CONSULTORÍA SOBRE RECURSOS PALEONTOLÓGICOS EN SITIOS DE EXCAVACIÓN EN LAS ÁREAS DE PROYECTOS DE MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL CANAL

Contrato SAA-156837

Para:

Autoridad del Canal de Panamá

Programa de Inversiones del Plan Maestro

Edif. 744, 2DO. Piso, El Prado – Balboa

Panamá, Republica de Panamá

Preparado por:

Laboratory for Geological Research

Michael Xavier Kirby, Ph.D.

265 Cross Street

Middletown, CT 06457

(860) 316-8134

mkirby@flmnh.ufl.edu

25 de diciembre de 2005

INDICE

1.0 Resumen 3

2.0 Introducción 4

3.0 Métodos 5

4.0 Ambiente Geológico Regional 7

5.0 Evaluación Paleontológica de Las Formaciones en Las Areas de Expansión 10

5.1 Formación La Boca 10

5.2 Formación Culebra 11

5.3 Formación Cucaracha 12

5.4 Formación Pedro Miguel 14

5.5 Formación Gatún 15

5.6 Lama del Pacífico y Lama del Atlántico 16

6.0 Resumen de Resultados y Discusión 16

7.0 Plan de Reducción del Impacto Paleontológico en Las Areas de Expansión 17

Apéndice A – Investigación Bibliográfica

Apéndice B – Entrevistas

Apéndice C – Matriz de Localidades del Presente Estudio

Apéndice D – Matriz de Localidades de Otros Estudios

Apéndice E – Mapas

Apéndice F – Descripción cada Localidad

Apéndice G – Fotografías de Campo

Apéndice H – Evaluación de este Estudio por Dr. Bruce MacFadden

1.0 RESUMEN

Este estudio de evaluación de los recursos Paleontológicos ha sido realizado para el Canal de Panamá como paso preliminar, con el fin de determinar la necesidad de implementar un Programa de Reducción de Impacto en los Recursos Paleontológicos, a fin de mitigar la posible pérdida de recursos paleontológicos no renovables durante la proyectada expansión del Canal de Panamá. El objetivo del Contrato es identificar áreas con un alto potencial de albergar restos paleontológicos a lo largo del alineamiento de las nuevas esclusas y en sitios donde se van a llevar a cabo proyectos de modernización, para desarrollar e implementar medidas de mitigación.

Las dos áreas propuestas en la expansión son: (1) El área sur, ubicada inmediatamente al oeste del actual Canal de Panamá, entre la entrada del canal al sur de las esclusas de Miraflores y el Puente Centenario, y (2) El área norte, ubicada inmediatamente al este de las actuales esclusas de Gatún.

A lo largo del Canal de Panamá existen siete formaciones geológicas en las dos áreas propuestas para la expansión. Las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Pedro Miguel y la Lama del Pacífico se encuentran en el área sur. La formación Gatún y la Lama del Atlántico se encuentran ubicados en el área norte.

Se ha determinado que las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Gatún, Lama del Pacifico y Lama del Atlántico tienen un alta probabilidad de contener recursos paleontológicos. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas en las que estas formaciones geológicas están presentes. Se ha determinado que la formación Pedro Miguel tiene un bajo potencial de recursos paleontológicos y un monitoreo paleontológico no es recomendado en aquellos lugares en los que esta formación rocosa está presente.

Este estudio aconseja el establecimiento de un Programa de Reducción de Impacto en los Recursos Paleontológicos que especifique los requisitos para monitorear excavaciones y las acciones necesarias para reunir fósiles en la eventualidad que se encuentre éstos en las excavaciones.

Las recomendaciones específicas son: (1) contratar un paleontólogo calificado para implementar el programa, (2) formar un equipo de monitores palentológicos, (3) seleccionar un jefe de equipo que reporte directamente al paleontólogo, (4) a lo menos un monitor deberá estar presente durante operaciones de remoción de suelo en las áreas consideradas de alto potencial paleontológico, (5) el equipo de monitoreo deberá reunir y procesar sedimentos procedentes de áreas que tengan un alto potencial de fósiles microvertebrados, (6) los depósitos de fósiles deberán ser recuperados usan técnicas paleontológicas modernas, (7) se deberá medir secciones estratigráficas donde sea apropiado, (8) todos los fósiles reunidos durante el proyecto deberán ser identificados, perservados y preparados para su almacenamiento en una institución depositoria permanente, y (9) deberá elaborarse un informe final que documente las actividades de monitoreo y rescate así como la importancia de los especimenes fósiles encontrados.

2.0 INTRODUCCIÓN

Este estudio de evaluación de los recursos paleontológicos ha sido realizado para el Canal de Panamá como paso preliminar, con el fin de determinar la necesidad de implementar un Programa de Reducción de Impacto en los Recursos Paleontológicos, a fin de mitigar la posible pérdida de recursos paleontológicos no renovables (por ejemplo, fósiles) durante la expansión del Canal de Panamá. Esta evaluación comenzó el 25 de julio de 2005 a cargo del Dr. Michael Xavier Kirby, como resultado de un contrato de seis meses (SAA-156831) otorgado por la Autoridad del Canal de Panamá. El objetivo del Contrato es identificar áreas con un alto potencial de albergar restos paleontológicos a lo largo del alineamiento de las nuevas esclusas y en sitios donde se van a llevar a cabo proyectos de modernización, para desarrollar e implementar medidas de mitigación. Las dos áreas propuestas en la expansión son: (1) El área sur, ubicada inmediatamente al oeste del actual Canal de Panamá, entre la entrada del canal al sur de las esclusas de Miraflores y el Puente Centenario, y (2) El área norte, ubicada inmediatamente al este de las actuales esclusas de Gatún. En este informe se hará referencia esas dos áreas como área sur y área norte, respectivamente (Fig. 1). Para las dos áreas se propone un nuevo grupo de esclusas y un nuevo alineamiento.

Las formaciones rocosas expuestas a lo largo del Canal de Panamá contienen un registro fósil rico y diverso que ha sido ampliamente documentado en la literatura. Existen fósiles de organismos terrestres, entre los que se incluyen mamíferos, reptiles y plantas. También existen depósitos de fósiles de organismos marinos, los que constan de foraminíferas, algas coralinas, corales, crustáceos, moluscos y equinodermos. Estas faunas y las rocas que las contienen fueron inicialmente expuestas durante la construcción del Canal de Panamá entre 1904 y 1914 (Vaughan, 1919a). El posterior ensanchamiento del Canal de Panamá en los últimos cien años ha seguido exponiendo afloramientos que contiene esta diversa flora y fauna (Woodring, 1957-1982; Whitmore y Stewart, 1965; Blacut y Kleinpell, 1969; Johnson y Kirby, 2006).

El registro fósil es importante en términos educacionales y científicos porque nos permite entender: (1) la evolución y ecología de las comunidades terrestres y marinas en el pasado de Panamá, (2) la formación del Istmo de Panamá, y (3) los cambios en el clima de Panamá. Tal vez el descubrimiento paleontológico más sorprendente ha sido el hallazgo de mamíferos terrestres, conocidos colectivamente como "Fauna Local del Corte Gaillard." El descubrimiento más temprano que se ha reportado fue hecho en 1942, cuando T. Thompson, geólogo de la Compañía del Canal de Panamá, encontró el fémur de un mamífero semejante al de un ungulado (Woodring, 1957). Otros mamíferos terrestres fueron descubiertos por medio de la excavación continua en la formación Cucaracha del Mioceno medio e inferior (Whitmore y Stewart, 1965). Todos los mamíferos terrestres encontrados hasta ahora tienen sólo afinidades norteamericanas (Whitmore y Stewart, 1965; MacFadden y Higgins, 2004; MacFadden, 2005). Esta fauna es de particular importancia porque representa la evidencia más temprana de una

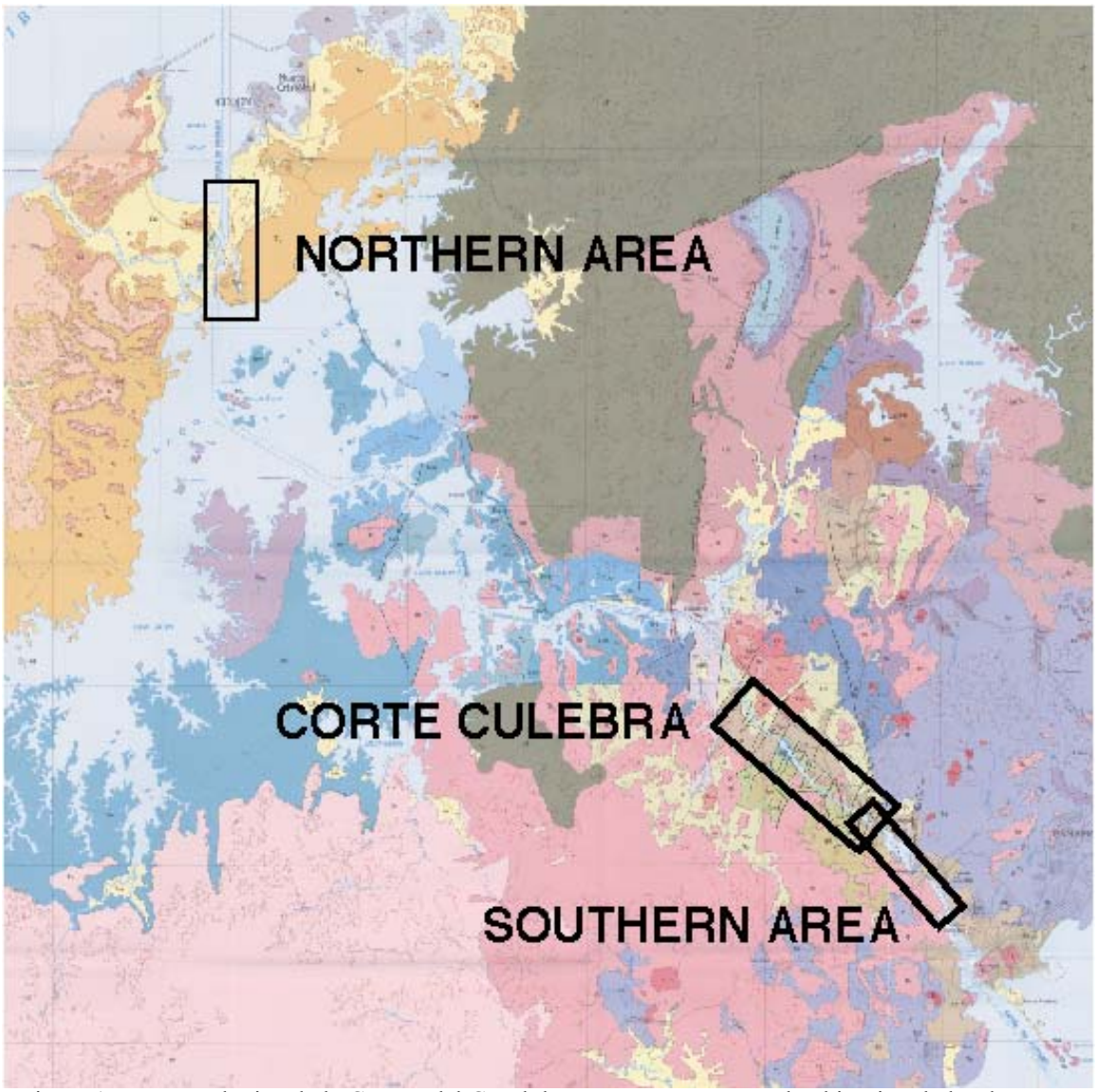


Figura 1. Mapa geológico de la Cuenca del Canal de Panamá que muestra la ubicación de las dos áreas propuestas para la expansión: (A) el área norte y (B) el área sur. También se muestra la ubicación del Corte Culebra (mapa de Stewart et al., 1980).

conexión de masa terrestre seca con América del Norte e indica que hacia el Mioceno, en Panamá, ya estaba bien establecida una comunidad continental diversa (Whitmore y Stewart, 1965; MacFadden y Higgins, 2004; Kirby y MacFadden, 2005). Estos mamíferos terrestres representan la fauna norteamericana más austral anterior al gran intercambio biótico americano de hace tres millones de años, cuando los mamíferos terrestres cruzaron a través del recientemente formado istmo desde América del Norte a América del Sur y vice versa (Whitmore y Stewart, 1965; Stehli y Webb, 1985).

