	1.555	-59.053	-19.189	547.399	-57.907	-14.017	545.844
27	7.97	7.952	0.527	-60.465	-36.131	547.754	-59.935	-28.197	547.227
28	1.92	1.92	0.006	-38.457	-19.424	547.181	-38.215	-17.519	547.175
29	3.961	3.901	0.689	-40.334	-18.865	549.050	-40.120	-14.970	549.739
30	12.878	12.679	2.253	10.224	-25.576	548.329	-2.214	-23.113	546.076
31	15.377	15.192	2.378	-2.296	-23.147	546.193	-17.465	-22.304	548.571
32	8.82	8.645	1.748	-17.707	-22.247	548.757	-26.262	-21.004	547.008
33	3.293	3.118	1.062	0.670	3.109	553.619	0.910	6.218	552.557
34	5.555	5.404	1.286	-57.815	3.229	553.179	-63.217	3.361	551.893
35	4.254	3.917	1.66	-66.007	-22.522	549.120	-62.114	-22.953	547.460
36	6.552	6.512	0.725	-62.104	-22.999	547.924	-62.041	-29.510	547.199
37	4.421	3.599	2.568	-62.945	-21.237	548.183	-63.321	-17.658	545.615
38	3.295	3.219	0.706	-63.293	-17.644	545.583	-62.189	-14.621	544.877
39	3.153	2.281	2.177	-60.111	-18.855	548.836	-62.352	-19.286	546.659
40	3.561	3.513	0.581	-61.808	-15.129	547.473	-63.275	-18.321	548.054
41	3.644	3.285	1.579	-56.703	-21.552	550.830	-55.915	-18.363	549.251
42	8.911	8.812	1.321	-52.522	-13.751	549.981	-53.466	-22.512	551.302
43	2.974	2.924	0.54	-46.844	-12.880	546.480	-46.378	-9.993	547.020
44	4.217	2.581	3.335	-50.174	-17.829	547.784	-52.712	-17.359	551.119
45	2.517	2.418	0.699	-57.572	10.883	552.862	-59.982	10.681	552.163
46	10.155	10.129	0.725	-26.929	-21.501	548.211	-37.056	-21.279	547.486
47	8.723	8.699	0.641	-37.048	-21.292	547.487	-45.590	-19.647	548.128
Total	399.231	387.508	58.749						

Tabla 2. Cálculo de la longitud de los túneles I-6 e I-28.

espera que se introduzca ruido informático y que aparezcan agujeros abiertos que se muestren como superficies abiertas en los datos convertidos después de la manipulación digital, pero esto puede ser eliminado con el programa de conversión poligonal.

Si fuera necesario, si el programa de conversión no fuera capaz de manejar casos muy complejos de ruido o de agujeros, entonces ingenieros especializados en modelos 3D van a realizar la operación manualmente.

— Todos los agujeros abiertos del modelo — tal como la entrada del túnel — deben ser cerrados con *3ds Max*, el programa de modelaje 3D que se ha utilizado, antes de proceder a realizar el cálculo del volumen con ese mismo programa.

Propuestas para el futuro

Tal como se ha explicado, de acuerdo con los TOR, el levantamiento 3D y la medición de la red de túneles que se ramificaban a partir del túnel I-6 que sobrepasaba los 400m de longitud se ha finalizado. Sin embargo, la experiencia y la evidencia es contundente: la mejor forma para replicar este estudio en la compleja red de túneles en Copan es a través de la tecnología SLAM (Simultaneous Localization and Mapping Technology) y haciendo uso de un LiDAR terrestre portátil y móvil. Para eventualmente suplir esta necesidad en un futuro proyecto, Toppan posee ya un equipo como el que se describió y la Universidad de Kanazawa está planeando adquirir uno.

Cuando se hace una comparación con un LiDAR fijo como el que se utilizó, la ventaja de esta tecnología y de un LiDAR portátil y móvil es la significativa reducción en el tiempo que se debe invertir midiendo una red de túneles tan compleja como la de Copán. Esta tecnología no requiere de marcadores de medidas (targets) y el tiempo de trabajo de campo se reduciría aproximadamente en un 90%. En lugares donde no se pueden garantizar condiciones seguras para trabajar, en túneles que no han sido consolidados, no se recomienda trabajar por períodos extensos; la tecnología SLAM podría ser el único medio para documentar por completo la totalidad de la red de túneles y llegar a un diagnóstico de sus estado.

Hay que notar, sin embargo, que un LiDAR portátil y móvil no es capaz de capturar datos con una precisión tan alta como la de uno fijo colocado sobre un trípode.

Medidas de la integración con la información relacionada en el futuro

Si el IHAH introduce el uso de la tecnología SLAM para documentar toda la red de túneles excavada por los investigadores trabajando en el PAAC, la integración de los datos que se han recolectado durante este proyecto va a traer problemas técnicos. Aunque ambos se basan en un LiDAR, el fabricante de este otro equipo y los principios que dirigen los procesos de medición son diferentes. Un análisis de estos puntos se ha realizado y las siguientes medidas fueron tomadas.

1. Tres puntos de referencia 3D fijos fueron ubicados cerca de la entrada del túnel I-6 y en el piso de la recámara de la tumba en *Margarita* de tal manera que ambos, el LiDAR terrestre fijo y el portátil y móvil, pudieran escanearlos en la siguiente fase del Estudio Diagnóstico del IHAH en 2020. Esta metodología va a garantizar la correcta integración de datos diferentes en la forma de una nube de puntos.
2. Los datos de geolocalización del sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) de los puntos mencionados van a ser obtenidos por medio de equipo suministrado por Toppan. Esta metodología va a garantizar la correcta localización de datos 3D diferentes dentro del sistema coordinado global del Sitio Maya de Copán.

En vista de lo que se ha mencionado, todos los datos obtenidos en esta primera etapa del proyecto van a servir como punto de partida para la siguiente y última fase del estudio diagnóstico que se llevará a cabo en 2020.

CAPÍTULO II: Cálculo del volumen: prueba preliminar

Con base en los resultados de las mediciones tridimensionales hechas con un LiDAR terrestre con trípode (FARO Focus 3D X330HDR) y en el análisis posterior, se intentó en 2019 calcular el volumen de la red de túneles enfocándose en el basamento Margarita y en sus alrededores. Basada en cálculos objetivos realizados con mediciones tridimensionales tomadas con aparatos con tecnología de punta, esta prueba tenía como objetivo calcular un presupuesto inequívoco y confiable del monto real que se necesita para la atención de los trabajos de consolidación y relleno de esta red. Hay que mencionar que este cálculo se realizó con el apoyo de expertos de Toppan Printing, Co. Ltd. en Japón y Miguel Echeverría de Guatemala.

El procedimiento para realizar el cálculo del volumen se detalla a continuación:

(1) Cálculo de la distancia.

Usando la función de medición de distancia preestablecida del programa *3ds Max*, se obtuvieron la distancia de cada sector de los túneles de I-6 e I-28 así como la de los alrededores de Margarita (ver Fig. 11 y Tabla 2 del Capítulo I).

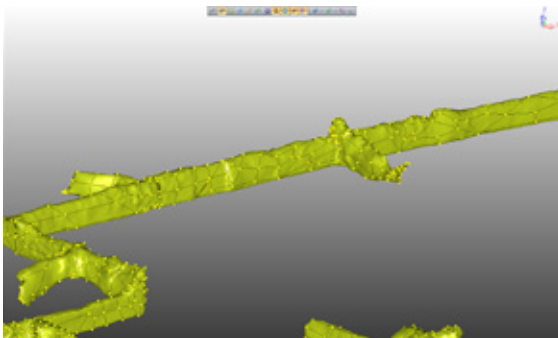


Fig. 13. Proceso de poligonización

(2) Cálculo del volumen.

El volumen de los túneles se calculó por medio de una función de medición preestablecida en el programa *3ds Max* después de haber rellenado los espacios vacíos que habían quedado en los datos medidos y de haber realizado la poligonización (Figs. 13 y 14) de los modelos 3D de los túneles utilizando otro programa, *Leios*, un programa de optimización para una nube de puntos. Para esta prueba del cálculo volumétrico, no se utilizó el modelo del túnel I-28, sólo se calculó el volumen del túnel I-6 y el de las ramas que de él se desprenden y van hacia los alrededores de Margarita.

La distancia total calculada fue de 245.20m; el volumen fue de 458.19m³. De acuerdo con esta metodología, cada metro lineal de túnel en promedio equivale a 1.9m³.

$$\frac{\text{volumen}}{\text{distancia}} = \frac{460\text{m}^3}{240\text{m}} = 1.9\text{m}^3/\text{m}$$

(3) Prueba de precisión para 3ds Max.

Un cálculo realizado por una computadora es



Fig. 14. Red de túneles después de la poligonización.

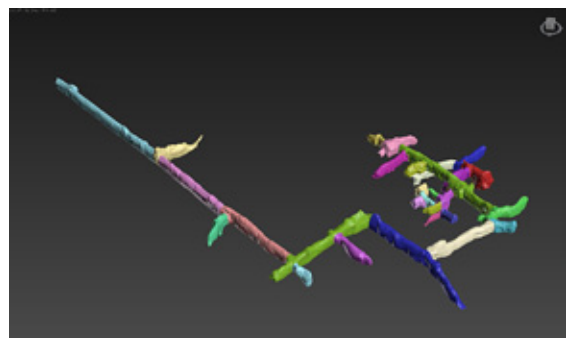


Fig. 15. Red de túneles dividida en 31 secciones.

correcto hasta cierto número de cifras. Al obligar a la computadora a ejecutar el algoritmo de cálculo de volumen por segunda vez, pero en esta ocasión con el túnel dividido de forma manual y arbitraria en 31 secciones (ver Fig. 15), se puede obtener un segundo resultado igualmente preciso. Cuando se compara con el volumen obtenido anteriormente, este segundo cálculo debe coincidir con el primero hasta la precisión permitida por las limitaciones de software, las limitaciones de la computadora y las limitaciones de las mediciones, evidenciando así las cifras confiables en los resultados.

El volumen total obtenido esta vez fue de 462.15m^3 . Este número coincide con el primer resultado del volumen cuando se redondea a la decena más cercana —es decir, 462.15m^3 y 458.19m^3 se aproximan ambos a 460m^3 —, corroborando así cálculos confiables hasta la segunda cifra.

$$\text{volumen} = 460\text{m}^3$$

$$\text{distancia} = 250\text{m}$$

$$\text{equivalencia volumen/distancia} = 1.9\text{m}^3/\text{m}$$

(4) Cálculo aproximado del costo de la consolidación y el relleno de los túneles

Si la longitud total de la red de los túneles de Copán fuera de 3.2km (estimación hecha por la Regional del IHAH en Copán Ruinas) y el 40% de dicha red necesitara de relleno o consolidación (cifra basada en el informe de Fash, Lacombe, etc. (2017: 2)), el volumen total que se necesitaría atender sería:

$$3200\text{m} \times 1.9\text{m}^3/\text{m} \times 40\% = 2400\text{m}^3$$

Si fuera necesario presupuestar 6,000 Lempiras (cálculo presentado por Fernando López al IHAH en algunas ocasiones) para atender cada metro cúbico de túnel —mano de obra, compra de materiales, flete de materiales, supervisión, administración, etc. incluidos—, la consolidación y el relleno del volumen antes calculado costaría

$$6000\text{L}/\text{m}^3 \times 2400\text{m}^3 = 14\,000\,000\text{L}$$

Es decir: 14 millones de Lempiras. Sin embargo, es necesario notar que la cifra utilizada (6,000 Lempiras por cada metro cúbico de consolidación) es en realidad considerada modesta por la Regional del IHAH en Copán Ruinas.

El problema que surge a partir de esto es el de **quién o quiénes deberían pagar estos gastos**. La solución más práctica y realista sería que cada actor o entidad involucrada en este asunto de los túneles aportara una parte de los gastos necesarios para su consolidación y relleno. Considerando que el Sitio Maya de Copán es un sitio de Patrimonio Mundial, el gobierno de Japón ha notificado que está en disposición de aportar una parte al fondo necesario para atender este problema. Asimismo, el director del equipo chino de investigación en Las Sepulturas ha manifestado al gerente del IHAH su apoyo en este asunto. El mismo gerente del IHAH, el abogado Héctor Portillo, también ha manifestado que el gobierno de Honduras está dispuesto a aportar una parte. (Y hay que notar que ni Japón ni China participaron en las actividades de PAAC).

En vista de lo anterior, el aporte de las universidades estadounidenses tales como Harvard y Pennsylvania así como los esfuerzos de los arqueólogos de PAAC de recolectar y aportar al fondo serían indispensables ya que fueron ellos los actores directos y los más responsables en este asunto.

Las razones por las que los arqueólogos de PAAC dejaron abierta la extensa red de túneles no han sido suficientemente aclaradas hasta ahora. Sin embargo, se comprende que los hayan dejado abiertos en caso de que fueran de nuevo útiles para facilitar estudios posteriores y futuras investigaciones complementarias. De hecho, los directores de PAAC han continuado realizando estudios enfocados en la

conservación de mascarones estucados descubiertos y, en los casos de los túneles del Templo 16 (Estructura 10L-16) y del Templo 26 (Estructura 10L-26), también han realizados trabajos parciales de estabilización y consolidación (Fash et al. 2017). Aun así, la mayoría de los túneles excavados por PIAT —i.e., por el Museo de la Universidad de Pennsylvania— no han recibido ninguna atención debido a la muerte de su director. Lastimosamente, es en esa área en donde actualmente hay mayores problemas debido a fragilidad del techo de los túneles en algunos sectores. Considerando que el Sitio Maya de Copán es un sitio de Patrimonio Mundial, esta situación debe ser resuelta cuanto antes.

