

## LA GEOLOGIA DEL CUATERNARIO DEL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS

K. E. Campbell<sup>1</sup> y Lidia Romero<sup>2</sup>

- (1) Natural History Museum, 800 Exposition Blvd., Los Angeles, California 90007 USA
- (2) INGEMMET, Pablo Bermúdez N° 211, Jesús María - Lima - PERU

### RESUMEN

Depósitos del Cuaternario tardío de la Formación Madre de Dios cubren todas las tierras bajas del departamento de Madre de Dios. La Formación comprende tres horizontes y alcanzan hasta 70 metros en espesor. El miembro A consta de dos unidades: una zona inferior conglomerádica con numerosos paleocanales y un alto grado de hematización, que yace discordantemente sobre las arcillas del Terciario y una zona superior que consiste en arcillas y arenas. Los estudios de radiocarbono indican una edad aproximada de 38,500 años antes del presente. Los dos horizontes superiores (miembros B y C) son fundamentalmente facies alternantes de arenas y arcillas, usualmente muy bien clasificadas y a menudo de varios metros de espesor. Los depósitos de paleocanal son comunes.

La composición total de los depósitos de la Formación Madre de Dios indican deposición en un gran lago con una estructura deltaica compleja. Por eso el contenido de oro en estos depósitos se presume que es mínimo. Los depósitos de oro que se explotan de los ríos de la región pudieron haber sido formados posteriormente hace 12,500 años del presente cuando la deposición fué interrumpida y nuevos procesos erosivos formaron los ríos caudalosos de la actualidad.

### ABSTRACT

The late Quaternary Madre de Dios Formations covers all of lowland Departamento Madre de Dios. The formation comprises three members that may reach up to 70 m in total thickness. Basal Member A consists of two beds: a lower, conglomeratic bed, with many paleochannels and a high degree of hematization, that rests unconformably upon Tertiary bedrock, and an upper bed of sands and clays. Radiocarbon dates indicate deposition at about 38 500 yr BP. The upper two members (B and C) are composed primarily of sand and clay facies, usually very well sorted and often several meters thick. Paleochannel deposits are common.

The overall composition of the Madre de Dios Formation indicates deposition within a complex deltaic system of a large lake. Therefore, the expected gold content of these deposits is minimal. The gold deposits in the rivers of the region that are currently being mined probably developed within the current river valleys as they formed after 12 500 yr BP when deposition in the region ceased and erosion began.

## INTRODUCCION

Existen pocos estudios de los depósitos Cuaternarios, del departamento de Madre de Dios y los trabajos que han sido publicados a menudo han complicado la interpretación de la geología regional debido a la aplicación de varios nombres formacionales basados en depósitos descritos mínimamente sin haber indicado las secciones tipo respectivas. Nosotros analizaremos brevemente la literatura para ubicar adecuadamente nuestros resultados.

Aún cuando DUENAS (1907) y BOWERY (1913) aportaron breves descripciones geológicas de los depósitos en la región, DOUGLAS (1933) fue el primero en proporcionar información bastante buena acerca de los depósitos de las tierras bajas del departamento de Madre de Dios, en base a una excursión de campo en el área del Río Huayllumbe en agosto de 1929. El dividió los depósitos expuestos a lo largo de ese río en dos grupos, "bed rock" y "aluvial covering"; correlacionó el "bed rock" con las "capas rojas" del Marañon descritas por SINGEWALD (1927), y sugirió que su edad era Cretáceo tardío a Eoceno. La cubierta aluvial descrita consistía en tres horizontes: El horizonte basal estaba compuesto por un conglomerado resistente de clastos andinos que directamente descansaban siempre sobre el basamento y que fué considerado de edad pre-Pleistocena. El autor mencionado reportó troncos de árboles semifósiles, interestratificados dentro del conglomerado o depositados inmediatamente encima de éste.

DOUGLAS, describió el horizonte medio como una capa de arenas finas o arcilla arenosa, completamente libre de guijarros. El horizonte superior era un segun-

do conglomerado con clastos, comparable en composición con el conglomerado basal; este conglomerado superior, inconsolidado, fué atribuido a la sobrecarga de los ríos con material morrénico de fines del Pleistoceno. DOUGLAS pensaba que los valles fluviales actuales se formaron a fines de este período de deposición y que los ríos modernos de la región tenían escasa relación con los cursos de los ríos pleistocénicos.