3.0 MÉTODOS

La información para la evaluación paleontológica fue reunida a través de una búsqueda bibliográfica (Apéndice A), entrevistas con expertos seleccionados (Apéndice B) y un

reconocimiento de campo. La investigación bibliográfica se llevó a cabo para determinar qué había sido previamente descubierto acerca de la paleontología del Canal de Panamá en los dos últimos siglos. La investigación consistió en búsquedas en GEOREF y SCIENCE CITATION INDEX (WEB OF SCIENCE). Entre las palabras clave frecuentemente usadas se incluyó PANAMA, PALEONTOLOGY, GEOLOGY, TERTIARY, FOSSIL(S), EOCENE, OLIGOCENE, MIOCENE, QUATERNARY y PANAMA CANAL. La investigación bibliográfica también consitió en la búsqueda de referencias adicionales en fuentes prominentes, tales como Vaughan (1919a) y Woodring (1957-1982). Además, se revisó la biblioteca de la ACP en busca de informes inéditos relativos a la paleontología o la geología del Canal de Panamá. La búsqueda bibliográfica permitió encontrar 140 artículos, informes, libros y mapas relativos a la paleontología y la geología del Canal de Panamá o áreas relacionadas. Estas referencias proporcionan una información de referencia al conocimiento ya existente respecto de los recursos paleontológicos del Canal de Panamá. Se realizaron entrevistas con expertos para conocer más sobre anteriores descubrimientos de fósiles a lo largo del Canal de Panamá y áreas relacionadas. Los expertos fueron escogidos sobre la base de su competencia geológica o paleontológica, así como su experiencia en trabajo de campo en Panamá. El trabajo de campo permitió determinar el tipo de roca, el nombre de las formaciones y el potencial de encontrar fósiles en la superficie como en las perforaciones de muestras. El trabajo de campo consistió en una inspección visual de todos los afloramientos en las áreas propuestas para la expansión así como en el Corte Culebra. Cuando se encontraron especímenes fósiles en la superficie, fueron recolectados y su ubicación fue registrada con el Garmin Global Positioning System (GPS). Se completó una "PLANILLA DE SITIO FOSIL" para registrar información relevante como el número del sitio, identificación de campo del espécimen, tipo de roca, nombre de la formación, ubicación dentro del proyecto, información GPS y elevación (Apéndice F). También se tomaron fotografías digitales de cada espécimen (Apéndice G). La mayoría de los fósiles fueron fácilmente visibles a simple vista y suficientemente grandes para ser removidos con la mano o con martillo y pica. En los casos en que fue necesario, los especímenes fueron tratados hasta un punto de estabilización antes de su recolección. Todos los especímenes fueron colocados en bolsas plásticas por separado que contenían el número de terreno en una etiqueta y en el exterior de la bolsa con tinta indeleble. Todos los especímenes encontrados durante el trabjo de campo fueron entregados a la Sra. Hortensia Broce, de la ACP, el 7 de septiembre de 2005. Como parte del trabajo de campo, se examinaron las muestras de perforaciones para detectar fósiles. No se recolectaron fósiles de las muestras de perforaciones, pero cuando se encontraron fósiles en una perforación, se registró la identificación del fósil, el tipo de roca asociada, el nombre de la formación asociada, las coordenadas, la edad y la profundidad. Esta información se incluye en el Apéndice C.

Además, una parte importante de la información relativa a la geología y paleontología de las unidades geológicas deriva de las observaciones y notas personales que el Dr. Michael Xavier Kirby realizó mientras se desempeñó como becario de post-doctorado en el Smithsonian Tropical Research Institute entre junio de 2003 y diciembre de 2004. Esta información en parte también procede de un examen de registros de áreas fosilíferas y de material fósil en la Smithsonian Institution y el Museo de Historia Natural del estado de Florida.

Basado en estas fuentes de información, se crearon dos mapas que muestran el potencial paleontolólgico en las dos áreas propuestas para la expansión (Apéndice E). Se ha creado un mapa adicional que muestra el potencial paleontológico en el Corte Culebra (Apéndice E). El presente estudio sigue las directrices establecidas por la "Society of Vertebrate Paleontology" (http://www.vertpaleo.org/policy/policy_statement_conformable_Impact.htm) de los Estados Unidos (Fundada en 1940 con la misión de desarrollar el estudio científico de la paleontología de vertebrados). El párrafo siguiente resume dichas orientaciones:

Las unidades (formaciones) de rocas sedimentarias pueden ser descritas en función de tres niveles de potencial en cuanto a su contenido de recursos paleontológicos (fósiles): (1) un alto potencial de contener importantes recursos paleontológicos no renovables, (2) un bajo potencial de contener recursos paleontológicos no renovables, y (3) un potencial indeterminado (Society of Vertebrate Paleontology). Las áreas de 'potencial alto' son aquellas donde las formaciones ya han producido fósiles de vertebrados, invertebrados y de plantas. Las áreas de 'potencial bajo' incluyen aquellas áreas donde, a partir del tipo de roca (por ejemplo, roca volcánica), la ausencia de descubrimientos fósiles reportados previamente, o la falta de descubrimientos fósiles durante un reconocimiento de campo hecho por un paleontólogo experto, hay poco o ningún potencial de encontrar fósiles. Las áreas de 'potencial indeterminado' son aquellas áreas en las que subyacen formaciones de rocas sedimentarias respecto de las cuales hay muy poca información disponible. La determinación del potencial paleontológico se basa en una revisión de la literatura geológica y paleontológica pertinente, así como en registros de área de especímenes depositados en instituciones de investigación. Si el potencial de una formación no puede ser determinado a partir de estas fuentes, puede recurrirse a una inspección en terreno para determinar el potencial de recursos paleontológicos así como la extensión areal y estratigráfica de las formaciones en el área del proyecto. La presencia de sitios paleontológicos dentro de una formación rocosa indica que la formación circundante es también potencialmente fosilífera. Los límites de la formación pueden, por tanto, usarse para definir el potencial paleontológico de un área dada. Usando estos tres niveles de potencial paleontológico, los paleontólogos pueden así desarrollar mapas que indiquen áreas sensibles y unidades que sean probables de contener recursos paleontológicos (Society of Vertebrate Paleontology).

4.0 AMBIENTE GEOLÓGICO REGIONAL

El Canal de Panamá se ubica en una cuenca geológica denominada Cuenca del Canal de Panamá, la que se extiende sobre el límite tectónico de los bloques Chorotega y Choco de la microplaca de Panamá (Fig. 2) (Coates y Obando, 1996; Coates, 1999). Como parte del arco volcánico centroamericano, la microplaca de Panamá se formó por el hundimiento de varias placas océanicas durante el Cretácio y el Cenozoico (Mann, 1995). La microplaca de Panamá yace entre las placas de Cocos y Nazca por el sur, la placa del Caribe por el norte y la placa sudamerican por el este (Mann, 1995). La formación de la

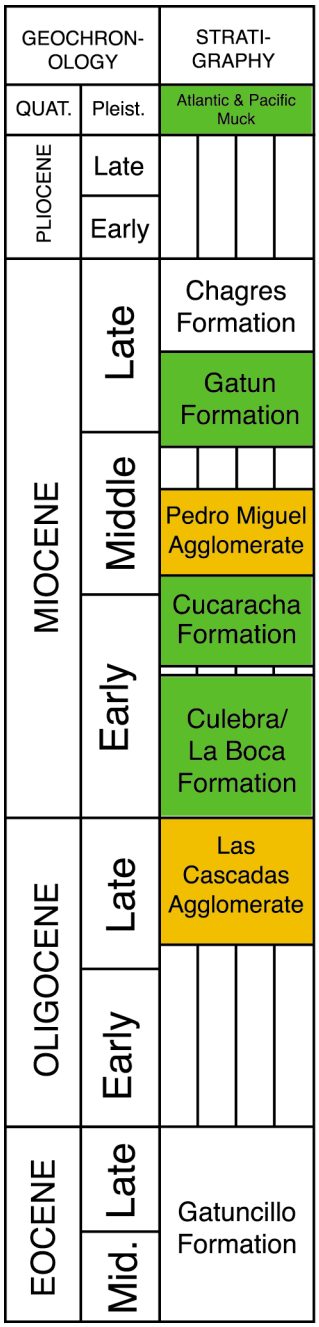


Figura 3. Formaciones del Canal de Panamá. Verde es alto potencial. Amarillo es bajo potencial. Cualquier discrepancia con la información de ACP se debe a nuevos datos obtenidos a través de investigaciones del Panama Paleontology Project (Collins y Coates, 1999) y Kirby (en studio).

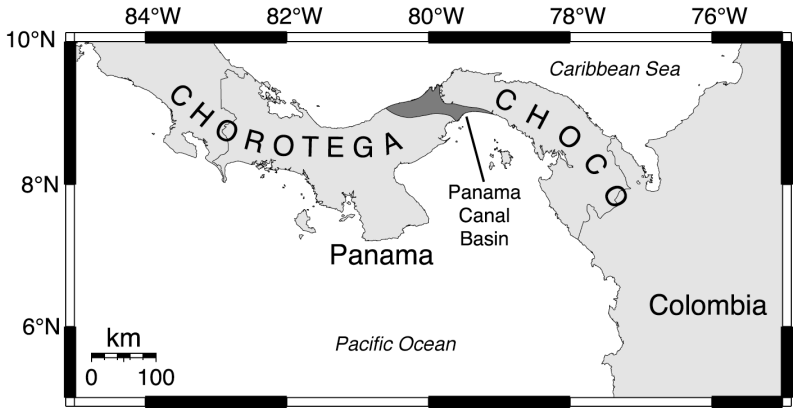


Figura 2. Ubicación de la Cuenca del Canal de Panamá en América Central (modificaba de Kirby, en studio).

Cuenca del Canal de Panamá está relacionada con la "Zona de la Falla de Gatún" (también denominada Discontinuidad del Canal de Panamá), que puede constituir el límite tectónico entre los bloques Chorotega y Choco de la microplaca de Panamá (Coates y Obando, 1996). Basándose en datos gravitacionales que indican una fuerte gradiente subyacente al Canal de Panamá, Case (1974) infirió la existencia de una profunda zona de falla que se extiende de noroeste a sureste y de manera aproximadamente paralela al Canal. Case (1974) también postuló que dicha zona de falla oculta puede haber tenido un desplazamiento lateral y que dataría del Cenozoico o de una era anterior. Lowrie et al. (1982) también identificaron una importante zona de falla en esta área, basándose en diversos tipos de evidencia. Sin embargo, estudios posteriores han sugerido que no existe evidencia directa para afirmar la existencia de la "Zona de la Falla de Gatún" (e.g. Pratt et al., 2003). No obstante, la Cuenca del Canal de Panamá está ubicada en una zona estructuralmente compleja, como lo indican miles de series de fallas de inclinación noreste-suroeste, algunas de las cuales son visibles a nivel de superficie (Pratt et al., 2003). La naturaleza tectónica exacta de esta cuenca continúa siendo poco clara, pero puede tratarse de una brecha activa o una cuenca frontal (Mann, 1995).

La Cuenca del Canal de Panamá contiene una espesa secuencia de sedimentos y rocas volcánicas (> 2900 m) de una edad que va del Cretaceo al Holoceno (Jones, 1950; Terry, 1956; Woodring, 1957; Stewart et al., 1980; Escalante, 1990). La unidad sedimentaria de mayor profundidad es la formación eocénica Gatúncillo (Fig. 3), la que contiene lutita, arenisca, y caliza y foraminífera, y reposa de manera discontinua sobre

basamento volcánico pre-Terciario (Woodring, 1957; Escalante, 1990). La presencia de corales, de algas, foraminífera (Woodring, 1957) y polen (Graham, 1985) indica que al menos una parte de la formación Gatúncillo fue depositada cerca de tierra. Extendiéndose sobre la formación Gatúncillo se encuentra la formación oligocénica Bohio, que contiene conglomerados marinos y no marinos, arenisca y conglomerado (Woodring, 1957; Escalante, 1990). Estratigráficamente superiores son la formación oligocénica Bas Obispo y la formación oligocénica o miocénica Las Cascadas, que descansa sobre la anterior; ambas consisten de aglomerados y toba (Woodring, 1957). Sobre la formación Las Cascadas se encuentra la formación del Mioceno inferior La Boca, la cual contiene lutita marina, arenisca, caliza, conglomerado y lignito. Porciones de las formaciones La Boca, Alhajuela y Caimito pueden ser correlativas con la formación Culebra, tal como lo sugieren estudios litoestratigráficos y bioestratigráficos previos (Woodring y Thompson, 1949; Jones, 1950; Woodring, 1957-1982; Van den Bold, 1973). La formación Cucaracha, del Mioceno inferior a medio, descansa de manera continua sobre la formación Culebra y consiste de arcillita sub-aéreo, arenisca, conglomerados y lignitos. La formación Pedro Miguel, del Mioceno medio, se extiende de manera continua sobre la formación Cucaracha y contiene basalto y aglomerados. Estratigráficamente superior es la formación marina de poca profundidad Gatún (11.8-8.6 Ma), que contiene lutita marina, arenisca y conglomerados (Escalante, 1990; Collins et al., 1996). Sobre la formación Gatún se extiende la formación Chagres, del Mioceno superior (8.6-5.3 Ma), que consiste de arenisca y un coquina basal de la Miembro Toro (Collins et al., 1996). Yaciendo de manera discontinua sobre las formaciones del Terciario se encuentran depósitos Cuaternarios no consolidados, conocidos como “Pacific Muck” y “Atlantic Muck” (Lama del Pacífco y Lama del Atlántico) (Woodring, 1957).