El primer paso para atender los problemas de esta red de túneles es generar una documentación precisa de la misma. Hacer esta documentación a modo de un modelo en 3D traería muchas ventajas. Para los actores y las entidades involucradas (IHAH, arqueólogos de PAAC, consultores, expertos externos, colaboradores, patrocinadores internacionales, etc.) es imprescindible el análisis, la discusión y la planificación sobre una misma base científica, neutral y objetiva, y para ello es indispensable que tengan datos correctos basados en cálculos confiables. En este sentido, la medición tridimensional realizada con la tecnología SLAM que se utilizó en 2019 fue seguramente un primer paso.

CAPÍTULO III: Aplicación de la tecnología SLAM mediante un LiDAR móvil: resultado preliminar

La tecnología SLAM consiste la estimación simultánea del estado de un aparato equipado con sensores a bordo y la construcción de modelo (el mapa) del entorno que los sensores están percibiendo. En la sociedad actual, esa tecnología ya se está utilizando en varios campos de la vida cotidiana, desde los robots automáticos de limpieza hasta los vehículos con manejo automático (Cadena et al. 2016). Como se expuso en el Capítulo I, después de realizar varias pruebas con el equipo de LiDAR instalado en un trípode fijo (FARO Focus 3D X330HDR), se ha llegado a la conclusión de que la única manera de documentar la compleja red de los túneles excavados por PIAT es utilizar un LiDAR móvil portátil. Por esta razón se han realizado dos pruebas en la red de túneles de diferentes estructuras en Copán utilizando el Zeb Revo RT fabricado por GEOSLAM. Hay que mencionar que para este ensayo, Toppan Printing, Co Ltd. de Japón nuevamente colaboró con nosotros prestando dicho equipo y orientando al personal de PROARCO y del IHAH en cuestiones técnicas.

Prueba en los túneles de Templo 11 (Estructura 10L-11)

Una primera prueba se realizó con dicho equipo

en la red de los túneles del Templo 11, una red previamente estudiada que tiene una longitud aproximada de 69m según el cálculo realizado por el programa de computadora *3ds Max* (ver Fig. 12 y Tabla 1 en el Capítulo I).

Según las especificaciones del Zeb Revo RT (el LiDAR utilizado en esta prueba), este equipo es capaz de medir 43,200 puntos por segundo, pero la exactitud de estas mediciones se encuentra en un rango que varía entre $\pm 2-3$ cm. En comparación con el equipo usado anteriormente, el FARO Focus 3D X330HDR, éste sólo tiene 1/10 parte de la exactitud del otro. Este rango de error, sin embargo, no tiene mayor significado en una red de túneles tan compleja y con 69m de longitud. Además, su movilidad compensa esta limitación. Hay puntos que el láser del equipo Faro no alcanzó y hay regiones que no pudo medir con detalle, pero en el mapa hecho con el Zeb Revo RT (Fig. 16 izquierda) tiene todas las partes cubiertas y detalladas. Ya que es portátil, puede tomar medidas desde más cerca en los lugares de más difícil acceso. En vista de esto, podemos asegurar que el equipo de LiDAR móvil portátil es más eficiente en el caso de la documentación de estos túneles.

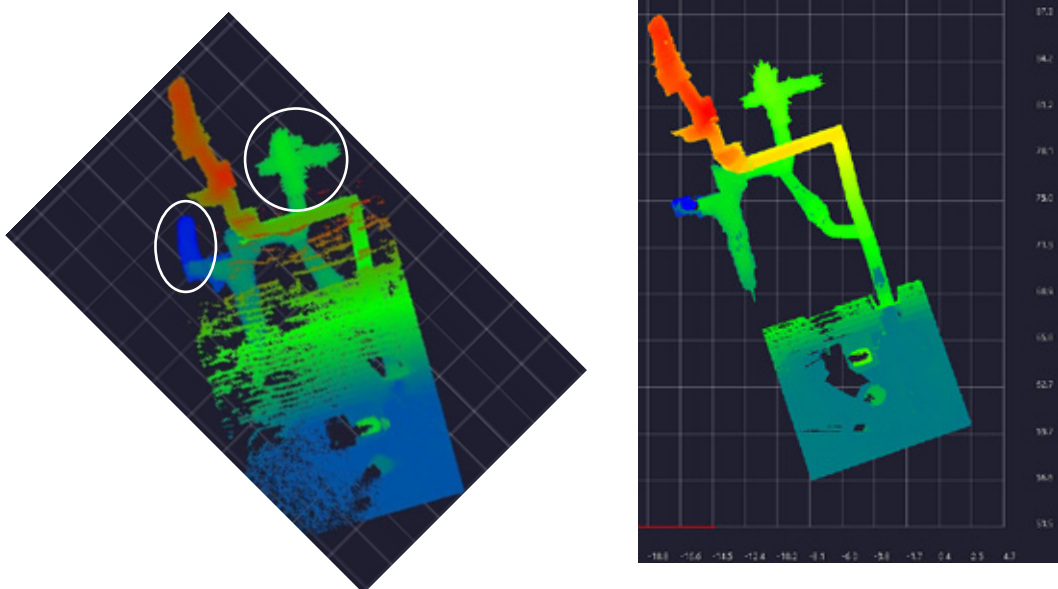


Fig. 16. Mapa creado por el Zeb Revo RT (izquierda), por el Faro Focus 3D X330HDR (derecha).

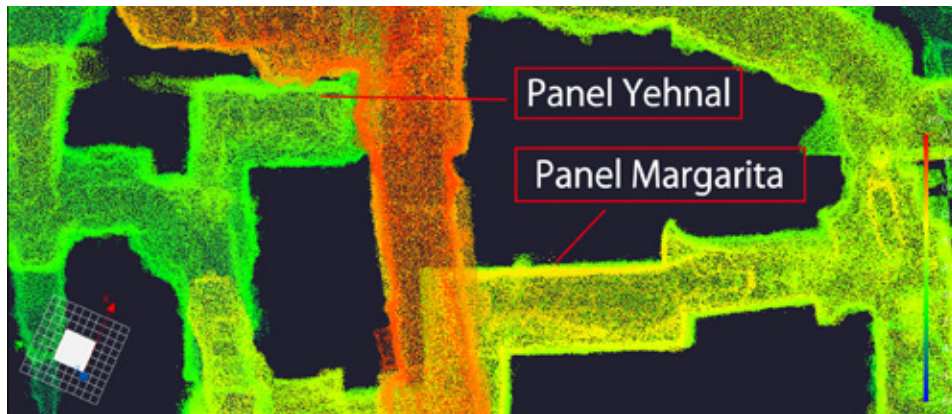


Fig. 17. Proyección ortogonal desde arriba de la red de túneles alrededor de Margarita mostrando la profundidad a través de un gradiente de color.

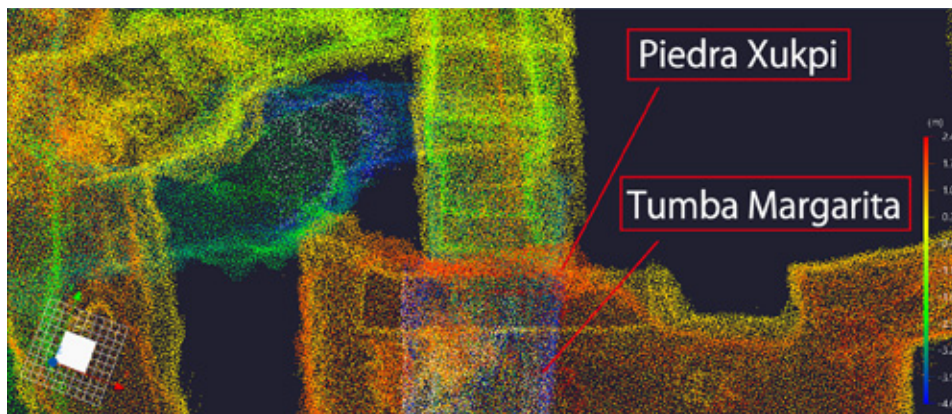


Fig. 18. Proyección ortogonal desde arriba de la red de túneles alrededor de la piedra Xukpi mostrando abajo la tumba de Margarita en azul y las gradas de acceso en verde a través de un gradiente de color.

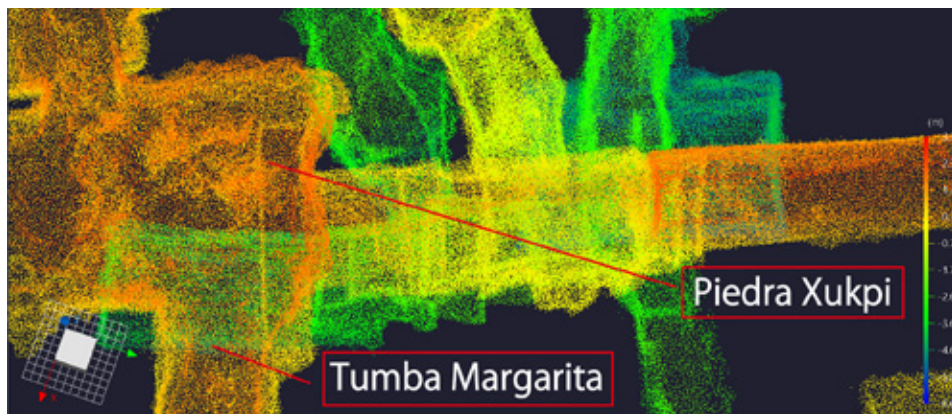


Fig. 19. Vista desde otro ángulo de la Fig. 18 a través de un gradiente de color.

Prueba en la red de los túneles de PIAT alrededores de Margarita³

La situación en la red de túneles excavados por PIAT fue mucho más compleja. Solamente fue posible tomar las medidas 3D en los túneles

principales, el I-6 y el I-28. En los lugares alrededores de Margarita existen muchas ramificaciones angostas e irregulares donde no es posible colocar ni el aparato de LiDAR con trípode ni los marcadores (targets). Además, algunos de esos túneles están actualmente en condiciones peligrosas

³ Screenshot por M. Ogawa

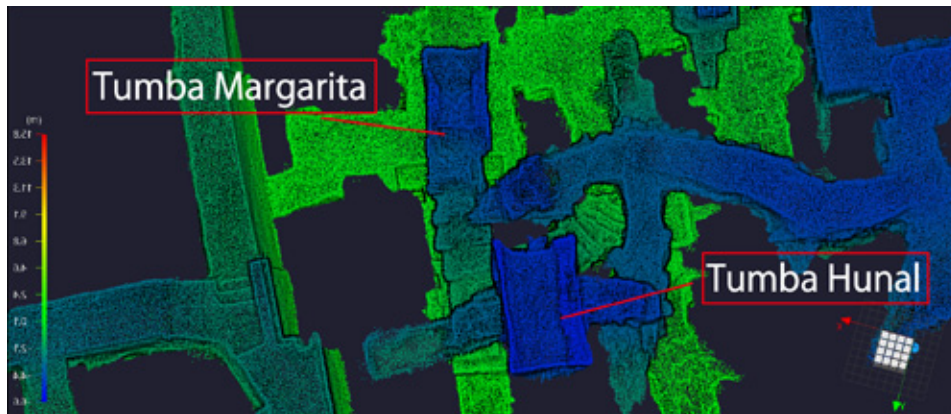


Fig. 20. Proyección ortogonal en imagen de espejo desde abajo del área alrededor de las tumbas de Hunal y Margarita.

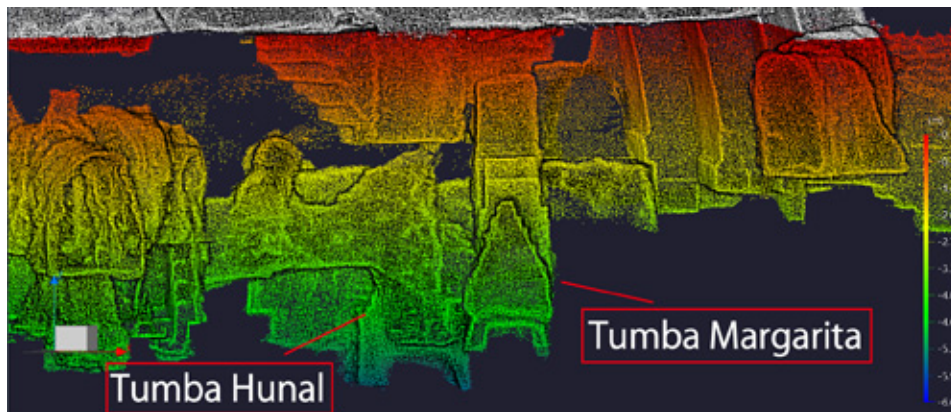


Fig. 21. Vista de perfil de la red de túneles alrededor de las tumbas de Hunal y Margarita.

ya que no están consolidados.

Aún con estas condiciones, fue posible realizar la documentación 3D con el equipo de LiDAR móvil portátil y los resultados preliminares son excelentes. Además de realizar la documentación detallada de la compleja red de los túneles alrededor de Margarita, el modelo creado con la nube de puntos por primera vez ha mostrado de manera objetiva las relaciones que hay entre los rasgos arqueológicos importantes en la Acrópolis Temprana de Copán en el período Clásico Temprano.