OPPENHEIM (1946), presentó la siguiente descripción general de la geología superficial de la región y denominó algunas de las unidades litológicas después de viajar de Cusco a Puerto Maldonado en diciembre de 1943; el dividió los depósitos cenozoicos en Formaciones del Terciario inferior y superior, denominó a las capas del Terciario inferior como Formación Quincemil e indicó que éstas: "... parecen representar las mismas capas rojas descritas por DOUGLAS (1933) para el área del río Huallumbe (Sic.)". OPPENHEIM (1946: 262). Estas capas fueron denominadas con referencia al basamento expuesto unos 3 km. al este de la ciudad de Quincemil en el camino a la ciudad de Puerto Maldonado.

OPPENHEIM (1946 : 262) ubicó la base de la Formación Madre de Dios en "la potente sucesión de sedimentos terciarios jóvenes que ocurren normalmente en afloramientos aislados" desde la desembocadura del Río Heath, en el límite Perú-Bolivia aguas arriba incluyendo el valle inferior del Río Inambari. En su mapa del área, sin embargo, OPPENHEIM (1946:260) ilustró y refirió depósitos en esta área como la "Formación Montaña". Probablemente las Formaciones Madre de Dios y Montaña son sinónimas, y como el último

nombre aparece solamente en una ilustración, debería dársele prioridad al primero.

El nivel del agua de los ríos en esta región fluctua fuertemente durante el año hasta 10 m. ó más. Las rocas terciarias raramente sobresalen más de 3-4 m., sobre el nivel del agua durante la estación seca y muy a menudo no son visibles. Debido a que OPPENHEIM hizo sus observaciones en diciembre más o menos a la mitad de la estación lluviosa, él no pudo haber visto rocas terciarias en la ruta de viaje a lo largo de los ríos Inambari y Madre de Dios. Por consiguiente la Formación Madre de Dios de OPPENHEIM debe correlacionarse con la "cubierta aluvial" de DOUGLAS (1933). Sin embargo OPPENHEIM (1946) en vez de considerar esto como una formación cuaternaria, sugirió un rango de edad desde el Terciario medio hasta el Plioceno-Pleistoceno y posteriormente (OPPENHEIM, 1975: 85) de posible edad miocena a pliocena.

Resúmenes de la geología regional fueron publicados más tarde por ONERN (1972 - 1977). En estos trabajos ONERN, reconoció una Formación del Terciario inferior de gran extensión que correlacionó con la Formación Capas Rojas (según CABRERA LA ROSA 1932 ?). La Formación Capas Rojas es probablemente correlacionable con el "basamento" o "Capas Rojas" de DOUGLAS (1933) y las "Capas Quincemil" de OPPENHEIM (1946), pero debido a la moderada distancia que separa las áreas de estudio de Douglas y Oppenheim de aquella de ONERN, este punto es tal vez todavía discutible.

ONERN (1972), siguió la interpretación de OPPENHEIM (1946), en el sentido de considerar los depósitos suprayacentes como Formación Madre de Dios y asig-

narlos al Terciario tardío. De su descripción de los sedimentos y del hecho que las capas fueron consideradas como ubicadas en posición horizontal a subhorizontal descansando, a través de una discordancia angular, sobre la Formación Capas Rojas, es claro que éstos depósitos correlacionan con la "Cubierta aluvial" de DOUGLAS (1933). Los únicos depósitos asignados por ONERN (1972), al Cuaternario fueron varios tipos de depósitos aluviales inconsolidados a lo largo de los cursos de los ríos actuales.

Posteriormente, sin embargo ONERN (1972), denominó a las Formaciones Iñapari y Shiringayoc, estableciendo que éstas representaban depósitos del Terciario tardío-Cuaternario temprano y Cuaternario respectivamente. Las descripciones de estas Formaciones fueron esencialmente las mismas, que su descripción de la Formación Madre de Dios (ONERN, 1972). Claramente las Formaciones Iñapari y Shiringayoc no son solamente sinónimas una con otra (como lo ha notado CAMPBELL et al. 1985), sino también con la Formación Madre de Dios. Como esta última tiene prioridad, todos los depósitos Cuaternarios del departamento de Madre de Dios son asignables a la Formación Madre de Dios.