Durante la construcción del Canal de Panamá, la excavación del Corte Culebra y las esclusas Gatún dejó al descubierto las secciones media y superior de la estratigrafía de la Cuenca del Canal de Panamá. Puesto que rocas volcánicas del Terciario medio a tardío cubren una gran parte de la Cuenca del Canal de Panamá, dichas exposiciones permiten observar las rocas miocénicas que yacen debajo de esta cubierta volcánica. Aunque la excavación expuso una sección de cientos de metros, la complejidad estructural provocada por numerosas fallas ha oscurecido las relaciones estratigráficas entre las distintas formaciones, de modo que sólo una o a lo más dos formaciones están presentes en un determinado bloque delimitado por fallas. La estratigrafía del Canal de Panamá ha sido resuelta sólo por medio de un acucioso trabajo de terreno llevado a cabo en el último siglo. Hill (1898) fue el primero en denominar y describir sistemáticamente las formaciones de la Cuenca del Canal de Panamá, en particular “Culebra clays” y “Empire limestone.” Con posterioridad, MacDonald (1913b, 1919a) denominó y describió varias formaciones de la Cuenca del Canal de Panamá, entre las que se cuenta las formaciones Las Cascadas, Cucaracha y Caimito. Por su parte, Woodring y Thompson (1949) denominaron y describieron formalmente las formaciones Pedro Miguel y La Boca. Basándose en el trabajo de Robert Stewart, posteriormente Woodring (1964a) acotó la formación Culebra al situar secciones que contienen Emperador Limestone como parte de la formación La Boca. Stewart et al. (1980) postularon la existencia de complicadas imbricaciones entre las formaciones Cucaracha y Las Cascadas, así como entre las formaciones Pedro Miguel y La Boca, con el objeto de justificar la ubicación de

secciones que contienen Emperador Limestone en la formación La Boca (Graham et al., 1985). En tanto, la formación Gatún fue designada así por Howe (1907), por el poblado de Gatún, ubicado en la orilla norte del Lago Gatún (Coates, 1999).

5.0 EVALUACIÓN PALEONTOLÓGICA DE LAS FORMACIONES EN LAS AREAS DE EXPANSIÓN

Existen siete unidades de roca en las dos áreas propuestas para la expansión del Canal de Panamá (Fig. 3). De mayor a menor edad geológica, dichas unidades son las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha y Pedro Miguel en el área sur, y la formación Gatún en el área norte. Además, existen sedimentos no consolidados en ambas áreas; dichos sedimentos son conocidos como Lama del Pacífico y Lama del Atlántico, respectivamente. A continuación, se examina estas formaciones y se determina su potencial de contener fósiles.

5.1 FORMACIÓN LA BOCA

La formación La Boca es del Mioceno temprano (Woodring, 1957-1982; Blacut y Kleinpell, 1969). La formación es en su totalidad de origen marino y consiste en tres unidades: (1) una unidad inferior, (2) Emperador Limestone, y (3) una unidad superior (Kirby, en estudio). La formación representa una secuencia de transgresión, en la cual la profundidad del agua aumentó desde el nivel de inter-mareas en la base de la formación al de profundidad batisco cerca del tope de la formación (Blacut y Kleinpell, 1969; Johnson y Kirby, 2006). La formación La Boca se extiende uniformemente sobre la formación Las Cascadas y de manera continua debajo de la formación Culebra. La unidad inferior de la formación La Boca consiste mayoritariamente de lutita carbonácea con lutita lignitica, arenisca lítica, calcarenita y calcirudita. Moluscos marinos, como bivalvos y gastrópodos, son comunes en la lutita carbonácea. La unidad inferior se formó en un ambiente laguna poco profundo. La superimpuesta Emperador Limestone consiste principalmente de caliza compuesta de coral, algas calcáreas y grandes foraminífera benthos (Johnson y Kirby, 2006). La Emperador Limestone representa un banco de coral cercano a tierra que en el pasado protegía la laguna vecina. La unidad superior de la formación La Boca consiste básicamente de lutita entremezclada con estratos de arenisca, conglomerado y lignito (Kirby, en estudio).

La formación La Boca es muy fosilífera. Estudios previos han encontrado una amplia variedad de fósiles, desde organismos microcóspicos (foraminíferas y ostrácodos) a corales y vertebrados, indicando así que hay una rica historia de descubrimiento de fósiles en esta formación (Apéndice D). Los fósiles más comunes son moluscos (bivalvos y gastrópodos), corales, decápodos, foraminífera y plantas (madera, hojas, semillas y polen) (Fig. 4). Menos comunes son los vertebrados marinos, estando presentes restos fósiles de tortugas de mar y cocodrilos. Durante el reconocimiento de campo en la formación La Boca se encontraron abundantes fósiles de bivalvos, gastrópodos, decápodos y plantas. El reconocimiento de campo también permitió encontrar 16 sitios de fósiles en el área de expansión (Apéndices C y E). Cinco de esas áreas están en la superficie y 11 sitios están bajo superficie, según se determinó por medio de

perforaciones. Sr. Jaime Arrocha, Ing. Pastora Franceschi y Sra. Jay Stewart (geólogos de la ACP) también han visto o recolectado fósiles marinos de la formación La Boca en el sur del área propuesta para la expansión (Apéndice B). Además, Ing. Pastora Franceschi encontró un diente de tiburón en la perforación CWS-16.

Figura 4. Cabeza de coral de una *Montastrea imperatoris* in posición de vida rodeada de ramificaciones de coral, de la Emperador Limestone en la formación La Boca (el martillo es de 30 cm de largo). Sitio LACM 17685.

La formación La Boca está presente sólo en el área sur propuesta para la expansión del Canal de Panamá y Corte Culebra. El reconocimiento de campo determinó que hay exposiciones de dicha formación al norte de las esclusas Pedro Miguel así como al sur de las esclusas de Miraflores. En el área intermedia, la formación no está bien expuesta, pues gran parte del área esta cubierta con vegetación y un suelo muy espeso; sin embargo, las perforaciones claramente demuestran la presencia de esta formación en tres puntos principales (Apéndice E): (1) cerca de las esclusas de Pedro Miguel, (2) cerca de las esclusas de Miraflores, y (3) cerca de Cocoli.

Como la investigación bibliográfica, las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación La Boca es muy fosilífera, con presencia de fósiles vertebrados, invertebrados, y plantas, se ha determinado que está formación tiene un alto potencial paleontológico, es decir, altas probabilidades de contener fósiles adicionales en el área sur del área de expansión. La ampliación en áreas donde se ubica la formación La Boca, tanto en la superficie como bajo la superficie, tendrá una alta probabilidad de contener fósiles. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas donde la formación La Boca está expuesta o presente bajo la superficie (Apéndice E).

5.2 FORMACIÓN CULEBRA

La formación Culebra es del Mioceno temprano (Woodring, 1957-1982; Blacut y Kleinpell, 1969). La formación es enteramente de origen marino. La formación representa una secuencia de regresión marina, en la cual la profundidad del agua se redujo de un nivel batisco superior a una profundidad de inter-mareas. La formación Culebra se extiende uniformemente sobre la formación La Boca y de manera discontinua debajo de la formación Cucaracha. La formación Culebra consiste básicamente de lutita

Figura 5. Molar del extinto mamífero terrestre cf. *Merycochoerus matthewi* encontrado en la unidad superior de la formación Culebra. Sitio PAC-8.

entremezclada con estratos de arenisca, conglomerado y lignito que se formó en un ambiente de delta (Kirby, en estudio).

La formación Culebra es muy fosilífera. Estudios previos han encontrado una amplia variedad de fósiles, desde organismos microcóspicos (foraminíferas y ostrácodos) a corales y vertebrados, indicando así que hay una rica historia de descubrimiento de fósiles en esta formación (Apéndice D). Los fósiles más comunes son moluscos (bivalvos y gastrópodos), corales, decápodos, foraminífera y plantas (madera, hojas, semillas y polen). Menos comunes son los vertebrados terrestres y marinos, estando presentes restos fósiles de tortugas de mar y cocodrilos, así como de mamíferos terrestres. Durante el reconocimiento de campo en la formación Culebra se encontraron abundantes fósiles de bivalvos, gastrópodos, decápodos y plantas (PAC-8 y PAC-9). Fósiles de mamíferos terrestres, especificamente cf. *Merycochoerus matthewi*, fueron también encontrados cerca de la punta alta de la formación (Fig. 5). El reconocimiento de campo también permitió encontrar dos sitios de fósiles en el área de expansión y Corte Culebra (Apéndices C y E). Sr. Jaime Arrocha, Ing. Pastora Franceschi y Sra. Jay Stewart (geólogos de la ACP) también han visto o recolectado fósiles marinos en la formación Culebra (Apéndice B). Además, Sr. Jaime Arrocha encontró una mandíbula de cocodrilo en la unidad superior de la formación Culebra. La formación Culebra está presente sólo en el área sur propuesta para la expansión del Canal de Panamá y Corte Culebra.

Como la investigación bibliográfica, las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación Culebra es muy fosilífera, con invertebrados, plantas y vertebrados, incluso mamíferos terrestres, se ha determinado que está formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área sur del área de expansión. La ampliación en áreas donde se ubica la formación Culebra, tanto en la superficie como bajo la superficie, tendrá una alta probabilidad de contener fósiles. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas donde la formación Culebra está expuesta o presente bajo la superficie (Apéndice E).

5.3 FORMACIÓN CUCARACHA

La formación Cucaracha es de edad del Mioceno temprano a medio. La formación es de un espesor de unos 140 m y consiste mayoritaramente de arcilla con una cantidad menor de conglomerado, arenisca, lignito y toba soldada (Kirby, en estudio). La formación reposa de manera discontinua sobre la formación Culebra y se extiende de manera continua bajo la formación Pedro Miguel. La formación Cucaracha se formó en un

Tabla 1. Mamíferos terrestres de la Formación Cucaracha.				
Order	Família	Especie	Nombre	Afinidades
Rodentia	--	*Texomys stewarti*	Geomyoid roedor	Norteamericana
Carnivora	Canidae	*Tomarctus brevirostris*	Perro	Norteamericana
Carnivora	Amphicyonidae or Hemicyonidae	--	Oso perro	Norteamericana
Artiodactyla	Tayassuidae	*Cynorca* sp.	Pecarí	Norteamericana
Artiodactyla	Oreodontidae	*Merycochoerus matthewi*	Oreodont	Norteamericana
Artiodactyla	Protoceratidae	*Paratoceras wardi*	Protoceratid	Norteamericana
Perissodactyla	Equidae	*Anchitherium clarencei*	Caballo	Norteamericana
Perissodactyla	Equidae	*Archaeohippus* sp.	Caballo	Norteamericana
Perissodactyla	Rhinocerotidae	*Menoceras barbouri*	Rinoceronte	Norteamericana
Perissodactyla	Rhinocerotidae	*Floridaceras whitei*	Rinoceronte	Norteamericana
De: Whitmore y Stewart, 1965; Slaughter, 1981; MacFadden y Higgins, 2004; MacFadden, 2005.				

ambiente de llanura de delta, que estaba constituido por canales fluviales, diques, llanos de inundación y pantanos. Los depósitos de arcilla representan paleosuelos, lo cual indica que hubo formación de suelos en este tipo de ambiente (Kirby, en estudio). El estrato de toba soldada casi al medio de la formación Cucaracha representa un depósito de flujos de ceniza piroclásticas producidas por una erupción explosiva en los alrededores.