Según estos mapas elaborados con el LiDAR móvil, no solamente se aclara la relación entre los túneles excavados irregularmente alrededor de Margarita y Yehnal (ver Fig. 17) sino también la relación entre rasgos importantes tales como la Piedra Xukpi, la recámara de la tumba Margarita, las gradas de acceso y los otros túneles (Figs. 18 y 19).

Asimismo, en las Figs. 20 y 21 se muestra por primera vez de manera objetiva y visual la relación entre la tumba de Margarita y tumba de Hunal así como el muro del basamento de Margarita en el túnel I-28 y los rasgos de las tumbas.

Tal como se mencionó al final del Capítulo I, la integración de los datos que se han recolectado durante las diferentes pruebas podría traer problemas técnicos; a pesar de que ambas se basan en un LiDAR, los fabricantes y los principios que dirigen los procesos de medición son diferentes. Por esta razón, aunque la integración de los datos sea técnicamente posible, es aconsejable elegir el equipo según el objetivo de la medición. Por ejemplo, para la documentación de la red de túneles se recomienda utilizar el LiDAR portátil, mientras que para la documentación de los rasgos muy importantes tales como el panel estucado de Margarita, Yehnal, etc. se recomienda utilizar el LiDAR con el trípode fijo.

Ya que el Sitio Maya de Copán es un sitio de

Patrimonio Cultural de la Humanidad, si el IHAH decide introducir el uso de la tecnología SLAM para documentar toda la red de los túneles excavados por los investigadores trabajando en el PAAC en la década 1990, KU-Toppán estaría dispuestos a colaborar con este trabajo.

Referencias Citadas

Bell, Ellen

2007 *Early Classic Ritual Deposits within the Copán Acrópolis: The Material Foundations of Political Power at a Classic Period Maya Center*. Ph.D. dissertation presented to the University of Pennsylvania.

Cadena, César, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid y J.J. Leonard

2016 “Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age.” *IEEE Transactions on Robotics* 32(6): 1309-1332

Fash, Barbara y William L. Fash

2015 Informe anual 2015: Programa Santander para la investigación y conservación de la escultura Maya. Guardado en la biblioteca del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA), Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Copán Ruinas, Honduras.

Fash, William L.,

2001 *Scribes, Warriors, and Kings: The City of Copan and the Ancient Maya*. Thames and Hudson, London and New York.

Fash, William L., Laura Lacombe, Barbara Fash, Karina García y Nereyda Alonso.

2017 “Proyecto Formulación del Plan de Conservación a Largo Plazo de los Túneles de la Acrópolis de Copán” Informe interino presentado al Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), Copán Ruinas, Honduras.

Garrison, Thomas G., Dustin Richmond, Perry Naughton, Eric Lo, Sabrina Trinh, Zachary

Barnes, Albert Lin, Curt Schurgers, Ryan Kastner y Sarah E. Newman

2016 “Tunnel Vision”. *Advances in Archaeological Practice* 4(2): 192-204.

Guerra, H. Eliud, y Fernando López

2017 “Acrópolis de Copán en la actualidad”. Una presentación realizada en el Simposio de Conservación de la red de los Túneles de la Acrópolis de Copán en 3 de Noviembre de 2017. Organizado por el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) y Universidad de Kanazawa, Japón. Copán Ruinas, Honduras.

Kidder, A. V., J. D. Jennings y E. M. Shook

1946 *Excavations at Kaminaljuyú, Guatemala*. Carnegie Institution of Washington Publication 561. Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.

Lacombe, Laura

2018 “Actualización de los túneles de Copán” Una presentación realizada en el Comité de conservación de la red de los túneles de la Acrópolis de Copán con fecha 14 de Abril de 2018.

Larios V., C. Rudy

2018 “Túneles de la Acrópolis de Copán y su Conservación”. Documento distribuido en el Comité de conservación de la red de los túneles de la Acrópolis de Copán con fecha 13 de Junio de 2018.

Longyear III, John M.

1952 *Copán Ceramics; A Study of Southeastern Maya Pottery*. Publication 597, Carnegie Institution of Washington. Washington, D.C.

Nakamura, Seiichi

2018 Informe técnico de la medición 3D de la red de los túneles de la investigación en la Acrópolis de Copán. Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa, M.D.C.

Smith, A. L.

1950 *Uaxactún, Guatemala: Excavations of 1931-1937*. Carnegie Institution of Washington Publication 588. Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.

PART II : APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY TO THE TUNNEL NETWORK EXCAVATED IN THE ACROPOLIS OF COPAN

Seiichi Nakamura (Kanazawa University)
with support of Toppan Printing, Co. Ltd.



Table of Contents

CHAPTER I : 3D Surveying of the Tunnel Network Excavated in the Acropolis of Copan: Methodology and Results	101
CHAPTER II : Calculating the Volume: Preliminary Test	117
CHAPTER III : Application of SLAM Technology by Means of a Mobile LiDAR: Preliminary Results ...	123
Works Cited	128

LIST OF FIGURES

Fig. 1.	Profile of Temple 26 according to Fash 2001, etc.	103
Fig. 2.	Orthographic map of the tunnel network underneath Temple 11 showing the different levels with different colors elaborated by KU-Toppan.	106
Fig. 3.	3D model of the tunnels underneath Temple 11.	107
Fig. 4.	3D model of the tunnels underneath Temple 11 using a color gradient to show depth.	107
Fig. 5.	3D model of the north-south profile of tunnels underneath temple 11 along with the surface of its stairway. ...	107
Fig. 6.	3D Model of the north-south profile of the tunnels underneath Temple 11 using a color gradient to show depth.	108
Fig. 7.	3D model of the tunnel network around Margarita.	108
Fig. 8.	3D model of the tunnel network around Margarita with a color gradient to show depth.	109
Fig. 9.	Preliminary map of the collapse area in level 2 of PIAT's tunnel network (Courtesy of IHAH).	109
Fig. 10.	3D laser scanning equipment : FARO Focus 3D X330HDR (Courtesy of Toppan Printing, Co. Ltd.).	112
Fig. 11.	Calculation of the length of tunnels I-6 and I-28.	113
Fig. 12.	Calculation of the length of the tunnels underneath Temple 11.	113
Fig. 13.	Poligonalization process.	119
Fig. 14.	Tunnel network after poligonalization.	119
Fig. 15.	Tunnel network divided in 31 sections.	119
Fig. 16.	Map created by the Zeb Revo RT (left), and by the Faro Focus 3D X330HDR (right).	125
Fig. 17.	Orthogonal projection from above the tunnel network around Margarita showing depth with a color gradient. ...	126
Fig. 18.	Orthogonal projection from above the tunnel network around the Xukpi stone showing underneath the Margarita tomb (blue) and the access stairs (green) with a color gradient.	126
Fig. 19.	View of Fig. 18 from a different angle through a color gradient.	126
Fig. 20.	Orthogonal projection in specular image from below of the area around the Hunal and Margarita tombs. ...	127
Fig. 21.	Profile of the tunnel network around the Hunal and Margarita tombs.	127

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photographs 1 and 2.	Tunnels underneath Temple 11 consolidated during the Carnegie investigations.	104
Photograph 3.	Tunnel underneath Temple 11 without consolidation, possibly traces of collapse.	105
Photograph 4.	Area of collapse in tunnel I-27 in September 2017.	110
Photograph 5.	State of the collapse in tunnel I-27 in September 2017.	110
Photograph 6.	Preliminary survey in the collapsed sector of tunnel I-27 in September 2017.	110
Photograph 7.	View of an unconsolidated tunnel in the PIAT area.	110
Photograph 8 (left).	General view of 3D scanning work inside a tunnel.	111
Photograph 9 (right).	Other 3D measuring equipment used to document the stucco mask of the Yehnal.	111
Photograph 10.	Markers (targets) situated inside one of the PIAT tunnels.	111

LIST OF TABLES

Table 1.	Calculation of the length of the tunnels underneath Temple 11.	114
Table 2.	Calculation of the length of tunnels I-6 and I-28.	115

CHAPTER I : 3D Surveying of the Tunnel Network Excavated
in the Acropolis of Copan: Methodology and Results

Introduction¹

The Maya Site of Copan is one of the most representative ancient cities of the Classic Maya Civilization extant in the Maya area that extends from the southern Mexico to western Honduras. It was registered as a Cultural Heritage Site in the list of World Heritage Sites of UNESCO in 1980.

Along the centuries that followed its discovery, it has been the focus of archaeological explorations and investigations, especially by research teams coming from foreign universities and museums. Beginning in the first half of the XX century, researchers followed the established methodology of excavating a tunnel networks underneath and inside the ruins themselves without damaging or even touching the last layer of the pre-Hispanic constructions. Considering the distinctive constructions of the ancient Maya where structured were built on top of other previously built structures

either by modifying or by filling them (see Fig. 1), the methodology of tunnel excavation was then deemed adequate and was held as the only effective way to undertake archaeological investigations in such superimposed structures. Actually this methodology of tunnel excavation is very common, especially in the lowland Maya archaeology (see Garrison et al. 2016).

Nevertheless, as Rudy Larios notes: when dealing with the approval of this methodology, beyond such characteristic superimposition in pre-Hispanic structures built by the ancient Maya lies the issue of preservation, since already in the 1930s the Carnegie Institution of the United States cut through and destroyed pre-Hispanic buildings of considerable dimensions in Guatemalan Maya sites such as Uaxactún and Kaminaljuyú while excavating trenches. (Kidder, A.V. et al. 1946; Larios 2018; Smith 1950).

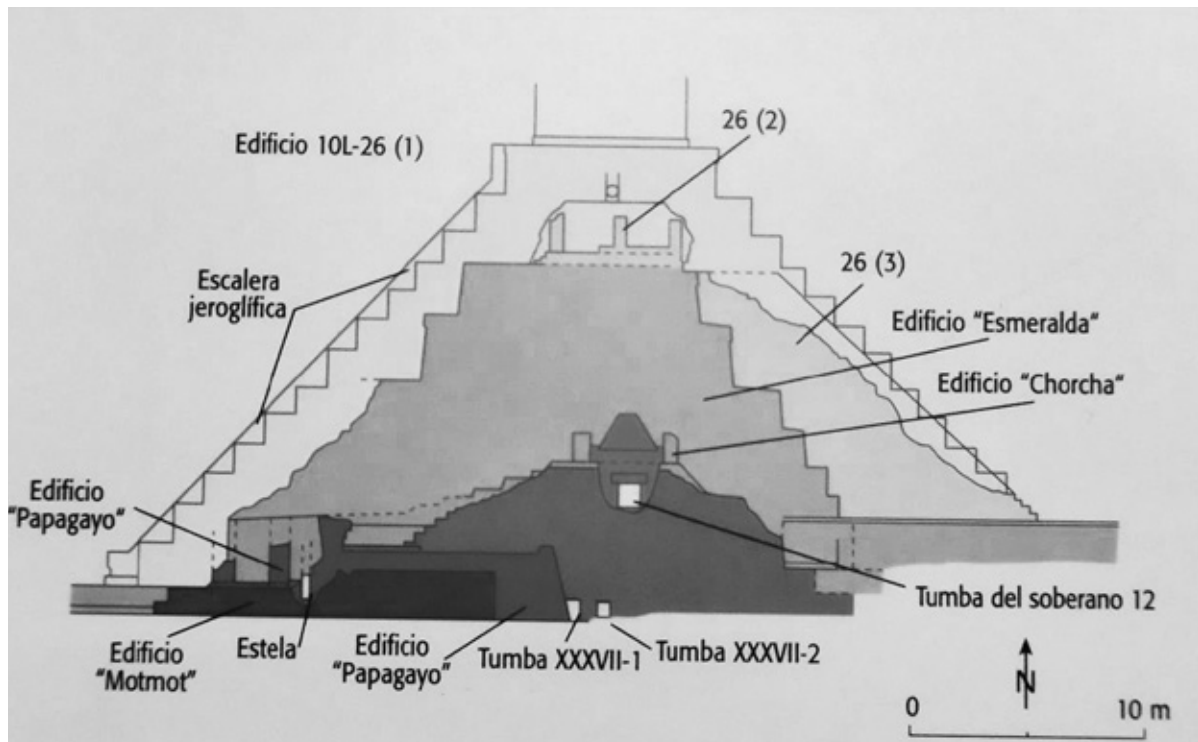


Fig. 1. Profile of Temple 26 according to Fash 2001, etc.

¹ This chapter is a revised and modified version of the report of a consultancy carried out in 2018 and presented to the Honduran Institute of Anthropology and History (IHAH) in December of that same year (Nakamura 2018)

The diffusion of this methodology of excavation at Copán may have been brought about as an unforeseen negative effect of the ambiguity of regulations regarding tunnels excavated for the purpose of archaeological investigations. Archaeologists at Copán are bound by a contract of archaeological investigations to stabilize, consolidate, restore and preserve any pre-Hispanic structure of great dimensions whose exterior they touch through a trench or through a pit. In the case of a tunnel, if the last layer of construction of such a structure is not reached, there is no binding obligation. This sort of understanding saves time and money to the careless archaeologists in charge who will not do any consolidation. Obviously, this reasoning is fallacious and unacceptable, for even if the investigation is done by excavating tunnels, stabilization, consolidation, preservation or the ulterior filling together with a detailed yearly report documenting the excavated tunnels should be mandatory. Among archaeologist there is an unwritten and commonly held principle that states that he who excavates must fill back his excavation.