Más recientemente, CAMPBELL y FRAILEY (1984, 1985) describieron los depósitos que afloran a lo largo del Río Acre, el cual forma, en parte, la frontera Perú-Brasil. Ellos relacionaron las capas terciarias, suavemente inclinadas, a las "Capas Rojas" y basándose en fósiles vertebrados descubiertos in situ asignaron estos depósitos al Mioceno tardío.

Los depósitos suprayacentes inconsolidados fueron relacionados

a la Formación Iñapari (según ONERN 1977) y asignados al Holoceno con base en la determinación de radio carbono en madera fósil tomada de lo que ellos consideraron ser la unidad basal de esos depósitos. Su interpretación de estos depósitos aluviales fué similar a la de DOUGLAS (1933), y correlacionaron los depósitos del Río Acre con aquellos que afloran a lo largo del Río Jurúa, aguas arriba de Cruzeiro Do Sul en Brasil, descritos por SIMPSON y PAULA COUTO (1981: 15-17).

CAMPBELL et al. (1985), ampliaron la distribución conocida de la Formación Iñapari (Formación Madre de Dios) correlacionando los depósitos que afloran a lo largo del Río Beni, Bolivia, con aquellos registrados en el Río Acre, y por extensión, con aquellos registrados en el Río Jurúa. FRAILEY, (1986) revisó la geología regional del suroeste de la amazonía cuando describió los fósiles vertebrados encontrados a lo largo del Río Acre. El relacionó los depósitos Terciarios a la Formación Madre de Dios según OPPENHEIM (1946), y los depósitos Cuaternarios suprayacentes a la Formación Iñapari, siguiendo en parte a ONERN (1972, 1977).

En resumen los autores anteriores han reconocido que dos formaciones de edades diferentes cubren las tierras bajas del departamento de Madre de Dios. Los depósitos más antiguos están empinados o suavemente inclinados con al menos alguna de las capas asignables al Mioceno de acuerdo a los fósiles vertebrados contenidos. Estos depósitos son correlacionables con cierta porción de las potentes (>6 000 m.) Capas Rojas encontradas en toda la parte occidental de la Amazonía (RUEGG 1956, KUMMEL 1948).

Los depósitos más recientes son sedimentos aluviales inconsolidados, subhorizontales hasta horizontales atribuibles al Cuaternario u Holoceno. Tales depósitos son correlacionables a la Formación Madre de Dios de OPPENHEIM (1946), de la cual la Formación Iñapari y la Formación Shiringayoc de ONERN (1977) son sinónimos recientes.

#### RESULTADOS PRELIMINARES DEL RECONOCIMIENTO DE AGOSTO DE 1986

Nosotros hemos llevado a cabo un reconocimiento de afloramientos expuesto en los bancos del Río Madre de Dios, desde Puerto Pardo en el límite de Perú-Bolivia hasta aguas arriba de la confluencia con el Río Colorado. También reconocimos el Río Tambopata desde Puerto Maldonado hasta aguas arriba de la confluencia del Río Carama (o Malinowsky) y hasta la parte inferior del Río Las Piedras (Fig. 1). Dos secciones estratigráficas fueron medidas a lo largo del Río Madre de Dios y una a lo largo de cada uno de los últimos ríos (Fig. 2). Fueron recogidas muestras de sedimentos con intervalos de 1 metro en cada una de estas cuatro secciones y próximamente publicaremos un análisis detallado de la sedimentología de la región.

El nivel del río fué más alto que lo normal en agosto de 1986 y las capas terciarias, en donde estaban expuestas, raras veces sobresalían más de 2-3 m., sobre el nivel del agua aunque habían unas pocas localidades a lo largo del Río Madre de Dios donde ellas mostraban una potencia de cerca de 11 m. No hicimos observaciones de las rocas terciarias excepto para señalar que ellas consistían de arcilla moderadamente endurecida con horizontes

ocasionales de arenas bien clasificadas. En ningún lugar durante esta investigación fuimos capaces de discernir alguna evidencia para establecer un perfil del suelo sobre el basamento. Esto difiere de las observaciones de SIPMSON y PAULA COUTO (1981) y CAMPBELL y FRAILEY (1984) quienes registraron vestigios de paleosuelos sobre el basamento terciario en afloramientos más al norte; en adelante correlacionaremos simplemente el basamento terciario a las "Capas Rojas".