La formación Cucaracha es altamente fosilífera. Estudios previos sólo han encontrado fósiles terrestres en esta formación mostrando así una rica historia del aspecto que Panamá debe haber tenido durante el Mioceno temprano a medio (Apéndice D). Entre estos previos descubrimientos fósiles se cuentan mamíferos terrestres (Tabla 1), reptiles (tortuga y cocodrilo), moluscos no marinos (bivalvos y gastrópodos) y plantas (madera, hojas y polen) (Berry, 1918; Woodring, 1957-1982; Whitmore y Stewart, 1965; Slaughter, 1981; Graham, 1988; MacFadden, 2005). En estudios anteriores se ha reportado el hallazgo de mamíferos terrestres desde 1942 (Woodring, 1957) y de plantas desde la década de 1910 (Berry, 1918). El sitio más importante que contiene fósiles de mamíferos terrestres es el sitio Whitmore-Stewart, que está ubicado entre el Canal de Panamá y el Cerro Escobar a lo largo del Corte Culebra (Whitmore y Stewart, 1965). Durante el reconocimiento de campo en la formación Cucaracha se encontraron fósiles de mamíferos terrestres (Fig. 6). El reconocimiento de campo permitió encontrar 10 sitios con fósiles en el área de expansión (Apéndices C y E). Siete de dichos sitios están presentes en la superficie, y tres sitios están bajo superficie según indican las muestras de perforaciones. Ing. Pastora Franceschi, Dr. Bruce MacFadden, y Sra. Jay Stewart han encontrado fósiles de mamíferos terrestres en la formación Cucaracha (Apéndice B). Ing. Pastora Franceschi encontró un molar grande de rinoceronte, *Floridaceras whitei*, dentro de una muestra de perforación

Figura 6. Hueso de un extinto mamífero terrestre encontrado en la formación Cucaracha. Sitio PAC-4.

(CWCR-29 or CWCR-30) en el lado norte de Cerro Paraíso a comienzos en 1996. Ing. Franceschi tambíen encontró gastrópodos no marinos (*Hemisinus* aff. *H. oeciscus*) en el Cerro Escobar en agosto de 2001. Dr. Bruce MacFadden ha encontrado fósiles de *Paratoceras wardi* del sitio Whitmore-Stewart en el Cerro Escobar. Sra. Jay Stewart, y su esposo Sr. Robert Stewart, recogieron restos de rinocerontes, caballos y otros mamíferos grandes de la formación Cucaracha en el sitio Whitmore-Stewart en el Cerro Escobar, Corte Culebra.

La formación Cucaracha sólo está presente en el área sur propuesta para la expansión y Corte Culebra. El reconocimiento de campo determinó que hay numerosas exposiciones de la formación Cucaracha entre el Puente Centenario y Cerro Paraíso incluyendo eeste último(Apéndice E). Además, datos de sub-superficie obtenidos de las muestras de perforaciones comprueban la presencia de la formación Cucaracha al norte de las esclusas de Miraflores. En tanto, observaciones geológicas hechas durante el reconocimiento de campo sugieren que sólo la sección superior de la formación Cucaracha está presente en el área sur del área de expansión.

Puesto que tanto la búsqueda bibliográfica como las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación Cucaracha contiene mamíferos terrestres, reptiles, invertebrados y plantas, se ha determinado que esta formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área sur de expansión. La ampliación en áreas en donde se localiza la formación Cucaracha, ya sea en la superficie como en la sub-superficie, tendrá una alta probabilidad de encontrar fósiles. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas en las que la formación Cucaracha está expuesta o presente en la sub-superficie (Apéndice E).

5.4 FORMACIÓN PEDRO MIGUEL

La formación Pedro Miguel probablemente pertenece al periodo Miocenico medio (15 a 12 millones de años) y esta constituída una entremezcla de flujos de basalto y aglomerados volcánicos. La formación tiene más de 355 m de espesor y descansa sobre la formación Cucaracha. La cubierta de la formación Pedro Miguel no está presente, pues ha sido removida por la erosión en el área del Canal de Panamá. El aglomerado volcánico y los flujos de basalto de la formación Pedro Miguel indican que esta área comenzó a experimentar volcanismo antes de la formación del delta (Kirby, en estudio).

La formación Pedro Miguel no es fosilífera. No se encontró fósil alguno en la formación durante el reconocimiento de campo ni tampoco se han reportado hallazgos previos. Las entrevistas también corroboran que no ha habido ningún descubrimiento de fósiles hasta la fecha. Dado que tanto la búsqueda bibliográfica como las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación Pedro Miguel no es fosilífera, se ha determinado que esta formación tiene un bajo potencial paleontológico, es decir, pocas probabilidades de contener fósiles adicionales en el área sur de expansión. La ampliación en áreas en donde se localiza la formación Pedro Miguel, ya sea en la superficie como en la sub-superficie, tendrán una baja probabilidad de hallazgos fósiles. No se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas en las que la formación Cucaracha está presente (Apéndice E).

5.5 FORMACIÓN GATÚN

La formación Gatún pertenece al Período Miocenico medio al tardío (11.8 a 8.6 millones de años) y esta constituída por lutita marina, arenisca y conglomerado (Escalante, 1990; Collins et al., 1996). Es de unos 500 m de espesor y por debajo de ella se extienden de manera uniforme volcanico anti-Terciario sin denominación y, de manera discontinua, la formación Caimito, del Oligoceno superior (Coates, 1999). Sobre esta formación se extiende de manera discontinua la formación Chagres, del Mioceno superior. La formación Gatún se divide en tres unidades: Inferior, Media y Superior. La formación Gatún se formó en una cuenca marina de poca profundidad con niveles de agua de 20 m a 50 m (Collins y Coates, 1999).

La formación Gatún se presenta sólo en el área norte propuesta para la expansión. El reconocimiento de campo determinó que hay exposiciones de la formación Gatún a través del área propuesta para el nuevo conjunto de esclusas y el alineamiento (Apéndices C y E). Los datos de sub-superficie obtenidos de las muestras de las perforaciones confirman la presencia de la formación Gatún a través de esta área. Además, las muestras de perforaciones indican que la formación Gatún se presenta bajo la Lama del Atlántico a profundidades de 10 a 20 m.

Figura 7. Concha de caracol marino (muricidae) encontrada en lutita de la formación Gatún. Sitio GAT-2.

La formación Gatún es muy fosilífera. Estudios previos han encontrado una variedad de fósiles, desde organismos microscópicos (foraminiferas) hasta moluscos grandes, lo que indica una rica historia de descubrimiento de fósiles en esta formación a contar de finales del siglo XIX (Apéndice D) (Conrad, 1855; Gabb, 1881; Brown y Pilsbry, 1911, 1913; Woodring, 1957-1982; Van den Bold, 1967; Graham, 1991a, 1991b, 1991c; Collins y Coates, 1999). Los fósiles más comunes son los moluscos (bivalvos y gastrópodos). Menos comunes son los vertebrados marinos, particularmente los peces cartilaginosos (representados por dientes de tiburón). Durante el reconocimiento de campo se encontraron abundantes fósiles de bivalvos y gastrópodos en la formación Gatún (Fig. 7). El reconocimiento de campo permitió identificar 26 sitios con fósiles en el área norte propuesta para la expansión (Apéndices C y E). Cuatro de esos sitios están presentes en la superficie y 22 sitios en la sub-superficie, según indicaron las muestras de perforación. Dr. Laurel Collins, Ing. Pastora Franceschi, Dr. Jeremy Jackson y Sra. Jay Stewart han visto o recogido fósiles marinos de la formación

Gatún en el área norte de la zona propuesta para la expansión (Apéndice B). Drs. Laurel Collins y Jeremy Jackson indicaron que el "Panama Paleontology Project" de STRI ha recogido fósiles de sitios en el área norte propuesta para la expansión. Sra. Jay Stewart advirtió que los nautiloides pueden ser abundantes en la formación Gatún.

Dado que tanto la búsqueda bibliográfica, las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación Gatún es muy fosilífera, con vertebrados e invertebrados marinos, se ha determinado que esta formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área norte propuesta para la expansión. La ampliación en las áreas en las que se localiza la formación Gatún, tanto en la superficie como en la sub-superficie, tendrá una alta probabilidad de encontrar fósiles. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas en las que la formación Gatún está expuesta o presente en la sub-superficie (Apéndice E).

5.6 LAMA DEL PACIFICO Y LAMA DEL ATLANTICO

En las dos áreas propuestas para la expansión existen depósitos no consolidados de edad Cuaternaria. La Lama del Pacífico se ubica en el área de expansión sur y la Lama del Atlántico se ubica en el área de expansión norte. Ambos depósitos se extienden de manera discordante sobre unidades de roca más antiguas de edad Terciaria, específicamente, la formaciones La Boca y Culebra en el sur, y la formación Gatún en el norte. El lodo orgánico negro es el tipo de depósito más ampliamente distribuido (Woodring, 1957). Se trata de depósitos pantanosos y es una mezcla de lutita, restos orgánicos de granulometría muy fina y madera, tallos y hojas parcialmente carbonizados (Woodring, 1957). También existen fósiles marinos. El reconocimiento de campo no permitió determinar si esas unidades contienen fósiles, pero la investigación bibliográfica determinó que durante la construcción del Canal de Panamá se encontraron a nivel local ostras, otros moluscos y material vegetal (Dall, 1912; Brown y Pilsbry, 1913). Se desconoce la edad precisa de estos sedimentos, pero es posible que daten del Pleistoceno, al menos una parte de ellos. Sin embargo, pruebas hechos por el USGS para la ACP en 1996, registran las edades de las lamas entre 6000 y 10000 años.

Como la investigación bibliográfica sugiere que fósiles del Cuaternario pueden encontrarse presentes en la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico, se ha determinado que estos depósitos tienen un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en ambas áreas de expansión. Aunque no se ha encontrado mamíferos terrestres en estos depósitos, depósitos similares en otros lugares han producido mamíferos terrestres del Pleistoceno (Gazin, 1957; Pearson, 2005). Se recomienda un monitoreo palentológico en aquellas área donde se presentan la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico.

6.0 RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha determinado que las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Gatún y la Lama del Atlántico y la Lama del Pacífico presentan un alto potencial de contener recursos paleontológicos, según indican el trabajo de campo, la búsqueda bibliográfica y las

entrevistas. Se recomienda un monitoreo en aquellos sitios donde esas formaciones están presentes. El trabajo de campo permitió encontrar 52 sitios con fósiles. 16 de estos sitios eran sitios de superficie y 36 de sub-superficie (muestras de perforaciones). Tanto los sitios de superficie como las muestras de perforaciones se listan en el Apéndice C. El Apéndice C es una matriz de los sitios encontrados durante este estudio e incluye sus coordenadas (latitud y longitud), elevación, formación, tipo de roca, edad geológica y los fósiles encontrados. Además, la ubicación de los fósiles se presenta en los tres mapas del Apéndice E. Se encontraron 408 especímenes fósiles en el trabajo de campo. Estos especímenes incluyen: 178 especímenes vertebrados (mamíferos terrestres y reptiles), 213 especímenes invertebrados (bivalvos, gastrópodos, decápodos, percebes y foramínifera), y 17 especímenes de plantas (palma, madera petrificada, manglares, semillas y raíces). Todos los especímenes encontrados durante el trabajo de campo fueron preparados (lavados y secados), catalogados y entregados a la Sra. Hortensia Broce, de la ACP, el 7 de septiembre de 2005. Los especímenes fósiles encontrados durante el trabajo de campo se incluyen en la lista del Apéndice C de acuerdo a sus sitios.

La implicancia derivada de los resultados resumidos en el párrafo anterior es que futuras excavaciones en áreas que contienes unidades de roca designadas como de alto potencial descubrirán nuevos fósiles. Estos nuevos fósiles permitirán a los paleontólogos hacer nuevos descubrimientos respecto de la antigua historia de Panamá. Este registro fósil es importante tanto científica como educacionalmente, porque nos permite entender la evolución y ecología de las antiguas formas de vida en Panamá, así como la historia tempran de la formación geológica del Istmo de Panamá. La formación del Istmo de Panamá fue importante porque facilitó la mezcla de las faunas terrestres de Norte y Sudamérica (Stehli and Webb, 1985), así como la separación física de una provincia marina continua en distintas comunidades Pacíficas y Atlánticas (Woodring, 1965a, 1966; Jackson et al., 1993, 1996). Además, la formación del istmo condujo a profundos cambios en el clima global al fortalecer la Corriente del Golfo y la circulación termohalino descendente en el Atlántico Norte. La historia inferida de este registro fósil es, por tanto, muy importante por su valor educacional para la población de Panamá y del mundo. Nuevos descubrimientos de fósiles en las dos zonas propuestas para la expansión aumentarán nuestro conocimiento científico y el valor educacional de la historia de Panamá.