Background

The first tunnels excavated at Copan were excavated under the auspices of the Carnegie

Institution between 1930 and 1940 in the north of the Acropolis, underneath Temple 11 (Structure 10L-11) and inside Temple 26 (Structure 10L-26), and also in the center of the Acropolis, inside Temple 16 (Structure 10L-16) (see Bell 2007: 113-114, Longyear 1952: 4-6). These tunnels were quite modest when compared to the size of the structures and did not exceed 150m. In the cases of tunnels 1 and 3 underneath Temple 11 the tunnel network was properly consolidated (Photographs 1 and 2).

Next, in 1978, during the first phase of Proyecto Arqueológico Copán I (Copan Archaeological Project, PAC I by its initials in Spanish), another network of tunnels was excavated by the archaeologists Georges F. Guillemin in the Archaeological Cut (Operation I-5, I-6, and I-7; Bell 2007: 121-123). Presumably, Charles Cheek (and if it were not him, then somebody from PAAC must have been) extended the tunnels underneath Temple 11 that had been excavated by the Carnegie Institution by a small amount, but this time left that portion without any consolidation (photograph 3). In 2011 the part which was not stabilized in the tunnel of Temple 11 was consolidated by Copan Association.

Hence, until the 1980s there was a tunnel network



Photographs 1 and 2. Tunnels underneath Temple 11 consolidated during the Carnegie investigations.



Photograph 3. Tunnel underneath Temple 11 without consolidation, possibly traces of collapse.

in Copan that, regardless of its dimension, was not excessive in comparison with the size of the pre-Hispanic structures. This situation, however, changed drastically with Proyecto Arqueológico Acrópolis de Copán (Copan’s Acropolis Archaeological Project, PAAC by its initials in Spanish).

PAAC’s promoter and General Director was William L. Fash, who is presently a professor at Harvard University. Fash invited Robert J. Sharer (who passed away in 2012) from the Museum of the University of Pennsylvania to be co-director of this project. Sharer was in charge of the investigations in the eastern part of the Acropolis along with the Programa de Investigación de la Acrópolis Temprana (Investigation Program of the Early Acropolis, PIAT by its initials in Spanish). Together with another one of the co-directors of PAAC, the Honduran archaeologist Ricardo Agurcia from Asociación Copán (Copan Association), they split the investigation in three regions: Fash and the Harvard team were in charge of the investigations in Temple 26 (Structure 10L-26), Agurcia and the team from Asociación Copán were in charge of the investigations of Temple 16 (Structure 10L-16), and Sharer and the team from the Museum of Pennsylvania were in charge of the rest of the eastern part of the Acropolis, especially the lower part.

It is worth mentioning that Fash also invited Rudy Larios, a Guatemalan architect and an independent restorer, and Willys Andrews V. from Tulane University to work as co-directors of PAAC. Andrews and his team worked in the Cemetery Sector (south of the Acropolis) and did not participate in any tunnels excavated within the Acropolis. Rudy Larios was the co-director of PAAC in charge of the restoration and stabilization of structures in the Acropolis.

Besides Oscar Cruz who represented the Western Regional Branch of the IHAH and served as supervisor to PAAC on behalf of the IHAH, the above mentioned Honduran archaeologist Ricardo Agurcia also held this position. It is not known, however, if Agurcia was the supervisor designated by the IHAH during the entire span of PAAC (from 1988 to 1996) since his relationship with the IHAH constantly shifted due to three changes in its administration (V́ctor Cruz: 1988 to 1990; Joś Maŕa Casco: 1990 to 1994; Olga Joya: 1994 to 2002).

The total length and volume of the tunnel network excavated by PAAC is yet to be determined because of the lack of adequate documentation. Larios claims that there are more than 5,000 drawings of these tunnels and of the structures that were discovered then (Larios 2018: 2), but, according to our research, these drawings are not to be found in the archive of the Centro Regional de Investigaciones Arqueoĺgicas (CRIA), a dependency of the IHAH in Copán Ruinas.

Nobody knows for sure how many kilometers and how many cubic meters were excavated. Larios wrote: “Esta forma de investigaci3n (o sea excavaci3n por t́neles) se sigui3 aplicando en los proyectos posteriores alcanzando ya para 1996 varios kil3metros y algo como 5,000 dibujos, m3s lo publicado por los proyectos anteriores.” [This way of investigating (i.e. excavating tunnels) continued

to be used in subsequent projects, reaching already in 1996 various kilometers and more or less 5,000 drawings on top of that which was published by previous projects] (Larios 2018: 2). Presently, based on a report by Laura Lacombe from Harvard University, the Regional Branch of the IHAH in Copán Ruinas works with an approximate of 3.2 km excavated (Guerra and López 2017). Sharer, in a verbal communication with Nakamura, declared that when he was designated by the IHAH in 1999 as director of the Programa Integral de Conservación del Parque Arqueológico Copán (PICPAC) whose main objective was attending the problem these tunnels posed, the numbers they worked with then were 3 km of approximate length of the excavations and 1.5 km still open around that time. Yet these numbers seem to correspond only with his program, PIAT. On the other hand, Bell writes in her doctoral thesis that the length of all the excavations done during the PAAC is 4.2 km (Bell 2007: 143).

To determine the tunnels' length and measure their volume in an objective and scientific way, the only possible solution is to do a 3D survey of this tunnel network with specialized equipment. Laura Lacombe from Harvard University has worked painstakingly during the past years to document these tunnels. Using a total station and drawing upon

AutoCAD software, by 2017 she finished surveying the network underneath Temples 16 and 26 (Fash, B. and W. L. Fash 2015: 8-9; Fash, W. L. et al. 2017: 1; Lacombe 2018), but left out the extensive tunnels excavated by PIAT. The methodology used by Lacombe with the total station consumes too much work time and does not seem to be as effective for a 3D survey inside such a complex tunnel network. Another methodology defined in the Terms of Reference (TOR) of this project with the national fund of Honduras was needed.

The Problem of Assessing the Tunnel Network at Copan

Although the polygonal map rendered by AutoCAD with data taken with a total station by Laura Lacombe is quite exact, even when comparing it with the map elaborated by our equipment (KU-Toppán) by means of a point-cloud and with the latest technology in 3D scanning and a LiDAR fixed in a tripod (Fig. 2).

The main differences between these two methodologies —Lacombe's and the one here presented— are the time consumed and the possibility of instantaneously obtaining all the required information such as views from a different

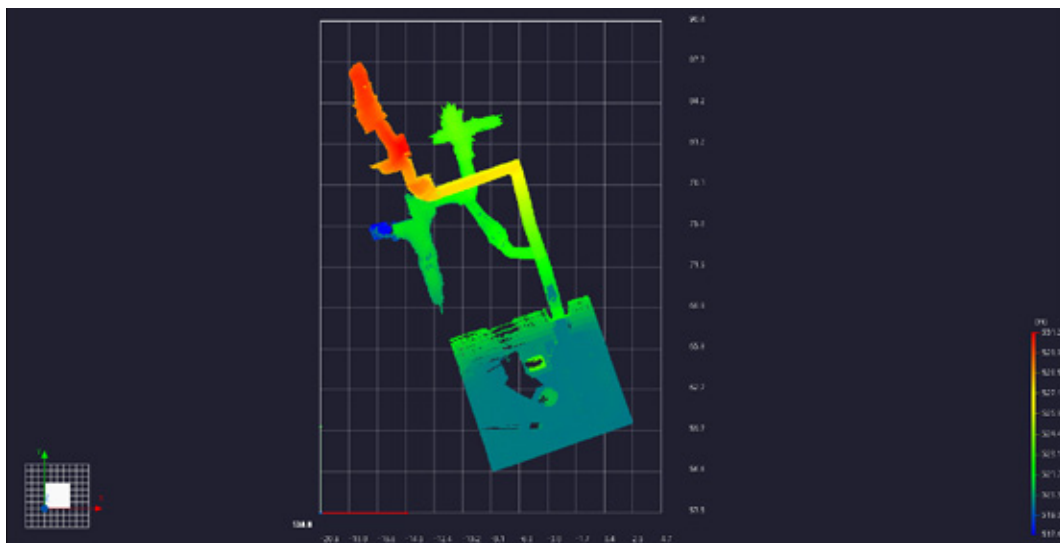


Fig. 2. Orthographic map of the tunnel network underneath Temple 11 showing the different levels with different colors elaborated by KU-Toppán.

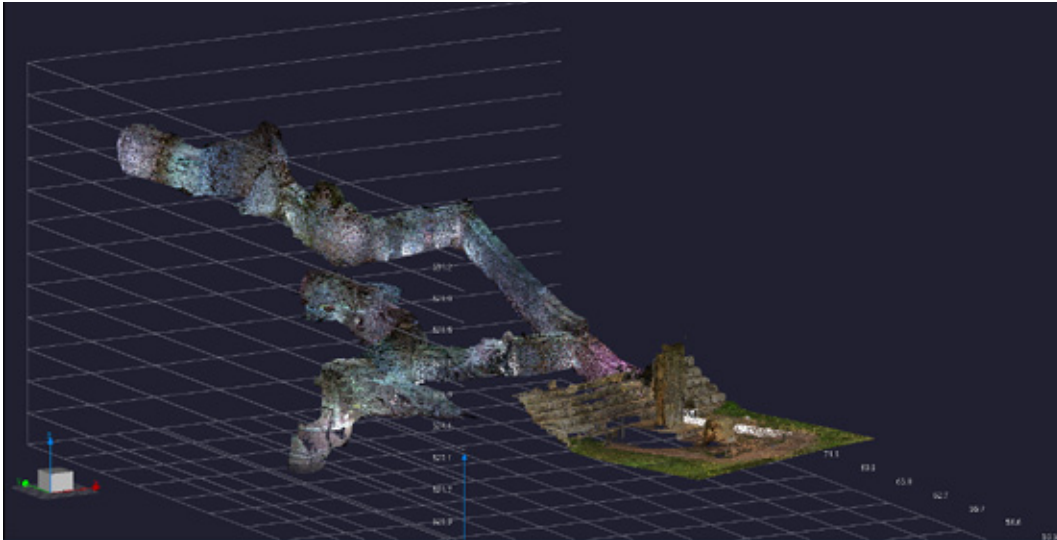


Fig. 3. 3D model of the tunnels underneath Temple 11.

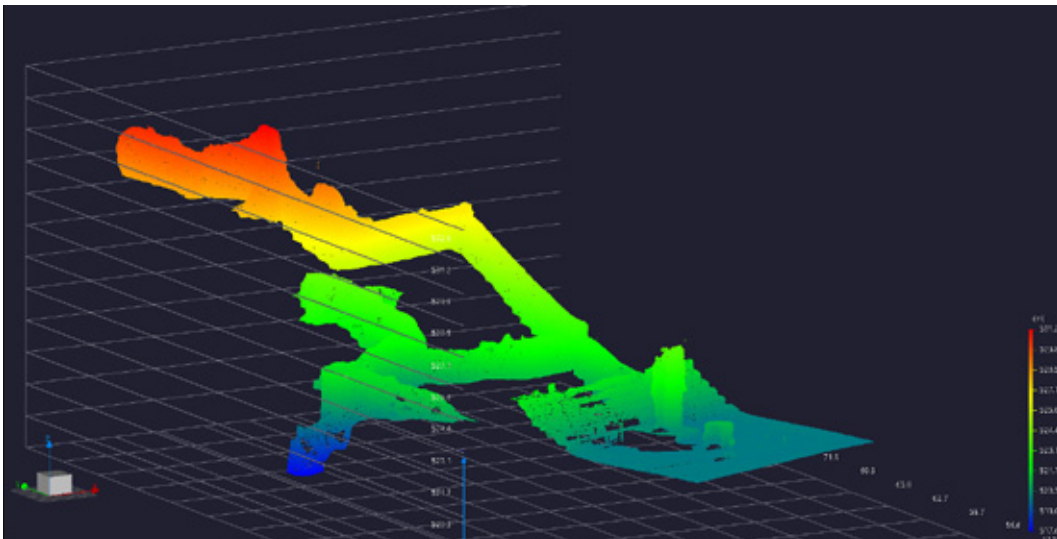


Fig. 4. 3D model of the tunnels underneath Temple 11 using a color gradient to show depth.

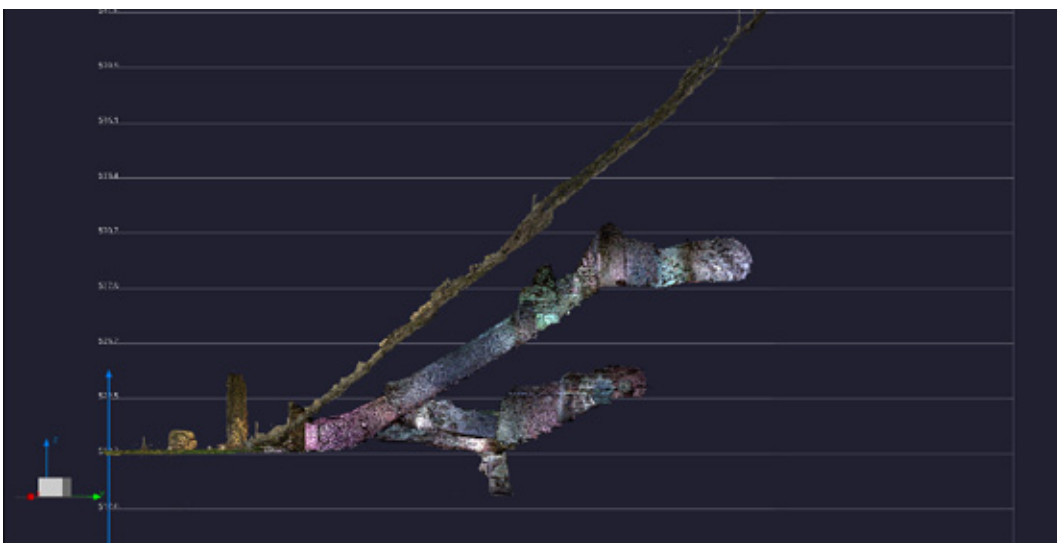


Fig. 5. 3D model of the north-south profile of tunnels underneath temple 11 along with the surface of its stairway.