Aunque los buenos afloramientos que muestren secciones completas están bastante aislados a lo largo de los ríos, lo que re-

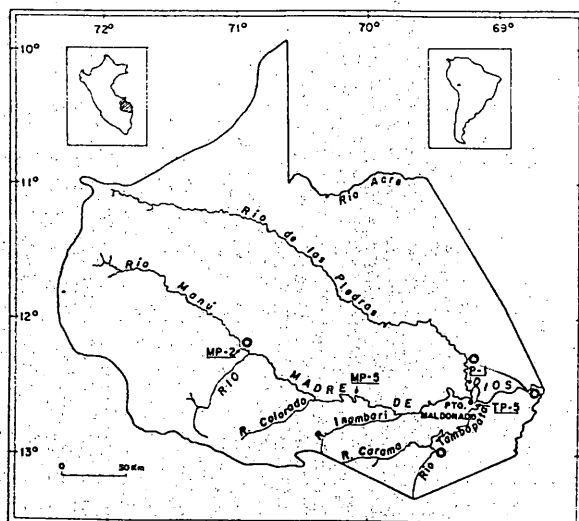


Fig. 1. Mapa del departamento de Madre de Dios. Tramos de ríos estudiados entre círculos.

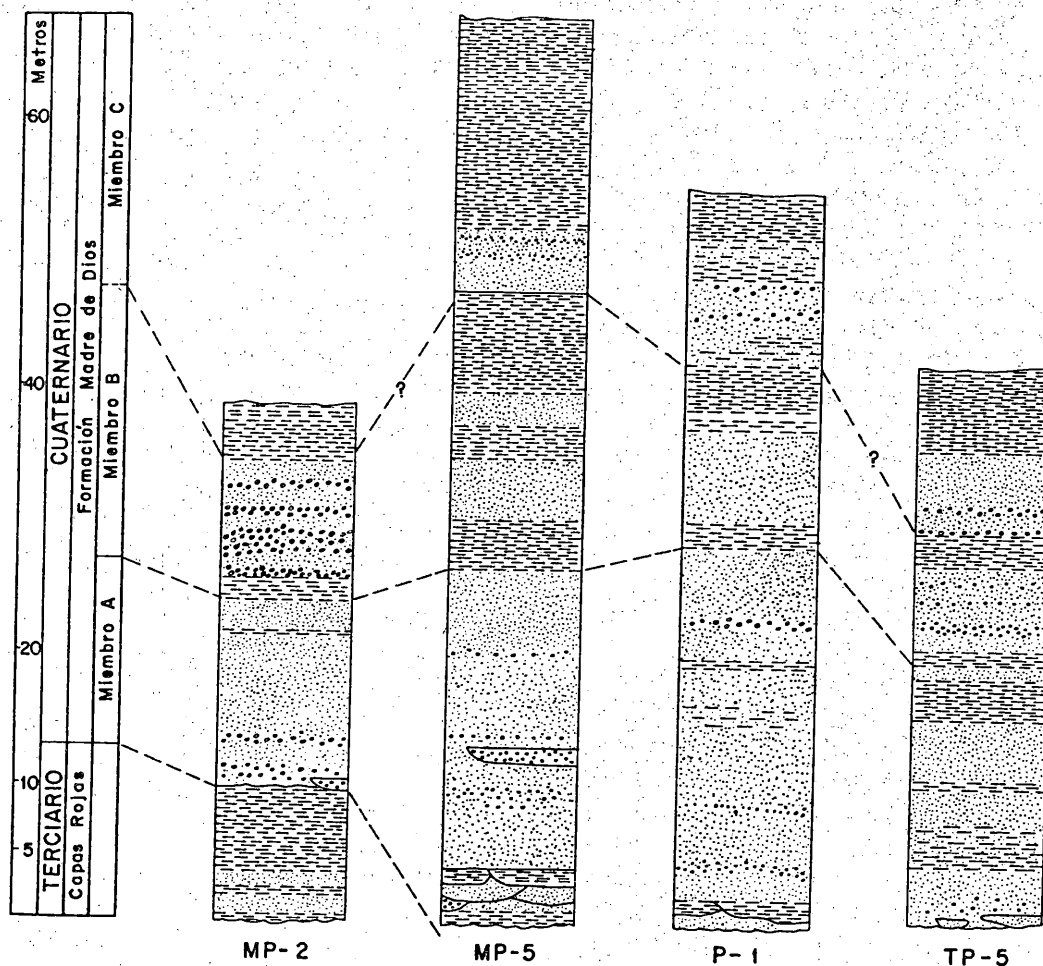


Fig. 2. Las cuatro secciones medidas indican la relativa escasez de sedimentos de grano grueso en la Formación Madre de Dios. Los puntos grandes denotan conglomerados de arcilla y los círculos indican depósitos de grava. Ver Fig. 1, para la localización de las secciones.

quiere que su correlación sea inferida, nuestras investigaciones confirman que los depósitos Cuaternarios son bastante uniformes en toda la región. Nuestros resultados concuerdan en general con aquellos de CAMPBELL y FRAILEY (1984, 1985), CAMPBELL et al. (1985) y FRAILEY (1986). En tales trabajos los depósitos Cuaternarios fueron divididos en cuatro horizontes: un conglomerado basal con guijarros y arcilla que ocurre localmente, denominado el Miembro Conglomerado Acre (CAMPBELL et al. 1985); un horizonte subsecuente de arenas acanaladas y arcillas acanaladas con estratificación variable, el miembro A; y dos horizontes superiores de limos compactos y arenas finas, los miembros B y C.

(CAMPBELL et al. 1985) propusieron incluir en el miembro conglomerado Acre depósitos conglomerádicos localizados. Los clastos primarios de este conglomerado son bolas de arcilla derivadas del basamento terciario subyacente. Incluidos como clastos, hay módulos de calcita y fósiles vertebrados, ambos derivados del basamento terciario y abundante madera lignítica fósil. Durante nuestro reconocimiento no observamos ningún depósito que pudieramos asignar al miembro Conglomerado Acre.