7.0 PLAN DE REDUCCIÓN DEL IMPACTO PALEONTOLÓGICO EN LAS AREAS DE EXPANSION

La investigación bibliográfica, las entrevistas y el reconocimiento de campo indican un alto potencial de existencia de recursos paleontológicos no renovables en las dos áreas propuestas para la expansión a lo largo del Canal de Panamá. La información específica sobre la ubicación y las coordenadas de los sitios fósiles encontrados en los afloramientos y las muestras de perforaciones se incluye en la matriz de sitios fósiles en el Apéndice C y en los mapas del Apéndice E. Por consiguiente, cualquier excavación en las áreas propuestas para la expansión podría alterar o destruir recursos paleontológicos aún no documentados. En consecuencia, este estudio recomienda el establecimiento de un

Programa de Reducción de Impacto para los Recursos Paleontológicos que especifique los requisitos para monitorear las excavaciones y las acciones necesarias para la recolección en la eventualidad de que se encuentre fósiles en dichas excavaciones. La implementación de las medidas que se enumeran a continuación reducirá el impacto a un nivel menos que significante. Medidas similares de mitigación han sido exitosamente aplicadas en otros proyectos grandes que requerían mitigar el impacto en los recursos paleontológicos. Ejemplos de tales proyectos grandes son: (1) "Paleontological Monitoring/Salvage of the Mobil 70 Pipeline from Lebec to Torrence Segment, Kern and Los Angeles counties, California, USA, by Dr. Fran Govean in 1992;" (2) "Paleontological Monitoring/Salvage of the Simi Valley Landfill, Ventura County, California, USA, by Dr. Bruce Lander;" and (3) "Paleontological Monitoring/Salvage of the Talega Project, San Clemente, Orange County, California, USA, by Sra. Sherri Gust."

(1) Contratar un paleontólogo calificado para implementar el Plan de Reduccion de Impacto a los Recursos Paleontológicos al menos un mes antes de que se inicie cualquier actividad de remoción de terreno en las dos áreas propuestas para la expansión.

(2) El paleontólogo calificado, en colaboración con la ACP, deberá entrevistar y seleccionar un equipo de dos o tres monitores paleontológicos de un grupo de postulantes de la República de Panamá. Estos postulantes deberán ser seleccionados sobre la base de su expertice, motivación personal, habilidad para trabajar solos durante periodos prolongados, confiabilidad y entusiasmo. Se preferirá a los postulantes que tengan educación o entrenamiento científico. Una vez los postulantes sean seleccionados, el paleontólogo los capacitará en el uso de métodos de reconocimiento de campo en paleontología y geología. Esta capacitación se llevará a cabo en la modalidad de taller (los geólogos de la ACP y cualquier otra persona de dicha institución que esté interesada serán invitados a participar en el taller). Los monitores deberán ser entrenados para aprender a reconocer y recolectar en terreno fósiles de vertebrados, invertebrados y plantas. El entrenamiento también incluirá el estudio y reconocimiento de las diferentes formaciones presentes en las áreas de expansión, así como el procesamiento de rocas para la recolección de microvertebrados (extracción, lavado y recolección). Los monitores deberán ser capacitados para aprender a reconocer la presencia de microvertebrados en rocas. La instrucción también incluirá el estudio de la historia geológica y paleontológica general de Panamá. Finalmente, la capacitación también contemplará temas de seguridad.

(3) Se debrá nombrar un jefe del equipo de monitores para supervisar a éstos e informar directamente al paleontólogo encargado.

(4) Un monitor paleontológico debidamente entrenado estará presente durante las actividades de remoción del terreno en las áreas indicadas como de alto potencial paleontológico en los mapas adjuntos. Estas áreas son las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha y Gatún, así como la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico, todas las cuales se ha determinado probables de contener recursos paleontológicos. El monitor estará facultado temporalmente para suspender o redirigir las actividades de excavación en el áreas de un descubrimiento de fósiles para asegurar que se evite un impacto negativo sobre los fósiles. El monitor deberá contar con el equipo necesario para remover con

rapidez todo especimen fósil que se encuentre en las excavaciones. El monitoreo consistirá en una inspección visual de las rocas o depósitos expuestos durante la excavación. Muchos especimenes son fácilmente visibles al ojo y lo suficientemente grandes para ser reconocidos y removidos con la mano, una pica martillo o cincel. Cuando se encuentre fósiles, el monitor deberá recolectar los especímenes y tomar nota de su ubicación con un equipo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El monitor completará una Planilla del Sitio Fósil que contendrá información relevante, tal como el número del sitio, la identificación del especimen, el tipo de roca, el nombre de la formación, la ubicación dentro del área del proyecto, la fecha y la elevación (altitud). Se deberá tomar fotografías de cada descubrimiento fósil. Si fuese necesario, los especímenes debrán ser preparados a un punto de estabilización adecuado para su recolección, especialmente para aquellos que sean frágiles y requieran endurecimiento antes de su remoción. Otros fósiles pueden requerir ser recubiertos con una capa de yeso para su posterior preparación y conservación en laboratorio.

(5) El monitor, en colaboración con el experto paleontólogo, deberán recolectar y procesar sedimentos de áreas con potencial de contener microvertebrados fósiles. Estas áreas se descubren por la acumulación de pequeños huesos en la superficie (Cifelli, 1996). Muchos fósiles de vertebrados importantes (e.g. pequeños mamíferos, pájaros, reptiles, peces) son muy pequeños para poder verlos dentro de las rocas (Society of Vertebrate Paleontology), y se recuperan por medio de concentración en el lavado de malla . Se puede recolectar y procesar primero una muestra de prueba de 400 kg (Cifelli, 1996). La superficie de un sitio deberá ser excavada cuidadosamente antes de la extracción o la recolección de muestras. La extracción se deberá hacer con herramientas de mano, las rocas deben ser partidas en pedazos y examinar su contenido de fósiles antes de ser recolectadas (Cifelli, 1996). El procesamiento deberá incluir la examinación con microscopio del material residual después del lavado de malla, para así identificar restos de fósiles pequeños. Si la muestra de prueba contiene abundantes microvertebrados, entonces se procederá a recolectar y procesar una muestra más grande (2500 kg) usando métodos similares (Society of Vertebrate Paleontology).

(6) Si se descubre un depósito de fósiles de gran magnitud, entonces la recuperación se deberá efectua con personal adicional y según técnicas paleontológicas modernas.

(7) El experto paleontólogo y los monitores deberán medir secciones estratigráficas y describirán la litología, e interpretarán los paleoambientes cuando sea apropiado. Cuando sea posible, dichas secciones estratigráficas incluirán sitios de fósiles.

(8) Todos los fósiles recolectados durante el proyecto deberán ser preparados a un punto de identificación. El exceso de sedimento o la matriz deberá ser removida de los especímenes para reducir el volumen y el costo de almacenamiento. Todos los especímenes deberán ser etiquetados con un código usando tinta permanente que permita la identificación de su sitio (e.g. PAN01). Los especímenes deberán ser identificados por especialistas calificados a un punto de máxima especificidad. Idealmente, la identificación debe ser de especimen individual a elemento, género y especie. Se entregará al museo repositorio los especímenes junto con catálogos pormenorizados. El

adecuado almacenamiento de los especímenes recuperados en una institución repositoria reconocida es esencial. Los especímenes deberán ser catalogados y se preparará una lista completa de los que sean ingresados en un repositorio por el curador del museo o la universidad. El almacenamiento adecuado incluye también la preservación de especímenes individuales como parte de la colección de un repositorio de especímenes paleontológicos reconocido y sin fines de lucro y con un curador permanente, como un museo o una universidad. Se deberá acompañar a las colecciones de fósiles un completo set de observaciones de terreno, mapas y secciones estratigráficas. Además de lo anterior, cada muestra deberá tener una ficha que indique la identificación, formación, tipo de roca, latitud y longitud, y la identificación de los responsables de la custodia del especimen. Las muestras deberán almacenarse de manera tal que se permita a futuros investigadores el acceso expedito a los especímenes. Todos los especímenes recolectados durante el Programa de Reducción de Impacto en los Recursos Paleontológicos (Paleontological Resource Impact Mitigation Program) serán de propiedad de la República de Panamá y deberán ser preservados a perpetuidad por su valor científico y educacional. La ACP puede solicitar su custodia.

(9) Se elaborará un informe para dar cuenta de los resultados de las actividades de monitoreo y recuperación así como de la importancia de los fósiles encontrados. Este informe deberá incluir un inventario de los especímenes registrados durante la fase de reducción de impacto.

APENDICE A

INVESTIGACION BIBLIOGRAFICA

APENDICE A
INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Attilio, D.A., 1976, Recent and fossil Typhinae of the New World: Bulletin American Malacological Union, p. 50-51.
2. Berry, E.W., 1914, Fossil plants in the Panama Canal Zone: Science, v. 39, p. 357.
3. Berry, E.W., 1918, The fossil higher plants from the Canal Zone: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 15-44.
4. Berry, E.W., 1921, A palm nut from the Miocene of the Canal Zone: Proceedings of the United States National Museum, v. 59, p. 21-22.
5. Berry, E.W., 1928, A palm fruit from the Miocene of western Panama: Journal of the Washington Academy of Sciences, v. 18, p. 455-457.
6. Beu, A.G., 2001, Gradual Miocene to Pleistocene uplift of the Central American Isthmus; evidence from tropical American tonnoidean gastropods: Journal of Paleontology, v. 75, p. 706-720.
7. Blacut, G., Kleinpell, R.M., 1969, A stratigraphic sequence of benthonic smaller foraminifera from the La Boca Formation, Panama Canal Zone: Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, v. 20, p. 1-22.
8. Blake, C.C., 1862, Sharks' teeth at Panama: Geologist, v. 5, p. 316.
9. Bouvier, E.L., 1899, *Calappa zucheri*, crabe nouveau des terrains miocenes de Panama: Museum Histoire Nat. Paris Bulletin, t. 5, p. 189-192.
10. Brown, A.P., Pilsbry, H.A., 1911, Fauna of the Gatun formation, Isthmus of Panama: Academy of Natural Sciences Philadelphia Proceedings, v. 63, p. 336-373.
11. Brown, A.P., Pilsbry, H.A., 1913, Fauna of the Gatun formation, Isthmus of Panama; part 2: Academy of Natural Sciences Philadelphia Proceedings, v. 64, p. 500-519.
12. Brown, A.P., Pilsbry, H.A., 1913, Two collections of Pleistocene fossils from the Isthmus of Panama: Academy of Natural Sciences Philadelphia Proceedings, v. 65, p. 493-500.
13. Canu, F., Bassler, R.S., 1918, Bryozoa of the Canal Zone and related areas: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 117-122.
14. Case, J.E., 1974, Oceanic crust forms basement of eastern Panama: Geological Society of America Bulletin, v. 85, p. 645-652.
15. Cifelli, R.L., 1996, Techniques for recovery and preparation of microvertebrate fossils: Oklahoma Geological Survey Special Publication 96-4.
16. Coates, A.G., 1999, Lithostratigraphy of the Neogene strata of the Caribbean coast from Limon, Costa Rica, to Colon, Panama: Bulletins of American Paleontology, v. 357, p. 5-16.
17. Coates, A.G., Obando, J.A., 1996, The geologic evolution of the Central American isthmus, *in* Jackson, J.B.C., et al., eds., Evolution and environment in tropical America: Chicago, University of Chicago Press, p. 21-56.
18. Coates, A.G., Aubry, M.P., Berggren, W.A., and Collins, L.S., 2003, Early Neogene history of the Central American arc from Bocas del Toro, western Panama: Geological Society of America Bulletin, v. 115, p. 271-287.
19. Coates, A.G., Collins, L.S., Aubry, M.-P., Berggren, W.A., 2004, The geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with