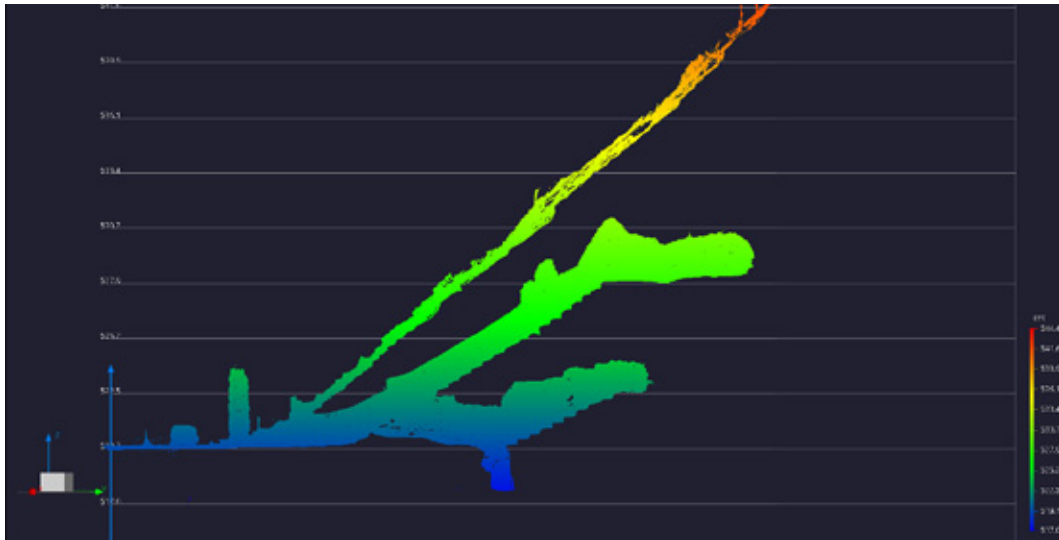


Fig. 6. 3D Model of the north-south profile of the tunnels underneath Temple 11 using a color gradient to show depth.

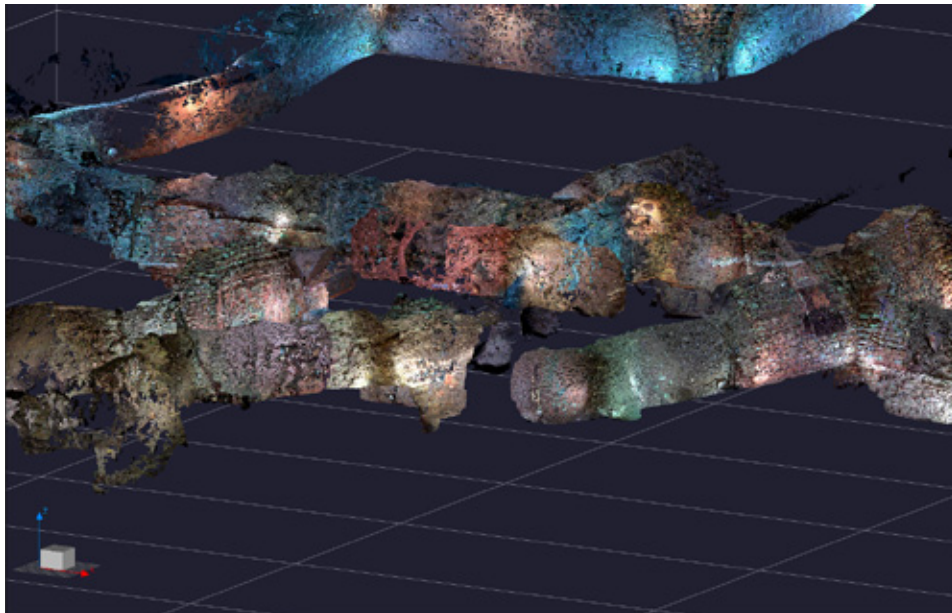


Fig. 7. 3D model of the tunnel network around Margarita.

angle of the final 3D rendering of the map (Figs. 3, 4, 5 and 6).

Regarding that first point, it is precisely because working with a total station consumes too much time that Lacombe was unable to measure the essential part of the tunnel network in the Acropolis, that is, the complex network excavated in the east side. This extensive network excavated by PIAT is far too complex for a total stations as it resembles an anthill done without direction nor planning (see Figs. 7 and 8).

As is the opinion of a professionally trained archaeologist and an engineer working inside these tunnels, one cannot overcome the astonishment of seeing these sort of excavations left behind unfilled and without consolidation in a World Heritage Site. The problem is that such lack of consolidation has given way to collapsing and subsiding of a lesser and a greater magnitude within the tunnels, and it is now impossible to guarantee safe working conditions for researchers and technicians.

The regional branch of IHAH at Copán Ruinas

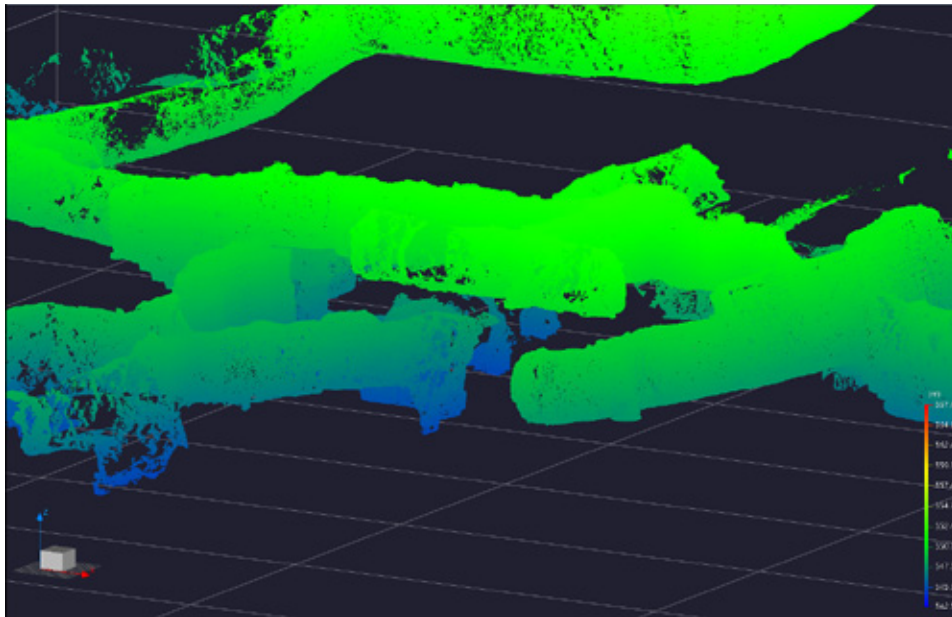


Fig. 8. 3D model of the tunnel network around Margarita with a color gradient to show depth.

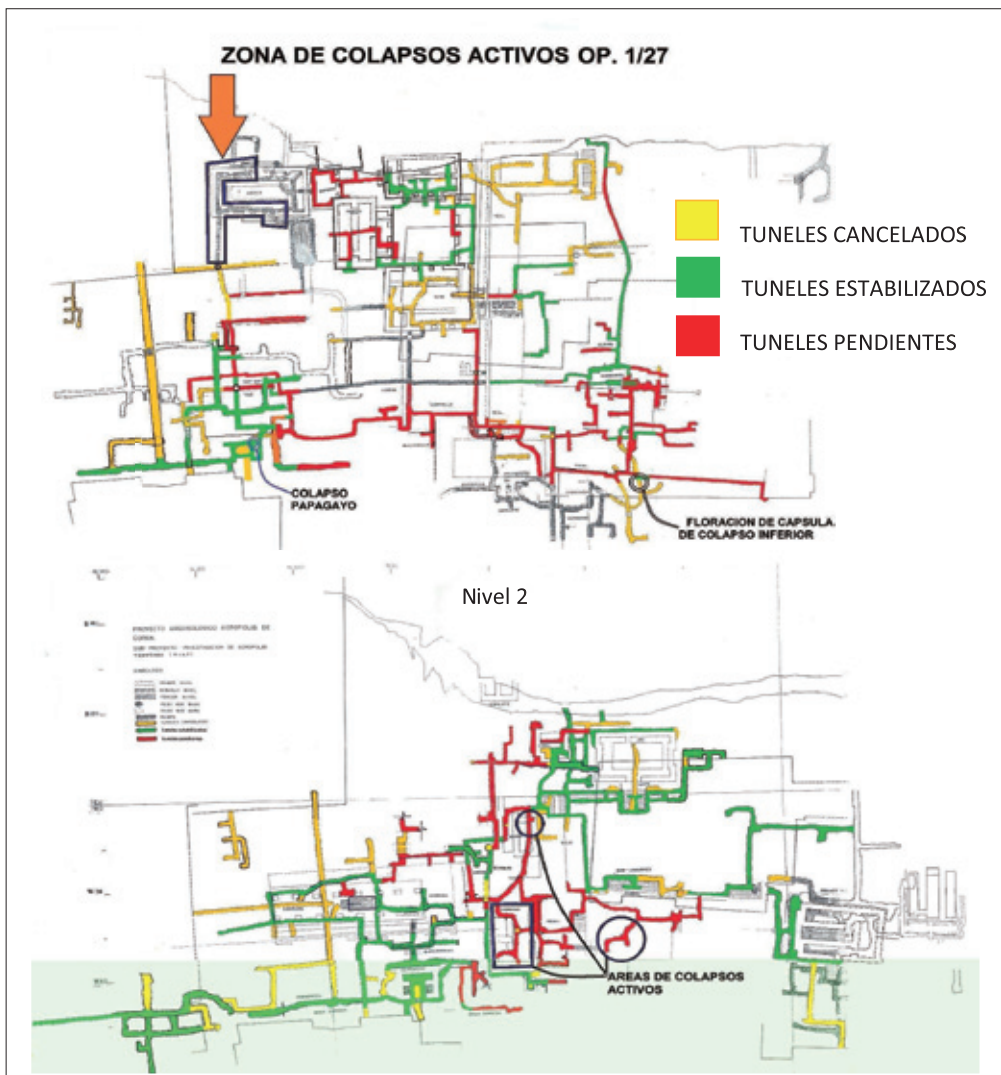


Fig. 9. Preliminary map of the collapse area in level 2 of PIAT's tunnel network (Courtesy of IHAH).



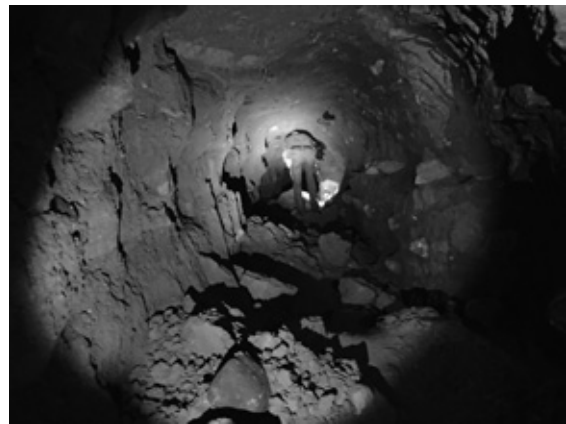
Photograph 4. Area of collapse in tunnel I-27 in September 2017.



Photograph 6. Preliminary survey in the collapsed sector of tunnel I-27 in September 2017.



Photograph 5. State of the collapse in tunnel I-27 in September 2017.



Photograph 7. View of an unconsolidated tunnel in the PIAT area.

works with a preliminary map (Fig. 9) where areas labeled as cancelled by filling, stabilized, and active collapse zone have been identified. Nonetheless, according to our inspection of the site, some sectors were simply cancelled and filled with dry rock while others were only closed to block their access. Sectors labeled as stabilized do not always coincide with our observations. The current status of the network is not actually known with any degree of certainty, and a 3D survey of the tunnels could shed some light in this situation.

In September 2017, the authors entered tunnel I-27, an active collapse zone in the Águila area, to do a preliminary 3D scanning test (see Fig. 9 and Photographs 4, 5, and 6). Currently, collapsed materials have already been taken out of this tunnel by Dr. Loa Traxler. However, as long as the consolidation work of this place is not carried out,

the risk of collapses continuing during the rainy season will remain present.

This actual state of PIAT's tunnel network made it impossible for us to access certain sectors. The KU-Toppa team was constrained to collect all the data under these conditions and with such limitations (Photograph 7).