El miembro A fué observado en todos los afloramientos. Este depósito es altamente complejo, muy irregular, y divisible en dos capas. La capa inferior descansa sobre el basamento terciario y comprende una serie de depósitos de canal, que pueden incluir conglomerados de clastos andinos hasta de 8-10 cms. de diámetro; conglomerados compuestos por clastos de bolas de arcilla de hasta 1-2 m. de diámetro; arenas bien clasificadas, con estratificación cruzada, y

hasta arcillas limosas. Troncos de árboles fósiles ligníticos son muy comunes en este conglomerado tal como fué notado por DOUGLAS (1933). Frecuentemente el horizonte basal de estas capas es un conglomerado, fuertemente cementado por hematita. Este horizonte a menudo se forma rápidamente a lo largo de los ríos en las tierras bajas del suroeste de la Amazonía; esta capa usualmente está cubierta por una capa de hematita de 2-6 cm. de espesor, que sigue las irregularidades de su superficie (ver CAMPBELL et al. 1985 : Fig. 8). Además de este característico depósito de hematita, los límites de los canales individuales están frecuentemente marcados por depósitos de hematita de 1-2 cm. de espesor.

La capa superior del Miembro A, está presente en todas partes y sus límites superiores usualmente forman una superficie subhorizontal a horizontal. Este depósito está compuesto casi enteramente de pura arena con estratificación cruzada, limos y arcillas estratificadas o arcillas masivas, horizontes de pequeñas bolas de arcilla o clastos andinos con menos que 2 cm. de diámetro no son raros y troncos de árboles fósiles ligníticos son bastante comunes. Hay depósitos de canal, pero son pequeños; los más grandes ocurren en la parte alta de la capa. El miembro A está separado del miembro B por una capa delgada de hematita y un cambio marcado en el tipo de sedimento.