northwestern South America: Geological Society of America Bulletin, v. 116, p. 1327-1344.
20. Coates, A.G., Jackson, J.B.C., Collins, L.S., Cronin, T.M., Dowsett, H.J., Bybell, L.M., Jung, P., Obando, J.A., 1992, Closure of the Isthmus of Panama: The near-shore marine record of Costa Rica and western Panama: Geological Society of America Bulletin, v. 104, p. 814-828.
21. Cole, W.S., 1949, Upper Eocene larger Foraminifera from the Panama Canal Zone: Journal of Paleontology, v. 23, p. 267-275.
22. Cole, W.S., 1952, Eocene and Oligocene larger foraminifera from the Panama Canal Zone and vicinity: U.S. Geological Survey Professional Paper, v. 244, 41 p.
23. Cole, W.S., 1953, Some late Oligocene larger Foraminifera from Panama: Journal of Paleontology, v. 27, p. 332-337.
24. Cole, W.S., 1957, Late Oligocene larger foraminifera from Barro Colorado Island, Panama Canal Zone: Bulletins of American Paleontology, v. 37, p. 313-338.
25. Cole, W.S., 1961, Some nomenclatural and stratigraphic problems involving larger Foraminifera: Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research v. 12, p. 136-147.
26. Collins, L.S., Coates, A.G., Jackson, J.B.C., Obando, J.A., 1995, Timing and rates of emergence of the Limon and Bocas del Toro basins: Caribbean effects of Cocos Ridge subduction?, *in* Mann, P., ed., Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America: Geological Society of America Special Paper 295, p. 263-289.
27. Collins, L.S., Coates, A.G., Berggren, W.A., Aubry, M.P., Zhang, J., 1996, The late Miocene Panama isthmian strait: Geology, v. 24, p. 687-690.
28. Collins, L.S., Coates, A.G., eds., 1999, A paleobiotic survey of Caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama: Bulletins of American Paleontology, no. 357, 351 p.
29. Conrad, T.A., 1855, Report on the fossil shells collected in California by Wm. P. Blake, geologist of the expedition under the command of Lieutenant R. S. Williamson, United States Topographical Engineers; appendix to the preliminary geological report of William P. Blake: U.S. Pacific R.R. Expl., U.S. 33rd Congr. 1st sess., House Ex. Doc. 129, p. 5-20.
30. Cooke, C.W., 1921, *Orthaulax*, a Tertiary guide fossil: U.S. Geological Survey Professional Paper 129, p. 23-37.
31. Coryell, H.N., Fields, S., 1937, A Gatun ostracode fauna from Cativa, Panama: American Museum Novitates 956, 18 p.
32. Cossmann, M., 1913, Etude comparative de fossiles miocéniques recueillis à l'isthme de Panama: Journal de Conchyliologie, t. 61, p. 1-64.
33. Cushman, J.A., 1904, Pleistocene foraminifera from Panama: American Geologist, v. 33, p. 265-266.
34. Cushman, J.A., 1918, The smaller fossil Foraminifera of the Panama Canal Zone: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 45-87.
35. Cushman, J.A., 1918, The larger fossil Foraminifera of the Panama Canal Zone: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 89-102.
36. Dall, W.H., 1890-1903, Contributions to the Tertiary fauna of Florida: Wagner Free Institute Sci. Trans., v. 3, 1654 p.

37. Dall, W.H., 1912, New species of fossil shells from Panama and Costa Rica: Smithsonian Miscellaneous Collection, v. 59, 10 p.
38. Dall, W.H., 1916, Note on the Oligocene of Tampa, Florida, the Panama Canal Zone, and the Antillean region: Proceedings of the Malacological Society of London, 38-39.
39. Deck, I., 1855, Notes on the geological features of the Panama Railroad: Mining Magazine, v. 4, p. 240-245.
40. Douvillé, H., 1891, Sur l'age des couches traverses par le canal de Panama: Compte Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, t. 112, p. 497-499.
41. Douvillé, H., 1898, Sur l'age des couches traverses par le canal de Panama: Bulletin de la Societe Geologique de France, t. 26, p. 587-600.
42. Douvillé, H., 1915, Les couches à orbitoiedes de l'isthme de Panama: Societé Géologique de France Compte Rendu Som., v. 16, p. 129-131.
43. Douvillé, H., 1924, Revision des Lépidocyclines: Societé Géologique de France Mémoire, v. 2, 115 p.
44. Drooger, C.W., 1952, Study of American Miogypsinidae: Zeist, Netherlands, 80 p.
45. Duque-Caro, H., 1990, Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama seaway: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology, v. 77, p. 203-234.
46. Escalante, G., 1990, The geology of southern Central America and western Colombia, *in* Dengo, G., Case, J.E., eds., The Caribbean Region: Boulder, Colorado, The Geological Society of America, Geology of North America, v. H, p. 201-230.
47. Fernandez, J.G., 1915, Geologia de la zona del canal: Revista de Instruccion Publica.
48. Ferrusquía-Villafranca, I. 1978, Distribution of Cenozoic vertebrate faunas in middle America and problems of migration between North and South America. Conexiones terrestres entre Norte y Sudamerica. Instituto Geología Universidad Nacional Autonoma México, v. 101, p. 193-329.
49. Fierstine, H.L., 1999, *Makaira* sp., cf, *M. nigricans* Lacepede, 1802 (Teleostei; Perciformes; Istiophoridae) from the late Miocene, Panama, and its probable use of the Panama Seaway: Journal of Vertebrate Paleontology, v. 19, p. 430-437.
50. Gabb, W.M., 1881, Descriptions of Caribbean Miocene fossils: Academy of Natural Sciences Philadelphia Journal, v. 8, p. 337-348.
51. Gazin, C.L., 1957, Exploration for the remains of giant ground sloths in Panama: Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution 1956, Publication No. 4272, p. 341-354.
52. Graham, A., 1967, Studies in neotropical paleobotany; Preliminary analysis of fossil microfloras from Mexico, Panama, and Puerto Rico: American Journal of Botany, v. 54 p. 653.
53. Graham, A., 1984, *Lisianthius* pollen from the Eocene of Panama: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 71, p. 987-993.
54. Graham, A., 1985, Studies in neotropical paleobotany. IV. The Eocene communities of Panama: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 72, p. 504-534.
55. Graham, A., 1987, Fossil pollen of Sabicea (Rubiaceae) from the lower Miocene Culebra Formation of Panama: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 74, p. 868-870.

56. Graham, A., 1987, Tropical American Tertiary floras and paleoenvironments—Mexico, Costa-Rica, and Panama: American Journal of Botany, v. 74, p. 1519-1531.
57. Graham, A., 1988, Studies in neotropical paleobotany. V. The lower Miocene communities of Panama—The Culebra Formation: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 75, p. 1440-1466.
58. Graham, A. 1988, Studies in neotropical Paleobotany. VI. The lower Miocene communities of Panama—The Cucaracha Formation: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 75, p. 1467-1479.
59. Graham, A., 1989, Studies in neotropical Paleobotany. VII. The lower Miocene communities of Panama—The La Boca Formation: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 76, p. 50-66.
60. Graham, A., 1991a, Studies in neotropical paleobotany. VIII. The Pliocene communities of Panama—Introduction and ferns, gymnosperms, angiosperms (Monocots): Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 78, p. 190-200.
61. Graham, A., 1991b, Studies in neotropical paleobotany. IX. The Pliocene communities of Panama—Angiosperms (Dicots): Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 78, p. 201-223.
62. Graham, A., 1991c, Studies in neotropical paleobotany. X. The Pliocene communities of Panama—Composition, numerical representations, and paleocommunity paleoenvironmental reconstructions: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 78, p. 465-475.
63. Graham, A., Stewart, R.H., Stewart, J.L., 1985, Studies in neotropical paleobotany. III. The Tertiary communities of Panama – Geology of the pollen-bearing deposits: Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 72, p. 485-503.
64. Guppy, R.J.L., Dall, W.H., 1896, Descriptions of Tertiary fossils from the Antillean region: U.S. National Museum Proceedings, v. 19, p. 303-331.
65. Hanna, G.D., 1924, Rectifications of nomenclature: California Academy of Science Proceedings, v. 13, p. 151-186.
66. Hill, R.T., 1898, The geological history of the Isthmus of Panama and portions of Costa Rica: Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, v. 28, p. 151-285.
67. Hodson, F., Hodson, H.K., Harris, G.D., 1927, Some Venezuelan and Caribbean mollusks: Bulletin of American Paleontology, v. 13, 160 p.
68. Howe, E., 1907, Report on the geology of the Canal Zone: Isthmian Canal Comm., Annual Report, 1907, p. 108-138.
69. Howe, E., 1908, The geology of the Isthmus of Panama: American Journal of Science, v. 26, p. 212-237.
70. Howe, M.A., 1915, Fossil calcareous algae from the Panama Canal Zone, with reference to reef-building algae: Science, v. 42, p. 682.
71. Howe, M.A., 1918, On some fossil and recent Lithothamnieae of the Panama Canal Zone: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 1-13.
72. Ingram, W.M., 1939, New fossil Cypraeidae from the Miocene of the Dominican Republic and Panama, with a survey of the Miocene species of the Dominican Republic: Bulletins of American Paleontology, v. 24, p. 327-340.

73. Jackson, J.B.C., Jung, P., Coates, A.G., Collins, L.S., 1993, Diversity and extinction of tropical American mollusks and emergence of the Isthmus of Panama: Science, v. 260, p. 1624-1626.
74. Jackson, J.B.C., et al., eds., 1996, Evolution and environment in tropical America: Chicago, University of Chicago Press.
75. Jackson, J.B.C., Jung, P., Fortunato, H., 1996, Paciphilia revisited: Transisthmian evolution of the *Strombina* group (Gastropoda: Columbellidae), *in* Jackson, J.B.C., et al., eds., Evolution and environment in tropical America: Chicago, University of Chicago Press, p. 234-270.
76. Jackson, R.T., 1917, Fossil Echini of the Panama Canal Zone and Costa Rica: Proceedings of the United States National Museum, v. 53, p. 489-501.
77. Jackson, R.T., 1918, Fossil Echini of the Panama Canal Zone and Costa Rica: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 103-116.
78. Johnson, K.G., Kirby, M.X., 2006, The Emperador Limestone rediscovered: Early Miocene corals from the Culebra Formation, Panama: Journal of Paleontology, v. 80, (in press).
79. Jones, S.M., 1950, Geology of Gatun Lake and vicinity: Geological Society of America Bulletin, v. 61, p. 893-920.
80. Keene, A.M., 1946, Notes on the Gatun Formation (Miocene), Panama Canal Zone: Geological Society of America Bulletin, v. 57, p. 1260.
81. Kirby, M.X., MacFadden, B.J., 2005, Was southern Central America an archipelago or a peninsula in the middle Miocene? A test using land-mammal body size: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology, (in press).
82. Lemoine, P., Douvillé, R., 1904, Sur le genre *Lepidocyclina* Gümbel: Soc. Géol. France Mém. 32, p. 1-42.
83. Li, C.C., 1930, The Miocene and Recent Mollusca of Panama Bay: Geol. Soc. China Bulletin, v. 9, p. 249-279.
84. Lowrie, A., Stewart, J., Stewart, R.H., Van Andel, T.J., McRaney, L., 1982, Location of the eastern boundary of the Cocos plate during the Miocene: Marine Geology, v. 45, p. 261-279.
85. MacDonald, D.F., 1913a, Geologic section of the Panama Canal Zone: Geological Society of America Bulletin, v. 24, p. 707-711.
86. MacDonald, D.F., 1913b, Isthmian geology: Isthmian Canal Commission, Annual Report, p. 564-582.
87. MacDonald, D.F., 1919a, The sedimentary formations of the Panama Canal Zone, with special reference to the stratigraphic relations of the fossiliferous beds: United States National Museum Bulletin, v. 103, p. 525-545.
88. MacDonald, D.F., 1919b, Notes on the stratigraphy of Panama and Costa Rica: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 3, p. 363-366.
89. MacFadden, B.J., 2005, North American Miocene land mammals from Panama: Journal of Vertebrate Paleontology, v. 25, (in press).
90. MacFadden, B.J., Higgins, P., 2004, Ancient ecology of 15-million-year-old browsing mammals within C3 plant communities from Panama: Oecologia, v. 140, p. 169-182.
91. Mann, P., ed., 1995, Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America: Geological Society of America Special