Methodology of 3D Surveying and Measuring

According to the TOR, 3D surveying and measuring was needed in a sample tunnel with more than 400m in length to reach the objective of having a trustworthy diagnosis that could cover the totality of the network. We decided on the following methodology:

1. Using 3D scanning equipment — a fixed



Photograph 8 (left). General view of 3D scanning work inside a tunnel.



Photograph 9 (right). Other 3D measuring equipment used to document the stucco mask of the Yehnal.

terrestrial LiDAR manufactured by FARO and supported by a tripod —, survey and measure in detail the tunnel network excavated by PAC I and PIAT of PAAC by the Museum of the University of Pennsylvania (I-6 and I-28) and the tunnel underneath Temple 11 excavated by the Carnegie Institution and Cheek. We chose this methodology and selected the areas to obtain measurements of tunnels excavated by three different institutions: the tunnel underneath Temple 11 by the Carnegie Institution, tunnel I-6 by PAC I, and tunnel I-28 with the Margarita and the Yehnal structures by PIAT of PAAC. The total length would be greater than 400m in accordance to the TOR (Photographs 8 and 9).

This methodology guarantees the collection of diagnostic information from all the different periods of investigation at Copan along the last 85 years. It will also permit the establishment of the particular characteristics of each one, and that will, in turn, allow the design of a suitably informed strategy to address the issue of collapsing tunnels.

2. Regarding quality controls and data reliability, even if the laser that was going to be used had a range that reached de 330m mark, scanning points were located at least every 40m. Carefull attention

was placed in making sure the laser could reach the tunnel's walls in obscurity.

3. Temporary 3D markers (targets) for use with the postprocessing software were placed in agreement with the distance between scanning points (Photograph 10).

As mentioned above, it was not possible to install the scanning equipment in certain places where



Photograph 10. Markers (targets) situated inside one of the PIAT tunnels.

the lack of consolidation or the irregularities in the terrain due to collapses represented safety risks for the researchers and technicians. The 3D surveying and measuring of such places should be done with a different methodology that will be explained below along with the future proposals.

Equipment Used for 3D Measurements and Its Technical Specifications

In agreement with the TOR, a fixed terrestrial LiDAR manufactured by FARO and supported by a tripod was used during the 3D scanning phase and computers with powerful engines along with specialized software were used later for rendering 3D images and for producing a virtual video tour of the interior of the tunnel. Working alongside Toppan Printing, Co. Ltd was convenient, since they supplied all the necessary equipment.

The technical specifications of the equipment used, the FARO Focus 3D X330HDR LiDAR, follow (see also Fig. 10):

— Deflection unit step size (vertical/horizontal): 0.009° (40,960 3D-Pixel on 360°) / 0.009° (40.960 3D-Pixel on 360°)

— Visual field (vertical/horizontal): 300° / 360°

— Ranging error: $\pm 2\text{mm}^*$

* Defined as a systematic error in a measurement between 10m and 25m, 1 sigma (σ)

— Incorporated dual axis compensator**

** Levels for each scan: Accuracy 0.015° ; Range $\pm 5^\circ$

— Capability of recording color value (R, G, B) and position coordinates (X, Y, Z) simultaneously.

— High Dynamic Range (HDR) photo recording

— Scene LT, freeware supplied by FARO to visualize data

The scanning equipment was last calibrated by the manufacturer prior to its use, in April 2018, to make sure it was in perfect working condition.



Fig. 10. 3D laser scanning equipment: FARO Focus 3D X330HDR (Courtesy of Toppan Printing, Co. Ltd.).

Human Resources Used for the Measurements

Kanazawa University (KU) and Toppan Co. Ltd. supplied all the experienced professionals necessary for this project. During the 3D surveying and measuring phase Mr. Takahiro Handa from Toppan, an engineer specialized in topography, was in charge of data collection. He and a team of experienced assistants together with a translator/coordinator designated by KU, worked under the supervision, orientation, and direction of Seiichi Nakamura of KU.

The subsequent data processing and the production of the virtual video tour of the interior of the tunnel that were done with specialized software were completed by expert engineers from Toppan in Japan. KU and Toppan also supplied all the necessary professionals — 3D-modelling, 3D-programming, and volume-calculating experts — for this next phase of the project.

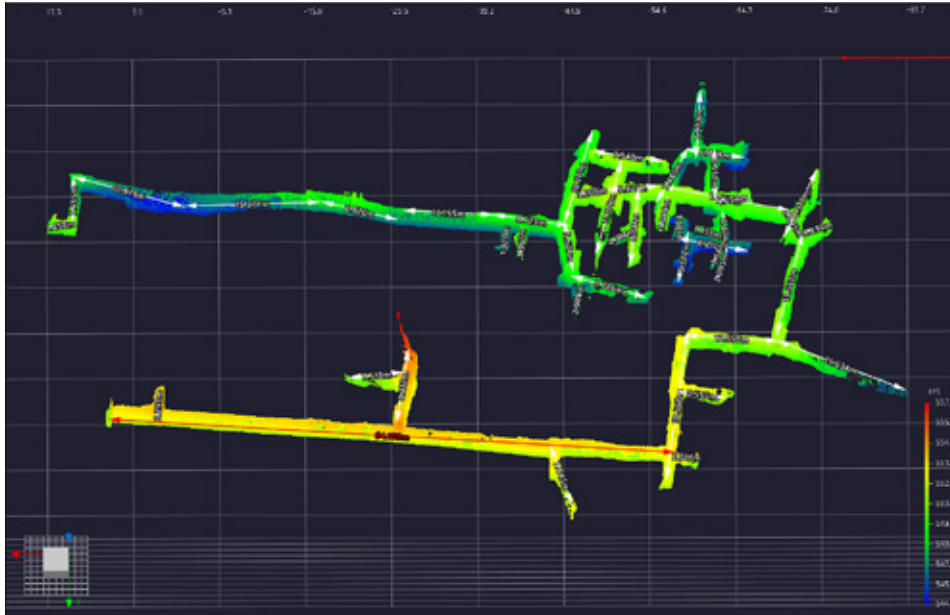


Fig. 11. Calculation of the length of tunnels I-6 and I-28.

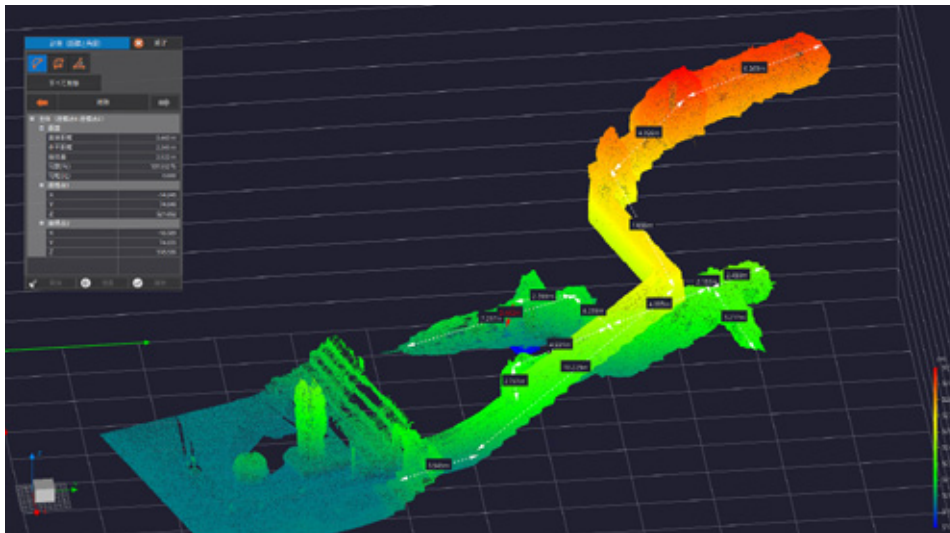


Fig. 12. Calculation of the length of the tunnels underneath Temple 11.

Results of Surveying and Measuring, and the Methodology for Processing Collected Data²

1. Data collection

Data collected with the 3D laser scanning equipment was recorded and saved as “*original data from the point cloud*” in the proprietary format of the manufacturer of the equipment. Each point registered as part of that point-cloud contained (X, Y, Z) position coordinates, (R, G, B) color information.

2. Generation of *merged data*

Using a unified system of coordinates, *the original data from the point-cloud* was merged to obtain a single registered data point with the FARO Scene software distributed by the manufacturer of the equipment.

3. Generation of *filtered data*

The merged data was exported as a generic XYZ file. To have the surface of the tunnel and of the exposed structures rendered in a clean and clear

² The explanation presented in this section was elaborated by Toppan Printing Co. Ltd.

way, a noise reducing algorithm was applied to the merged data with Trend Point, a point-cloud data editing software designed by Fukui Computer Systems of Japan.

4. Generation of *reduced data*

Trend Point is capable of reducing the number of points in the point-cloud through a multiple algorithms; equalization of point density was applied before and after the execution of simple spatial reduction. Volume reduction was set arbitrarily, but targeting an outcome of less than 10 million points from the approximately 1 billion points that were the *original data from the point cloud*.

After applying this algorithm of data reduction to the *filtered data*, it was possible to generate a point-cloud that did not exceed the 10-million-point limit to make personal computers with a relatively low-speed processing unit able to handle it.

The digital files from the various stages of the point-cloud reduction process — from the original data to the *reduced data* — and a virtual video tour of the interior of the tunnel underneath Temple 11 elaborated with the *reduced data* were handed over to the IHAH along with the report of a total measured length of a section of the tunnel network that exceeded 400m as stipulated by the TOR of the project (Figs. 11 and 12, Tables 1 and 2).

The next step in this project is the generation of polygonal 3D models of the tunnel network and the calculation of its total length and volume. A second phase is needed as a continuation to what has been done to have all the data collected be put to use in:

1. The creation of a polygonal 3D model of the tunnel network with specialized software. Before its final renderization, such a model requires processing with noise reducing algorithms and interpolating blind spots with Autodesk *3ds Max*.

	Diagonal Distance [m]
1	6.968
2	4.099
3	7.055
4	2.45
5	2.153
6	3.217
7	4.033
8	4.269
9	4.991
10	10.225
11	2.761
12	2.396
13	3.443
14	7.267
15	3.545
Total	68.872

Table 1. Calculation of the length of the tunnels underneath Temple 11.

2. The calculation of the volumetric space occupied by the tunnel network using the above mentioned polygonal model created with the 3D measurements.

— The XYZ file must be converted to a 3D model with specialized software. Data noise and empty holes that appear as open surfaces are expected to be introduced in the converted data after the digital manipulation, but can be eliminated by the polygonal conversion software. If need be, if software is unable to handle the complexity of cases of noise and of empty holes, then specialized engineers in 3D modelling *will perform* the operation manually.

— All the open holes of the polygonal model — such as the entrance of the tunnel — must be closed by *3ds Max*, the 3D modelling software that will be used, prior to performing the volume calculations with that same software.

Future Proposals

As it has been explained above, in accordance with the TOR, the 3D surveying and measuring of the tunnel network branching out from tunnel I-6 which exceeds 400m in length has been completed. Nevertheless, experience and evidence so far is