El contacto abrupto entre las capas terciarias y las cuaternarias suprayacentes es muy irregular. Donde el Terciario muestra una cierta elevación, la capa inferior del miembro A está ausente, indicando que esta capa se formó cuando las depresiones

topográficas de la superficie terciaria fueron colmatadas. La colmatación fué completada por la deposición de la capa superior del miembro A, al final de la cual el relieve de la Amazonía suroccidental debió haber sido mínimo.

Los depósitos que sobreyacen al miembro A, han sido divididos en miembro B y miembro C y caracterizados como limos-arcillosos o arenas-limosas (CAMPBELL y FRAILEY 1984, 1985; CAMPBELL et al. 1985). Estas descripciones estuvieron basadas en observaciones hechas desde la base de los acantilados altos que forman los afloramientos a lo largo de los ríos. Nuestro muestreo de sedimentos durante 1986 mostró que el componente principal de los miembros B y C es arcilla pura, a menudo con algunos metros de espesor. Los depósitos de arcilla pura se encuentran también interdigitados con depósitos de arenas bien clasificadas; también encontramos muchas bolsonadas de conglomerados de guijarros de arcilla y más cerca a los Andes, de gravas. Los depósitos de canal son relativamente comunes y han sido citados anteriormente como frecuentes marcadores del límite entre el miembro B y el miembro C (CAMPBELL y FRAILEY 1984, CAMPBELL et al. 1985). La estructura y composición de los depósitos que corresponden a los miembros B y C indican claramente que ellos fueron depositados en un ambiente deltaico dentro un gran lago. No se encontró en estos depósitos plantas ni animales fósiles.

Después de una observación más detallada de los depósitos que sobreyacen al miembro A, no estamos convencidos que éstos pueden ser divididos en dos miembros separados. Los contactos entre los miembros B y C ilús-

trados por CAMPBELL et al. (1985) pueden también representar el contacto entre diferentes facies de un solo miembro. La pregunta de si los depósitos superiores representan uno o dos miembros puede ser respondida por el análisis de las muestras de sedimentos; pero hasta entonces nosotros consideramos ambas posibilidades abiertas.

La edad exacta de la Formación Madre de Dios es todavía incierta aunque los datos disponibles indican que los depósitos se acumularon durante el Cuaternario tardío-Holoceno. De las cinco muestras de madera del miembro A en el Perú y dos del miembro A en Bolivia sometidos a datación por radiocarbono, todas menos dos fueron muy antiguas para ser datadas mediante este método. Una datación correspondiente al Perú fué de  $36\ 470 \pm 790$  años (Beta-18376), y una correspondiente a Bolivia fué  $36520 \pm 790$  años (Beta-15 252); la segunda fué corregida posteriormente usando solamente la fracción celulósica, y arrojó una edad de  $36590 \pm 730$  (Beta-15 635), virtualmente idéntica al primer resultado. Estas edades son más antiguas que aquellos reportadas por CAMPBELL y FRAILEY (1984), para muestras que ellos asumieron que correspondían al miembro A en lugares a lo largo del Río Acre, las cuales variaban desde  $10085 \pm 150$  años a  $5575 \pm 105$  años. Nosotros datamos el tiempo de deposición del miembro Conglomerado Acre y el comienzo de la deposición del miembro A entre 45000 - 40000 años antes del presente.

Los indicios de que los diversos miembros de la Formación Madre de Dios fueron formados como depósitos deltaicos dentro de un gran lago debieran ser de considerable interés para aquellos buscadores de depósitos de pla-

ceres auríferos en la región. Como DOUGLAS (1933) observó tan sagazmente los depósitos Cuaternarios cubren las tierras bajas de la amazonía del departamento de Madre de Dios y los ríos modernos son un fenómeno post-deposicional; es decir, Holoceno. La productividad del oro en la región depende de si el oro que está siendo explotado actualmente de los depósitos de placeres en los ríos proceden de la erosión de los depósitos Cuaternarios o de si este es transportado directamente desde los Andes. Según nuestras observaciones, hay pocos horizontes dentro del Cuaternario que son prometedores para la producción de oro. Es necesario medir y muestrear más secciones de la Formación Madre de Dios y evaluar a ésta como constituida por depósitos deltaicos del Cuaternario tardío, antes de formular una opinión definitiva acerca de la producción futura de oro. Sin embargo, el probable contenido de oro en la mayoría de los depósitos de la Formación Madre de Dios puede ser estimada como mínimo.