Paper 295, 349 p.
92. Martin, R.L., Dunn, D.A., 2000, Otoliths of the late Miocene Gatun Formation of Panama: American Association for Petroleum Geologists Bulletin, v. 84, p. 1684-1685.
93. Martin, R.L., Dunn, D.A., 2000, Otoliths of the late Miocene Gatun Formation of Panama: Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies, v. 50, p. 687-696.
94. Maury, C.J., 1925, A further contribution to the paleontology of Trinidad (Miocene horizons): Bulletin of American Paleontology, v. 10, 250 p.
95. Moore, J.C., 1853, Notes on the fossil Mollusca and fish from San Domingo: Geological Society of London Quarterly Journal, v. 9, p. 129-132.
96. Nicol, D., 1947, Tropical American species of *Glycymeris* from the Tertiary of Colombia, and a new species from Panama: Journal of Paleontology, v. 21, p. 346-350.
97. Oldroyd, I.S., 1918, Relationships of recent and fossil invertebrate faunas on the west side of the Isthmus of Panama to those on the east side: Geological Society of America Bulletin, v. 29, p. 162.
98. Olsson, A.A., 1922, The Miocene of northern Costa Rica: Bulletin of American Paleontology, v. 9, 309 p.
99. Olsson, A.A., 1942, Tertiary deposits of northwestern South America and Panama: Proceedings of the Eight American Scientific Congress, Geological Sciences, Washington, D.C., 1940, v. 4, p. 231-287.
100. Palmer, K.V.W., 1927, The Veneridae of eastern America, Cenozoic and Recent: Palaeontolographica Americana, v. 1, 428 p.
101. Pearson, G.A., 2005, Late Pleistocene megafaunal deposits on the Isthmus of Panama and their paleoenvironmental implications: Caribbean Journal of Science, v. 41, p. 1-13.
102. Pilsbry, H.A., 1918, Cirripedia from the Panama Canal Zone: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 185-188.
103. Pilsbry, H.A., 1931, The Miocene and Recent Mollusca of Panama Bay: Academy Nat. Sci. Phila. Proc., v. 83, p. 427-440.
104. Pilsbry, H.A., Olsson, A.A., 1950, Review of *Anticlimax*, with new Tertiary species (Gastropoda, Vitrinellidae): Bulletin of American Paleontology, v. 33, 22 p.
105. Pitt, W., Barnett, W.S., 1979, Some relationships of fossil Gatun gastropods to their Recent counterparts through the use of fluorescence: Annual Report Western Society of Malacologists, v. 11, p. 10.
106. Pratt, T.L., Holmes, M., Schweig, E.S., Gomberg, J., Cowan, H.A., 2003, High resolution seismic imaging of faults beneath Limón Bay, northern Panama Canal, Republic of Panama: Tectonophysics, v. 368, p. 211-227.
107. Rathbun, M.J., 1918, Decapod crustaceans from the Panama region: Bulletin of the U.S. National Museum, v. 103, p. 123-184.
108. Sheldon, P.G., 1917, Atlantic slope Arcas: Palaeontolographica Americana, v. 1, p. 1-101.
109. Slaughter, B.H., 1981, A new genus of geomyoid rodent from the Miocene of Texas and Panama: Journal of Vertebrate Paleontology, v. 1, p. 111-115.

110. Stehli, F.G., Webb, S.D., eds., 1985, The great American biotic interchange: New York, Plenum Press, 532 p.
111. Stewart, R.H., 1966, The Rio Bayano Basin: A geological report: Unpublished report in the archives of the ACP, PCC-4.
112. Stewart, R.H., Stewart, J.L., Woodring, W.P., 1980, Geologic map of the Panama Canal and vicinity, Republic of Panama: United States Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map I-1232, scale 1:100,000.
113. Terry, R.A., 1956, A geological reconnaissance of Panama: Occasional Papers of the California Academy of Sciences, v. 23, p. 1-91.
114. Thompson, T.F., 1944, Geology of the Pedro Miguel test area: Unpublished report in the archives of the ACP.
115. Toula, F., 1909, Eine jungtertiäere fauna von Gatun am Panama-Kanal: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt Wien, Band 59, p. 673-760.
116. Toula, F., 1911, Die jungtertiäre fauna von Gatun am Panama-Kanal; 2. Teil: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt Wien, Band 61, p. 487-530.
117. Van den Bold, W.A., 1967, Ostracoda of the Gatun Formation, Panama: Micropaleontology, v. 13, p. 306-318.
118. Van den Bold, W.A., 1973, Ostracoda of the La Boca Formation, Panama Canal Zone: Micropaleontology, v. 18, p. 410-442.
119. Van den Bold, W.A., 1973, La posicion estratigraphica de la formacion La Boca, Panama, Zona del Canal: Publicaciones Geologicas del ICAITI, v. 4, p. 167-170.
120. Vaughan, T.W., 1919a, Contributions to the geology and paleontology of the Canal Zone, Panama, and geologically related areas in Central America and the West Indies: United States National Museum Bulletin, v. 103, 612 p.
121. Vaughan, T.W., 1919b, Fossil corals from Central America, Cuba, and Porto Rico, with an account of the American Tertiary, Pleistocene, and Recent coral reefs: United States National Museum Bulletin, v. 103, p. 189-524.
122. Vaughan, T.W., 1919c, The biologic character and geologic correlation of the sedimentary formations of Panama in their relation to the geologic history of Central America and the West Indies: United States National Museum Bulletin, v. 103, p. 547-612.
123. Vaughan, T.W., 1923, Studies of the larger Tertiary foraminifera from tropical and subtropical America: Proceedings of the National Academy of Science, v. 9, p. 253-257.
124. Vaughan, T.W., 1924, American and European Tertiary larger Foraminifera: Geological Society of America Bulletin, v. 35, p. 785-822.
125. Vaughan, T.W., 1927, Larger Foraminifera of the genus *Lepidocyclina* related to *Lepidocyclina mantelli*: U.S. National Museum Proceedings, v. 771, 5 p.
126. Vaughan, T.W., 1932, A new species of *Lepidocyclina* from the Panama Canal Zone: Journal of the Washington Academy of Sciences, v. 22, p. 510-514.
127. Vaughan, T.W., 1933, Studies of American species of Foraminifera of the genus *Lepidocyclina*: Smithsonian Misc. Collection, v. 89, 53 p.
128. Vaughan, T.W., 1946, Initiation of geological investigations in the Panama Canal Zone: Science, v. 104, p. 209.

129. Vermeij, G.J., Collins, T.M., 1988, *Nerita fortidentata*, a new gastropod from the Neogene of Panama, with comments on the fossil record of *Nerita* in tropical America: The Nautilus, v. 102, 102-105.
130. White, E.I., 1955, On *Lamna eurybathrodon* Blake: Journal of Natural History, v. 8, p. 191-193.
131. Whitmore, F.C., Stewart, R.H., 1965, Miocene mammals and Central American seaways: Science, v. 148, p. 180-185.
132. Woodring, W.P., 1926, American Tertiary mollusks of the genus *Clementia*: U.S. Geological Survey Professional Paper 147, p. 25-47.
133. Woodring, W.P., 1957-1982, Geology and paleontology of Canal Zone and adjoining parts of Panama: United States Geological Survey Professional Paper 306, 759 p.
134. Woodring, W.P., 1958, Geology of Barro Colorado Island, Canal Zone: Smithsonian Miscellaneous Collections, v. 135, 39 p.
135. Woodring, W.P., 1964a, Geology and paleontology of Canal Zone and adjoining parts of Panama: United States Geological Survey Professional Paper 306-C, p. 241-297.
136. Woodring, W.P., 1964b, *Psilarius*, new name for *Leptarius* Woodring, 1964, not *Leptarius* Gill, 1864: The Nautilus, v. 77, p. 143.
137. Woodring, W.P., 1965a, Endemism in middle Miocene Caribbean molluscan faunas: Science, v. 148, p. 961-963.
138. Woodring, W.P., 1965b, Estratigrafia Terciaria de la Zona del Canal y partes adyacentes de la Republica de Panama: Inst. Centroamericano Inv. y Tecnologia Indus. Pub. Geol. ICAITI., v. 1, p. 43-45.
139. Woodring, W.P., 1966, The Panama land bridge as a sea barrier: Proceedings of the American Philosophical Society, v. 110, p. 425-433.
140. Woodring, W.P., Thompson, T.F., 1949, Tertiary formations of Panama Canal Zone and adjoining parts of Panama: Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 33, p. 223-247.

APENDICE B

ENTREVISTAS

APENDICE B

ENTREVISTAS

1. Sr. Jaime Arrocha:
Geólogo de la Autoridad del Canal de Panamá. Posee muchos años de experiencia en la zona geológica del Canal de Panama.

2. Dra. Laurel Collins:
Profesora Asociada del Departmento de Earth Sciences y el Departmento de Biological Sciences en la Florida International University. Miembra de PPP (Panama Paleontology Project) del Smithsonian Tropical Research Institute. Dr. Collins posee una basta experiencia en los fósiles de la formación Gatun (15 años de investigación). Es considerada una experta en "benthic foraminifera."

3. Ing. Pastora Franceschi:
Ingeniera en Minas y Geóloga de la Autoridad del Canal de Panamá. Ella posee muchos años de experiencia en la geología del Canal de Panamá. Es experta en la geología del canal.

4. Dr. Jeremy Jackson:
Profesor Asociado y Miembro de el programa PPP (Panama Paleontology Project) de Smithsonian Tropical Research Institute. Profesor asociado de Scripps Institution of Oceanography. Es considerado un experto en los fósiles de la formación Gatún y en Moluscos. Dr. Jackson, posee una reconocida trayectoria de mas de 20 años de investigación.

5. Dr. Bruce MacFadden:
Profesor y Curador de Paleontologia de Vertebrados en el Florida Museum of Natural History. Posee una basta experiencia y reconocida trayectoria en la paleontología de vertebrados. Dr. Macfadden ha realizado numerosos viajes a la zona del Canal de Panamá con el propósito de estudiar los fosiles vertebrados del Miocénico.

6. Sra. Jay Stewart:
Geóloga Emerita de la Autoridad del Canal de Panamá. Posee muchos años de experiencia en la geología del Canal de Panamá. Sra Stewart, también ha recolectado fosiles de vertebrados en conjunto con Sr. Robert Stewart, Geólogo de la Autoridad de el Canal de Panamá, y el Dr. Frank Whitmore, Investigador de el Smithsonian Tropical Research Institute.

INTERVIEW OF SR. JAIME ARROCHA

I interviewed Sr. Jaime Arrocha between 10:30AM-11:00 AM on August 17, 2005, in person. He is employed by ACP as a geologist. He has not found any fossils on the surface in the areas of the new set of locks. He has found fossils in the drill cores. On the Pacific side, he has found oysters, corals, and other marine fossils in drill cores, such as PAC-1, probably in the La Boca or Culebra formations. Foraminifera are also abundant in these drill cores. He was not sure exactly which cores contain these fossils, so I asked him if he could make a list of drill cores containing fossils in the areas of the new set of locks. Elsewhere, he found jaw fragments of a crocodile from the upper Culebra Formation. I examined this material. The fragments contain broken conical teeth about 5 mm in diameter measured near the base of the tooth, and spaced about 1 cm apart along the jaw. He found them in the recent exposure excavated on the east-side of the canal where there was a slide that reactivated in June 2004. This is in my section 11.

INTERVIEW OF DRA. LAUREL COLLINS

Dear Michael:
Regarding localities along the Panama Canal that are paleontological resources, I know of four formations:
1. Cucaracha Formation - rich in vertebrate remains, I have only visited this with Michael Kirby.
2. Culebra Formation - contains marine fossils, which I have published on with my student. I have visited these localities with Michael Kirby.
3. Gatun Formation - rich in marine fossils. I have worked with this formation for 15 years. It is the subject of several publications. The precise localities may be accessed from the Panama Paleontology Database that I manage at www.fiu.edu/~collinsl.
4. Chagres Formation - contains marine fossils. I have worked with this formation for 10 years and published on it. The precise localities may be accessed from the Panama Paleontology Database that I manage at www.fiu.edu/~collinsl.
Sincerely,
Laurel Collins

Laurel S. Collins, Associate Professor
Department of Earth Sciences and Department of Biological Sciences
Florida International University, State University System
Mailing address:
Department of Earth Sciences
11200 SW 8th Street, PC344
Florida International University, Miami, Florida 33199 USA
http://www.fiu.edu/~collinsl/, phone: 1-305-348-1732, fax: 1-305-348-3877

INTERVIEW OF SRA. PASTORA FRANCESCHI

I interviewed Sra. Pastora Franceschi between 10:00AM-3:00 PM on August 17, 2005, in person. She is employed by ACP as a geologist. She has not found any fossils on the surface in the areas of the new set of locks. She has found fossils in the drill cores. She found in the early 1980s a large molar of a rhinoceros, *Floridaceras whitei*, within a drill core on the north side of Cerro Paraiso, in hole CWCR-29 or CWCR-30. This tooth is presently on display in the Visitor's Center at Miraflores. Oysters and other marine shells are abundant in drill cores in the La Boca Formation. She has also found non-marine snails from the Cucaracha Formation along Cerro Escobar, Station 2005, 200 m west offset, in August 2001. On the Caribbean side, she has found marine fossils in drill cores in the area of the new set of locks. Elsewhere, she also found a shark tooth in drill core CWS-16 in siltstone.

Gatún en el área norte de la zona propuesta para la expansión (Apéndice B). Drs. Laurel Collins y Jeremy Jackson indicaron que el "Panama Paleontology Project" de STRI ha recogido fósiles de sitios en el área norte propuesta para la expansión. Sra. Jay Stewart advirtió que los nautiloides pueden ser abundantes en la formación Gatún.