	Distance (Diagonal) [m]	Distance (Horizontal) [m]	Distance (Vertical) [m]	Coordinate value 1 (X, Y, Z) [m]			Coordinate value 2 (X, Y, Z) [m]		
1	64.105	64.086	1.572	6.432	5.506	551.456	-57.459	10.508	553.028
2	18.568	18.541	0.99	-56.470	13.523	552.500	-58.968	-4.850	551.511
3	15.634	14.839	4.923	-83.475	-0.373	546.709	-69.030	-3.771	551.632
4	10.557	10.522	0.856	-69.159	-3.605	551.684	-58.641	-3.884	552.540
5	8.412	8.321	1.227	-26.116	7.717	554.814	-27.450	-0.497	556.041
6	7.518	6.424	3.907	-26.953	1.482	554.478	-20.689	0.063	550.571
7	7.445	7.433	0.418	-45.820	16.958	553.072	-43.466	9.907	553.490
8	13.562	13.488	1.417	-68.965	-4.301	551.652	-71.948	-17.455	550.235
9	3.437	3.434	0.159	-75.217	-18.510	550.406	-71.936	-17.496	550.247
10	2.895	2.895	0.043	-71.524	-17.399	550.272	-70.151	-19.947	550.315
11	8.517	8.477	0.828	-69.831	-17.277	549.828	-73.540	-24.899	550.656
12	14.717	14.692	0.858	-70.462	-20.177	550.374	-55.984	-22.676	551.233
13	5.921	5.917	0.219	-55.705	-22.632	551.299	-49.809	-22.133	551.518
14	3.206	3.194	0.279	-49.766	-22.111	551.525	-46.592	-21.753	551.245
15	11.179	11.117	1.173	-48.685	-15.032	550.098	-51.564	-25.769	551.271
16	7.94	7.939	0.146	-56.184	-25.718	551.235	-48.328	-26.860	551.381
17	8.808	6.593	1.697	-65.406	-28.840	546.340	-58.813	-28.807	548.037
18	7.44	7.432	0.335	-59.088	-29.117	547.935	-55.462	-22.629	547.600
19	8.786	8.688	1.306	-54.304	-11.268	547.385	-45.837	-13.217	548.691
20	5.527	5.458	0.873	-45.991	-13.540	549.258	-45.093	-18.923	550.130
21	12.171	12.114	1.171	-45.093	-18.923	550.130	-48.260	-30.616	548.959
22	7.665	7.181	2.654	10.234	-25.602	548.390	10.404	-18.423	551.044
23	3.456	2.864	1.934	10.404	-18.423	551.044	13.207	-19.011	549.110
24	8.211	8.21	0.101	-57.632	-19.261	545.988	-65.683	-17.651	546.089
25	1.881	1.651	0.902	-58.016	-20.732	547.460	-58.002	-19.081	546.558
26	5.522	5.298	1.555	-59.053	-19.189	547.399	-57.907	-14.017	545.844
27	7.97	7.952	0.527	-60.465	-36.131	547.754	-59.935	-28.197	547.227
28	1.92	1.92	0.006	-38.457	-19.424	547.181	-38.215	-17.519	547.175
29	3.961	3.901	0.689	-40.334	-18.865	549.050	-40.120	-14.970	549.739
30	12.878	12.679	2.253	10.224	-25.576	548.329	-2.214	-23.113	546.076
31	15.377	15.192	2.378	-2.296	-23.147	546.193	-17.465	-22.304	548.571
32	8.82	8.645	1.748	-17.707	-22.247	548.757	-26.262	-21.004	547.008
33	3.293	3.118	1.062	0.670	3.109	553.619	0.910	6.218	552.557
34	5.555	5.404	1.286	-57.815	3.229	553.179	-63.217	3.361	551.893
35	4.254	3.917	1.66	-66.007	-22.522	549.120	-62.114	-22.953	547.460
36	6.552	6.512	0.725	-62.104	-22.999	547.924	-62.041	-29.510	547.199
37	4.421	3.599	2.568	-62.945	-21.237	548.183	-63.321	-17.658	545.615
38	3.295	3.219	0.706	-63.293	-17.644	545.583	-62.189	-14.621	544.877
39	3.153	2.281	2.177	-60.111	-18.855	548.836	-62.352	-19.286	546.659
40	3.561	3.513	0.581	-61.808	-15.129	547.473	-63.275	-18.321	548.054
41	3.644	3.285	1.579	-56.703	-21.552	550.830	-55.915	-18.363	549.251
42	8.911	8.812	1.321	-52.522	-13.751	549.981	-53.466	-22.512	551.302
43	2.974	2.924	0.54	-46.844	-12.880	546.480	-46.378	-9.993	547.020
44	4.217	2.581	3.335	-50.174	-17.829	547.784	-52.712	-17.359	551.119
45	2.517	2.418	0.699	-57.572	10.883	552.862	-59.982	10.681	552.163
46	10.155	10.129	0.725	-26.929	-21.501	548.211	-37.056	-21.279	547.486
47	8.723	8.699	0.641	-37.048	-21.292	547.487	-45.590	-19.647	548.128
Total	399.231	387.508	58.749						

Table 2. Calculation of the length of tunnels I-6 and I-28.

compelling: the best way to replicate this in the complex tunnel network at Copán is using SLAM technology (Simultaneous Localization and Mapping Technology) with a portable mobile terrestrial LiDAR. To eventually supply for the needs of this

future project, Toppan already owns such equipment and Kanazawa University is planning to acquire one.

When compared with the fixed LiDAR that was

used, the advantage of this technology and of the portable mobile LiDAR is the significant reduction of time that could be spent in measuring a tunnel network as complex as Copan's. This technology does not require target measuring markers, and time spent in fieldwork is approximately reduced by 90%. In places without guaranteed safe working conditions, in unconsolidated tunnels within the network, it is not recommended to work during extended periods; SLAM technology could be the only means to completely document the entire tunnel network and arrive at a diagnosis of its state.

It must be noted, however, that a portable mobile LiDAR is not capable of capturing data with as high a precision as that of a fixed one supported by a tripod.

Means for Integration with Future Information

If the IHAH introduces the SLAM technology to document the entire tunnel network excavated by researchers working on the PAAC, integrating the data that has been collected during this project will raise technical issues. Even if both rely on LiDAR, the manufacturer of this other equipment and the principles underlying the measuring process differ. An analysis of these points has been done and the following measures have been taken.

1. Three fixed 3D reference points have been located near the entrance of tunnel I-6 and in the floor of the tomb chamber of *Margarita* so that both the fixed terrestrial LiDAR and the portable mobile LiDAR can scan them in the next phase of the Diagnostic Study by the IHAH in 2020. This methodology will guarantee the correct integration of different 3D data in the form of a point-cloud.

2. Geolocalization information of the point-cloud mentioned above by GNSS (Global Navigation Satellite System) topographics will be collected with

equipment supplied by Toppan. This methodology will guarantee the correct localization of different 3D data within the global coordinate system of the Maya Site of Copan.

According to what has been noted, all the data collected in this first phase of the project will serve as a starting point for the next and final stage of the Diagnostic Study that will be completed in 2020.

CHAPTER II : Calculating the volume: preliminary test

Based on the results of the three-dimensional measurements taken with a terrestrial LiDAR fixed on a tripod (FARO Focus 3D X330HDR) and in the subsequent analysis, attempts were done in 2019 to calculate the volume of the tunnel network focusing on the basement structure of Margarita and its surroundings. Based on objective calculations made with these three-dimensional measurements taken with devices using the latest technology available, this preliminary test aimed at calculating an unequivocal and reliable budget for the actual costs of consolidation and filling works of the tunnel network. It should be mentioned that this calculation was made with the support of experts from Toppan Printing, Co. Ltd. in Japan and Miguel Echeverría from Guatemala.

The procedure for calculating the volume is detailed below:

(1) Distance calculation.

Using the preset distance measurement function in the *3ds Max* software package, the distance of each sector of the tunnels of I-6 and I-28 as well as those of the surroundings of Margarita were

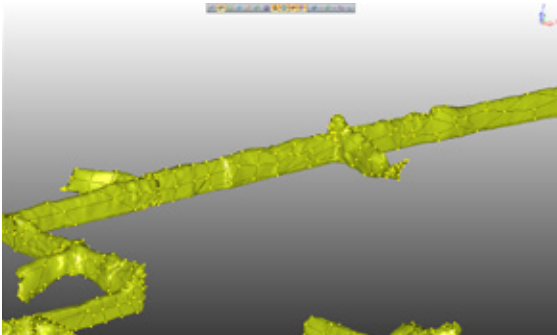


Fig. 13. Polygonalization process.

obtained (see Fig. 11 and Table 2 of Chapter I).

(2) Volume calculation

Leios, a point-cloud optimization program, was used first to fill any gaps in the point data and to carry out the polygonalization (Figs. 13 and 14) of the 3D model of the tunnels. The volume of the tunnels was then calculated by means of another preset measurement function in *3ds Max*. For this preliminary volumetric calculation test, the I-28 tunnel model was not used; only the volume of the I-6 tunnel and all of its branches that go to the surrounding areas of Margarita was calculated.

The total distance calculated by *3ds Max* was 245.20m; the total volume, 458.19m³. Limited to two significant figures, according to this methodology, each linear meter of the tunnel is in average approximately equivalent to 1.9m³ of excavated volume.

$$\frac{\text{volumen}}{\text{distancia}} = \frac{460\text{m}^3}{240\text{m}} = 1.9\text{m}^3/\text{m}$$



Fig. 14. Tunnel network after polygonalization.

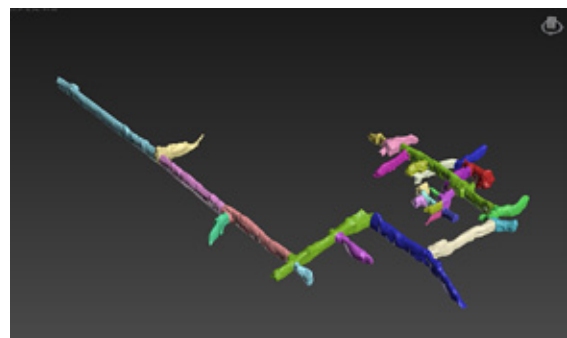


Fig. 15. Tunnel network divided in 31 sections.

(3) Testing for precision in *3ds Max*.

A calculation performed by a computer is correct up to a certain number of digits. By forcing the computer to run the volume calculation algorithm for a second time, but this time in the tunnel manually and arbitrarily set to be divided in 31 sections (see Fig. 15), an equally precise second result can be obtained. When contrasted with the volume obtained before, this second stepwise calculation must agree with it up to the precision allowed by software limitations, computing limitations and measurement limitations, thus evidencing the reliable figures in the results.

The total volume obtained this time was 462.15m^3 . This number coincides with the first calculation when rounded to the nearest ten — i.e., 462.15m^3 and 458.19m^3 both become 460m^3 when rounded— thus corroborating reliable calculations up to the second figure.

$$\text{volume} = 460\text{m}^3$$

$$\text{distance} = 250\text{m}$$

$$\text{volume/distance equivalence} = 1.9\text{m}^3/\text{m}$$

(4) Calculating the approximate cost of consolidating and filling the tunnels

If the total length of the network of the Copán tunnels is 3.2km (estimate made by the Regional Branch of the IHAH in Copán Ruinas) and 40% of the network will require filling or consolidating (figure based on report presented by Fash, Lacombe, etc. (2017: 2)), the total volume that would need to be addressed would be

$$3200\text{m} \times 1.9\text{m}^3/\text{m} \times 40\% = 2400\text{m}^3$$

If a budget of 6,000 Lempiras is needed (calculation presented by Fernando López to the IHAH on some occasions) to cover the expenses of work in each cubic meter of tunnel — workmanship, materials, freight of materials, supervision, administration, etc. included—, consolidation and filling of the

previously calculated volume would cost

$$6000\text{L}/\text{m}^3 \times 2400\text{m}^3 = 14\,000\,000\text{L}$$

This is 14 million Lempiras. Nonetheless, it is necessary here to call into attention that according to the Regional Branch of the IHAH at Copan Ruinas the figure used (6,000 Lempiras for each cubic meter of consolidation work) is rather conservative.

The problem that arises from this is **who should pay these expenses**. The most practical and realistic solution would be for each entity involved in this situation of the tunnels to contribute a part of the expenses necessary for their consolidation and filling. Considering that the Maya Site of Copan is a World Heritage site, the Japanese government has notified that it is willing to contribute with part of the funding necessary to address this problem. The director of the Chinese research team in Las Sepulturas has also expressed his support to the IHAH in this matter. Héctor Portillo, director of the IHAH, has also stated that the Honduran government is also willing to contribute a share. It should be noted that neither Japan nor China participated in PAAC activities.

In view of all what has been mentioned, the contribution of American universities such as Harvard and Pennsylvania as well as the efforts of PAAC archaeologists to collect and contribute to the fund would be indispensable since they were the principal actors and, for that matter, the most responsible.

The reasons why PAAC archaeologists left open the extensive network of tunnels have not yet been sufficiently clarified. However, it is understood that they have been left open in case they proved to be useful again in facilitating further studies and future complementary research. In fact, the directors of PAAC have continued to conduct studies focused on the conservation of uncovered stuccoed masks

and, in the cases of the tunnels of Temple 16 (Structure 10L-16) and Temple 26 (Structure 10L-26), they have also carried out partial stabilization and consolidation work (Fash et al. 2017). Even so, most of the tunnels excavated by PIAT — i.e., by the University of Pennsylvania Museum — have not received any attention due to their director passing away. Unfortunately, it is in that area where there are currently major problems due to the frailty of tunnels in certain sectors. Considering that the Maya Site of Copan is a World Heritage site, this situation must be solved as soon as possible.

The first step in addressing the problems of this tunnel network is to generate accurate documentation of it. Making this documentation as a 3D model would bring numerous advantages. For the stakeholders and the entities involved (IHAH, PAAC archaeologists, consultants, external experts, collaborators, international sponsors, etc.) it is essential to analyze, discuss and plan on the same scientific, neutral and objective basis, and for that, it is essential that they have correct data based on reliable calculations. In this sense, the three-dimensional measurement made with the SLAM technology that was used in 2019 was surely a first step.

CHAPTER III : Application of SLAM technology by means
of a mobile LiDAR: preliminary results

SLAM technology consists of the simultaneous estimation of the state of an apparatus equipped with on-board sensors and the construction of a model (the map) of the environment that the sensors are perceiving. In present day society, this technology is already being used in various fields of daily life, from automatic cleaning robots to driverless vehicles (Cadena et al. 2016). As explained in Chapter I, after performing several tests with the LiDAR equipment installed on a fixed tripod (FARO Focus 3D X330HDR), the conclusion that the only way to document the complex network of tunnels excavated by PIAT is to use a portable mobile LiDAR was reached. For this reason, two tests have been carried out in the network of tunnels of different structures in Copán using the Zeb Revo RT manufactured by GEOSLAM. It should be mentioned that for this essay, Toppan Printing, Co Ltd. of Japan again collaborated with us by providing such equipment and guiding PROARCO and IHAH staff in technical matters.

Test Carried out in the Tunnels of Temple 11 (Structure 10L-11)

A first test was carried out with the above mentioned equipment in the network of the tunnels

of Temple 11, a previously studied network that has an approximate length of 69m according to the calculations done by the *3ds Max* computer program (see Fig. 12 and Table 1 in Chapter I).