## CONCLUSIONES

Dos Formaciones afloran a lo largo de los ríos del departamento de Madre de Dios. Los depósitos más antiguos que afloran sólo irregularmente sobre el nivel de las aguas, son de edad Terciaria y corresponden a las "Capas Rojas" encontrados en toda la Amazonía occidental. Los depósitos más jóvenes son principalmente depósitos deltaicos sin consolidar de arcillas y arenas del Cuaternario tardío Holoceno. Estos depósitos cubren todas las tierras bajas de la región y son correlacionables con la Formación Madre de Dios. La composición esencialmente microgranular de la Formación Madre de Dios sugiere que su pro-

bable contenido de oro es mínimo.

## AGRADECIMIENTO

El trabajo de campo reportado aquí fue ejecutado mediante un convenio de cooperación entre INGEMMET y el NATURAL HISTORY MUSEUM OF LOS ANGELES, COUNTY.

Nosotros agradecemos la ayuda y cooperación del Ing. Juan Zegarra W., Director Ejecutivo de INGEMMET, del Prefecto de Madre de Dios, Sr. Ricardo López del Aguila, del Ing. Armando Trillo G., de Aurifera El Sol S. A. y del sr. Fritz Hertel. La ayuda financiera fue proporcionada por el fondo NSF - BSR - 8420012

## REFERENCIAS

BOUERY, P. (1913) "Examining a Peruvian Placer". Mining and Scientific Press, 21 June 1913, 106(25): 944-946.

CAMPBELL, K. and D. FRAILEY (1985). "Holocene flooding and Species Diversity in Southwestern Amazonia". Quaternary Research 21: 369-375.

CAMPBELL, K. and C. D. FRAILEY (1985) "Paleontological Investigations in Southeastern Perú": National Geographic Society Research Reports 18: 189-199.

CAMPBELL, K., C. D. FRAILEY, and J. ARELLANO, L. (1985) "The Geology of the Rio Beni: Further Evidence for Holocene Flooding in Amazonia": Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles County, N0364: 1-18.

CABRERA LA ROSA, A. (1932) "Notas sobre la Geografía y Geología del valle del Río Santiago." Revista Ciencias 25: 397-402

DUEÑAS, E. E. (1907) "Aspecto Minero del Departamento del



- Cuzco": Boletín Ingeniería y Minería del Perú, Nº 53: 1-194
- DOUGLAS, J. A. (1933) "The Geology of the Marcapata Valley in Eastern Perú." : Geological Society of London, Quarterly Journal 89: 308-356.
- FRAILEY, C. D. (1986) "Late Miocene and Holocene Mammals, Exclusive of the Notoungulata, of the Rio Acre Region, Western Amazonia": Contributions in Science,, Natural History Museum of los Angeles County, Nº. 374: 1-46.
- KUMMEL, B. (1948) "Geological reconnaissance of the Contamana Region, Perú." : Geological Society of America, Bulletin 59: 1217-1266.
- ONERN. (1972) "Inventario, evaluación e integración de los recursos naturales de la zona de los Ríos Inambari y Madre de Dios": Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), Republica del Perú, Lima. 296 pp.
- OPPENHEIM, V. (1946) "Geological Reconnaissance in Southeastern Perú " : American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 30: 254-264.
- OPPENHEIM, V. (1975) "The first (1944) Geological Exploration of the Upper Amazon Valley in Perú. " : Boletín de la Sociedad Geológica del Perú 45: 83-94.
- RUEGG, W. (1956) "Geología y petróleo en la Faja Subandina Peruana": Simposio sobre yacimientos de Petróleo y Gas, XX Congreso Geológico Internacional IV, Mexico, pp. 89-139.
- SIMPSON, G. G. and C. PAULA COUTO. (1981). "Fossil Mammals from the Cenozoic of Acre, Brazil III - Pleistocene Edentata, Pilosa, Proboscidea, Sirenia, Perissodactyla and Artiodactyla. " : Iheringia, Serié Geologica, Porto Alegre 6: 11-73.
- SINGEWALD, J. T. (1927). "Pongo de Manseriche": Geological Society of America, Bulletin 38: 479-492.