According to the specifications of the Zeb Revo RT (the LiDAR used in this test), this equipment is capable of measuring 43,200 points per second, but the accuracy of these measurements lies in a range that varies between $\pm 2-3\text{cm}$. Compared to the previously used equipment, the FARO Focus 3D X330HDR, this equipment only has 1/10 of the other's accuracy. This error range, however, has no greater meaning in a network of tunnels so complex and with 69m in length. In addition, its mobility compensates for this limitation. There are points that the laser of the Faro equipment did not reach, and there are regions that could not be measured in detail, but on the map made with the Zeb Revo RT (Fig. 16 left) it has all the parts covered and detailed. Since it is portable, it can take measurements from a closer position in the most difficult places. In view of this, we can assure that a portable mobile LiDAR equipment is more efficient in the case of the documentation of these tunnels.

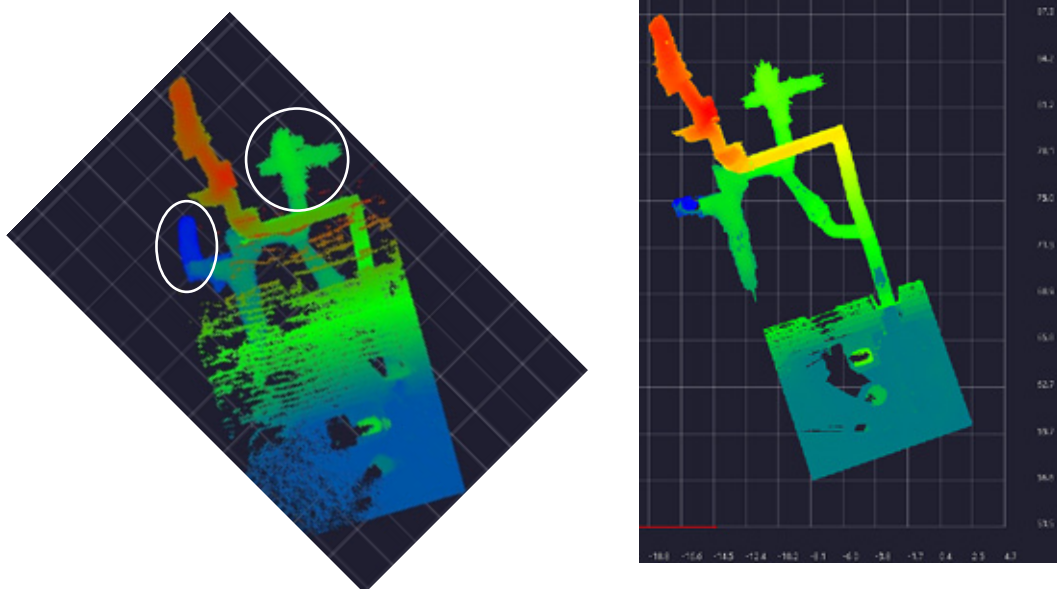


Fig. 16. Map created by the Zeb Revo RT (left), and by the Faro Focus 3D X330HDR (right).

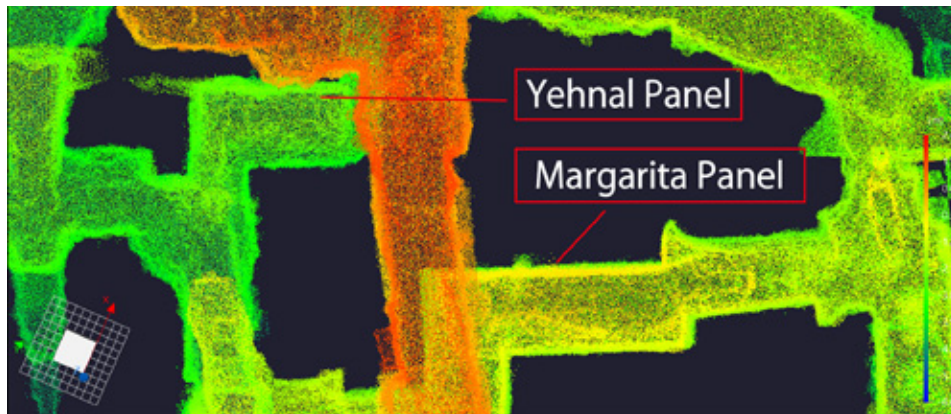


Fig. 17. Orthogonal projection from above the tunnel network around Margarita showing depth with a color gradient.

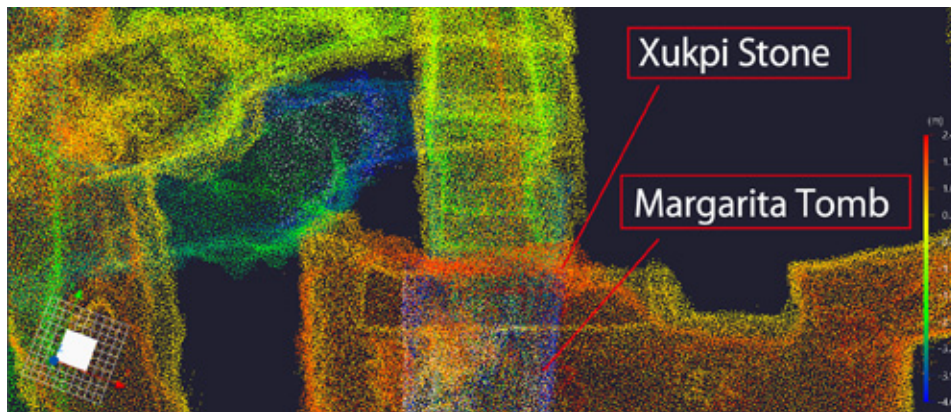


Fig. 18. Orthogonal projection from above the tunnel network around the Xukpi stone showing underneath the Margarita tomb (blue) and the access stairs (green) with a color gradient.

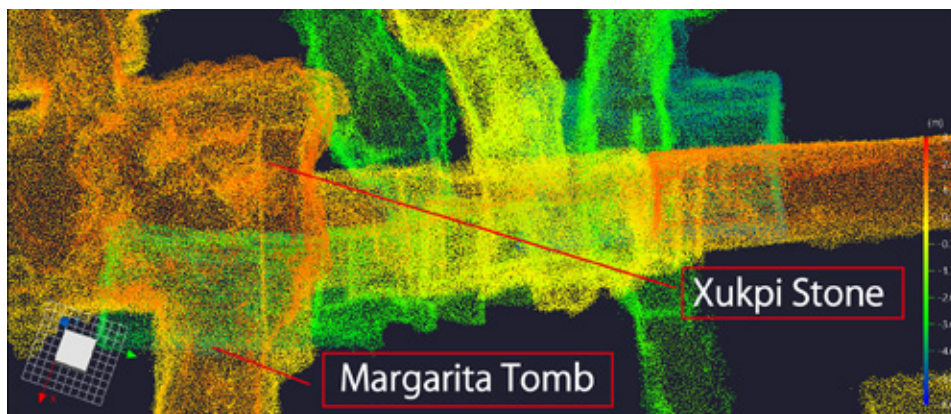


Fig. 19. View of Fig. 18 from a different angle through a color gradient.

Test Carried out in the Tunnel Network of PIAT near Margarita³

The situation in the tunnel network excavated by PIAT was much more complex. It was only possible to take 3D measurements in the main tunnels, I-6 and I-28. In the places around Margarita there are

many narrow and irregular branches where neither the LiDAR apparatus with a tripod nor the markers (targets) could be placed. In addition, some of these tunnels are currently in dangerous conditions since they are not consolidated.

Even under these conditions, it was possible to

³ Screenshot by M. Ogawa



Fig. 20. Orthogonal projection in specular image from below of the area around the Hunal and Margarita tombs.

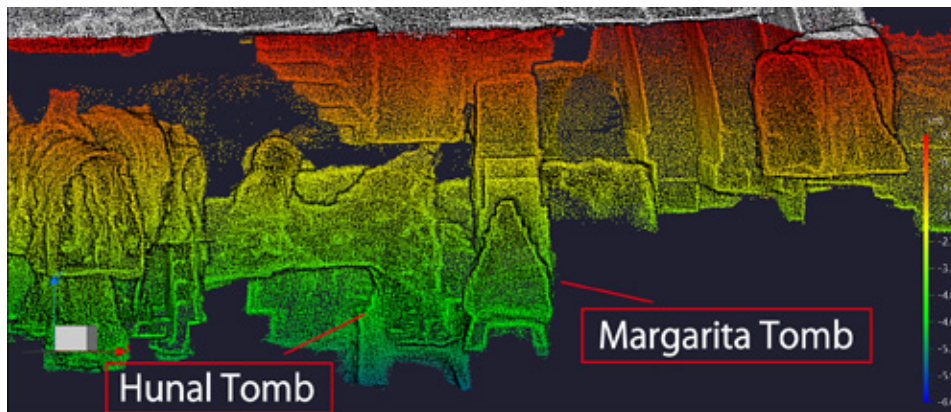


Fig. 21. Profile of the tunnel network around the Hunal and Margarita tombs.

carry out the 3D documentation with the portable mobile LiDAR equipment, and the preliminary results are excellent. In addition to succeeding in the detailed documentation of the complex network of tunnels around Margarita, the model created by the point-cloud has objectively shown for the first time the relationship between important archaeological features in the Early Acropolis of Copan in the Early Classic period.

According to these maps elaborated with the mobile LiDAR, not only the relationship between the tunnels irregularly excavated around Margarita and Yehnal (see Fig. 17), but also the relationship between important features such as the Xukpi Stone, the chamber of the Margarita tomb, the access stairs and the other tunnels (Fig. 18 and 19) are clarified.

The relationship between the tombs in Margarita and Hunal, the tomb features, and the wall of Margarita structure in the tunnel I-28 and are also

shown in Figs. 20 and 21 for the first time in an objective and visual way.

As mentioned at the end of Chapter I, the integration of the data that has been collected during the different tests could bring technical problems; although both are based on a LiDAR, the manufacturers and the principles that govern the measurement processes are different. For this reason, although the integration of the data is technically possible, it is advisable to choose the equipment according to the purpose of the measurement. For example, a portable LiDAR is recommended for the documentation of the tunnel network, while for the documentation of very important features such as the Margarita stuccoed panel, Yehnal, etc. the use of a LiDAR with a fixed tripod would be better suited.

Since the Maya Site of Copan is a World Cultural Heritage site, if the IHAH decides to introduce the use of SLAM technology to document the

entire network of tunnels excavated by researchers working during the 1990s for the PAAC, KU-Toppa would be willing to collaborate with this work.

Works Cited

Bell, Ellen

2007 *Early Classic Ritual Deposits within the Copán Acropolis: The Material Foundations of Political Power at a Classic Period Maya Center*. Ph.D. dissertation presented to the University of Pennsylvania.

Cadena, César, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid and J.J. Leonard

2016 “Past, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age.” *IEEE Transactions on Robotics* 32(6): 1309-1332

Fash, Barbara and William L. Fash

2015 Informe anual 2015: Programa Santander para la investigación y conservación de la escultura Maya. Guardado en la biblioteca del Centro Regional de Investigaciones Arqueológicas (CRIA), Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Copán Ruinas, Honduras.

Fash, William L.,

2001 *Scribes, Warriors, and Kings: The City of Copan and the Ancient Maya*. Thames and Hudson, London and New York.

Fash, William L., Laura Lacombe, Barbara Fash, Karina García and Nereyda Alonso.

2017 “Proyecto Formulación del Plan de Conservación a Largo Plazo de los Túneles de la Acrópolis de Copán” Informe interino presentado al Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH), Copán Ruinas, Honduras.

Garrison, Thomas G., Dustin Richmond, Perry Naughton, Eric Lo, Sabrina Trinh, Zachary Barnes, Albert Lin, Curt Schurgers, Ryan Kast-

ner and Sarah E. Newman

2016 “Tunnel Vision”. *Advances in Archaeological Practice* 4(2): 192-204.

Guerra, H. Eliud, and Fernando López

2017 “Acrópolis de Copán en la actualidad”. Una presentación realizada en el Simposio de Conservación de la red de los Túneles de la Acrópolis de Copán en 3 de Noviembre de 2017. Organizado por el Instituto Hondureño de Antropología e Historia (IHAH) y Universidad de Kanazawa, Japón. Copán Ruinas, Honduras.

Kidder, A. V., J. D. Jennings and E. M. Shook

1946 *Excavations at Kaminaljuyú, Guatemala*. Carnegie Institution of Washington Publication 561. Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.

Lacombe, Laura

2018 “Actualización de los túneles de Copán” Una presentación realizada en el Comité de conservación de la red de los túneles de la Acrópolis de Copán con fecha 14 de Abril de 2018.

Larios V., C. Rudy

2018 “Túneles de la Acrópolis de Copán y su Conservación”. Documento distribuido en el Comité de conservación de la red de los túneles de la Acrópolis de Copán con fecha 13 de Junio de 2018.

Longyear III, John M.

1952 *Copán Ceramics; A Study of Southeastern Maya Pottery*. Publication 597, Carnegie Institution of Washington. Washington, D.C.

Nakamura, Seiichi

2018 Informe técnico de la medición 3D de la red de los túneles de la investigación en la Acrópolis de Copán. Instituto Hondureño de Antropología e Historia, Tegucigalpa, M.D.C.

Smith, A. L.

1950 *Uaxactún, Guatemala: Excavations of 1931-1937*. Carnegie Institution of Washington Publication 588. Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.

金沢大学 文化資源学研究 第23号

発行日 2020年3月31日

発行 金沢大学人間社会研究域附属
国際文化資源学研究センター
〒920-1192 石川県金沢市角間町

編著者 中村 誠一

印刷 株式会社 栄光プリント
〒920-0806 金沢市神宮寺3-4-17