Dado que tanto la búsqueda bibliográfica, las entrevistas y el reconocimiento de campo muestran que la formación Gatún es muy fosilífera, con vertebrados e invertebrados marinos, se ha determinado que esta formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área norte propuesta para la expansión. La ampliación en las áreas en las que se localiza la formación Gatún, tanto en la superficie como en la sub-superficie, tendrá una alta probabilidad de encontrar fósiles. Se recomienda un monitoreo paleontológico en aquellas áreas en las que la formación Gatún está expuesta o presente en la sub-superficie (Apéndice E).

5.6 LAMA DEL PACIFICO Y LAMA DEL ATLANTICO

En las dos áreas propuestas para la expansión existen depósitos no consolidados de edad Cuaternaria. La Lama del Pacífico se ubica en el área de expansión sur y la Lama del Atlántico se ubica en el área de expansión norte. Ambos depósitos se extienden de manera discordante sobre unidades de roca más antiguas de edad Terciaria, específicamente, la formaciones La Boca y Culebra en el sur, y la formación Gatún en el norte. El lodo orgánico negro es el tipo de depósito más ampliamente distribuido (Woodring, 1957). Se trata de depósitos pantanosos y es una mezcla de lutita, restos orgánicos de granulometría muy fina y madera, tallos y hojas parcialmente carbonizados (Woodring, 1957). También existen fósiles marinos. El reconocimiento de campo no permitió determinar si esas unidades contienen fósiles, pero la investigación bibliográfica determinó que durante la construcción del Canal de Panamá se encontraron a nivel local ostras, otros moluscos y material vegetal (Dall, 1912; Brown y Pilsbry, 1913). Se desconoce la edad precisa de estos sedimentos, pero es posible que daten del Pleistoceno, al menos una parte de ellos. Sin embargo, pruebas hechos por el USGS para la ACP en 1996, registran las edades de las lamas entre 6000 y 10000 años.

Como la investigación bibliográfica sugiere que fósiles del Cuaternario pueden encontrarse presentes en la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico, se ha determinado que estos depósitos tienen un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en ambas áreas de expansión. Aunque no se ha encontrado mamíferos terrestres en estos depósitos, depósitos similares en otros lugares han producido mamíferos terrestres del Pleistoceno (Gazin, 1957; Pearson, 2005). Se recomienda un monitoreo palentológico en aquellas área donde se presentan la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico.

6.0 RESUMEN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha determinado que las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Gatún y la Lama del Atlántico y la Lama del Pacífico presentan un alto potencial de contener recursos paleontológicos, según indican el trabajo de campo, la búsqueda bibliográfica y las

Mail Message

Close Previous Next Forward Reply to Sender Reply All Move
Delete Read Later Properties

Print View

From: "Jeremy B.C. Jackson" <jbjackson@popmail.ucsd.edu>
To: Michael Kirby
Date: Thursday - August 18, 2005 3:21 PM
Subject: Canal Area Fossil Localities
Mime.822 (2871 bytes) [View] [Save As]

Dear Michael

I know of just two sets of fossil localities along the Canal. The first group includes Late Miocene sites around Gatun Dam and along the shore of Lake Gatun near the locks along the Caribbean entrance to the Canal. Younger localities reported in this vicinity during Canal construction have been overgrown or lost. The second set includes the Whitmore-Stewart and bridge localities that you kindly showed me two years ago.

Sincerely

Jeremy Jackson

UNIVERSITY OF FLORIDA

Florida Museum of Natural History
Dickinson Hall, PO Box 117800
bmacfadd@flmnh.ufl.edu
Gainesville FL 32611-7800

Bruce J. MacFadden

Phone: (352) 392-1721, ext. 496

19 August 2005

To: Dr. Michael X. Kirby (sent vai email to: mkirby@flmnh.ufl.edu)

Subject: Paleontological Resources along the Panama Canal

This letter is sent in response to your request for information concerning the above-mentioned subject. I am a specialist in fossil vertebrates and will therefore confine my response to these kinds of fossils (and not fossil plants and invertebrates.) I have done fieldwork on four occasions along the Panama Canal since 2002. I also am currently studying the vertebrate fossil collections from Panama in the Smithsonian Institution in Washington DC.

To my knowledge, the only fossil localities that I know of along the Panama Canal (including the adjacent regions of the former Canal Zone) are those:

1. collected by the Stewarts and reported on by Whitmore and Stewart (1965), *Science*; and
2. more recently discovered by you.

I hope that this information helps you in your resource assessment.

Yours sincerely,

Bruce J MacFadden

Bruce J. MacFadden, Ph.D.
Curator of Vertebrate Paleontology
UF Research Foundation Professor

[mxkirby8195, 218-hd]

INTERVIEW OF SRA. JAY STEWART

I interviewed Sra. Jay Stewart between 3:30-4:00 PM on August 18, 2005, by telephone. She worked as a geologist with the PCC between the 1960s and 1980s. The only fossils that she remembers finding in the area of the new set of locks on the Pacific side are marine shells. This is probably from the Culebra or La Boca formations. She said that there is a lot of fill and basalt in this area. The main locality for the mammal fossils was Cerro Escobar, where she and her husband, Robert Stewart, collected rhinos, horses, and other large mammals from the Cucaracha Formation. Away from the Panama Canal, she remembers finding Pleistocene mammals at Devils Beach, which is located on the Caribbean coast, west of Fort Sherman. Also on the Caribbean side, she noted that nautiloids can be abundant in the Gatun Formation.

APENDICE C

MATRIZ DE LOCALIDADES DE PRESENTE ESTUDIO

APENDICE C

APENDICE C. MATRIZ DE LOCALIDADES DE PRESENTE ESTUDIO.

Numero	Tipo	Localidad	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Profundidad (m)	Fecha	Formación	Roca	Fósil	Edad
PAC-1	Surface	Cerro Paraiso	09°01.388'N	079°37.368'W	37	0	21/8/2005	Cucaracha	Claystone	Root cast	Miocene
PAC-2	Surface	Cerro Paraiso	09°01.328'N	079°37.240'W	28	0	21/8/2005	La Boca	Siltstone	Bone, crabs, bivalves, burrows, plants	early Miocene
PAC-3	Surface	Cerro Paraiso	09°01.271'N	079°37.207'W	49	0	21/8/2005	La Boca	Lithic wacke	Oysters, pectenids, glyceramid, larger benthic foraminifera, wood, borings in oyster shell	early Miocene
PAC-4	Surface	Cerro Escobar	09°01.947'N	079°38.262'W	45	0	20/8/2005	Cucaracha	Siltstone	*Paratoceras wardi* , turtle	Miocene
PAC-5	Surface	Lirio, north pit	09°03.475'N	079°39.843'W	77	0	23/8/2005	La Boca	Siltstone	Bivalves, gastropods, decapods, plant compressions, teredinids in wood, oysters	early Miocene
PAC-6	Surface	Cerro Escobar	09°02.080'N	079°38.438'W	47	0	23/8/2005	Cucaracha	Claystone	Turtle	Miocene
PAC-7	Surface	Lirio	09°03.434'N	079°39.628'W	56	0	28/8/2005	Cucaracha	Claystone	Root cast	Miocene
PAC-8	Surface	East Culebra	09°03.129'N	079°38.981'W	75	0	31/8/2005	Culebra	Sandstone	cf. *Merycochoerus matthewi* , turtle, crocodile	early Miocene
PAC-9	Surface	South pit at Lirio	09°03.144'N	079°39.433'W	66	0	O1/9/2005	Culebra	Siltstone	Turtle, oysters, mangrove, decapods, seed	early Miocene
PAC-10	Surface	Bridge locality	09°01.824'N	079°38.127'W	39	0	O2/9/2005	Cucaracha	Conglomerate	Jaw of land mammal (cf. *Paratoceras wardi*)	Miocene
PAC-11	Surface	Bridge locality	09°01.804'N	079°38.205'W	52	0	O2/9/2005	Cucaracha	Siltstone	Turtle, vertabra	Miocene
PAC-12	Surface	Lirio	09°03.433'N	079°39.623'W	60	0	O2/9/2005	Cucaracha	Lithic wacke	Palm	Miocene
GAT-1	Surface	Gatun, NGL-31	09°15.858'N	079°54.635'W	72	0	30/8/2005	Gatún	Sandstone	Bivalves	late Miocene
GAT-2	Surface	Gatun, NGL-4	09°16.694'N	079°54.770'W	74	0	30/8/2005	Gatún	Siltstone	Muricid, Turritella, bivalves	late Miocene
GAT-3	Surface	Gatun, NGL-33	09°15.780'N	079°54.643'W	41	0	30/8/2005	Gatún	Sandstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
GAT-4	Surface	Gatun, west-side of po	09°17.937'N	079°55.114'W	8	0	30/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-4	Core	Gatun	9ø 16' + 4681.54 ft	79ø 54' + 5659.14 ft	13.514 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Shell debris	late Miocene
NGL-5	Core	Gatun	9ø 16' + 4639.12 ft	79ø 55' + 44.84 ft	13.700 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Shell debris	late Miocene
NGL-9	Core	Gatun	9ø 16' + 3881.09 ft	79ø 55' + 5.30 ft	21.493 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Tuff	Plant fragments	late Miocene
NGL-11	Core	Gatun	9ø 16' + 3220.16 ft	79ø 54' + 5349.59 ft	38.138 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Echinoid, bivalves, gastropods	late Miocene
NGL-12	Core	Gatun	9ø 16' + 3225.30 ft	79ø 54' + 5470.84 ft	22.863 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-13	Core	Gatun	9ø 16' + 3225.70 ft	79ø 54' + 5921.36 ft	22.388 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Shell fragments	late Miocene
NGL-14	Core	Gatun	9ø 16' + 3133.06 ft	79ø 55' + 182.86 ft	34.929 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Shell fragments	late Miocene
NGL-15	Core	Gatun	9ø 16' + 2476.74 ft	79ø 54' + 5250.63 ft	28.730 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-16	Core	Gatun	9ø 16' + 2390.07 ft	79ø 54' + 5329.57 ft	26.630 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-17	Core	Gatun	9ø 16' + 2361.46 ft	79ø 54' + 5843.63 ft	37.264 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Sandstone	Bivalve	late Miocene
NGL-18	Core	Gatun	NA	NA	NA	por todo	27/8/2005	Gatún	Sandstone	Bivalves, gastropods	late Miocene
NGL-23	Core	Gatun	9ø 16' + 986.58 ft	79ø 54' + 5014.17 ft	35.672 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Bivalve	late Miocene
NGL-24	Core	Gatun	9ø 16' + 982.18 ft	79ø 54' + 5157.44 ft	29.442 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Shell fragments	late Miocene
NGL-25	Core	Gatun	9ø 16' + 891.33 ft	79ø 54' + 5592.25 ft	30.846 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-26	Core	Gatun	9ø 15' + 836.19 ft	79ø 54' + 5923.72 ft	33.990 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Foraminifera, mollusc fragments	late Miocene
NGL-27	Core	Gatun	9ø 16' + 232.21 ft	79ø 54' + 4802.78 ft	60.184 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Foraminifera, mollusc fragments	late Miocene
NGL-28	Core	Gatun	9ø 16' + 207.74 ft	79ø 54' + 5021.24 ft	35.926 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-29	Core	Gatun	9ø 16' + 129.94 ft	79ø 54' + 5465.44 ft	39.192 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Gastropods, bivalves	late Miocene
NGL-30	Core	Gatun	9ø 15' + 5170.97 ft	79ø 54' + 5136.20 ft	30.522 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Bivalves, gastropods	late Miocene
NGL-31	Core	Gatun	9ø 15' + 5686.26 ft	79ø 54' + 4829.51 ft	62.891 m	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Bivalves, gastropods	late Miocene
NGL-32	Core	Gatun	NA	NA	NA	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	Pectenid, bivalves, gastropods	late Miocene
NGL-33	Core	Gatun	NA	NA	NA	por todo	27/8/2005	Gatún	Siltstone	*Anadara*, bivalves, gastropods	late Miocene
NML-11	Core	Pacific Sector	8ø 59' + 2646.66 ft	79ø 35' + 4876.92 ft	NA	por todo	26/8/2005	La Boca	Siltstone	Shell debris, foraminifera	early Miocene
NML-13	Core	Pacific Sector	8ø 59' + 2300.59 ft	79ø 35' + 5314.76 ft	NA	18-58	24/8/2005	La Boca	Siltstone	Shell debris	early Miocene
NML-16	Core	Pacific Sector	8ø 59' + 1840.16 ft	79ø 35' + 4961.37 ft	NA	44	26/8/2005	La Boca	Siltstone	Shell debris	early Miocene
NML-42	Core	Pacific Sector	8ø 58' + 4107.55 ft	79ø 35' + 1836.60 ft	NA	52	23/8/2005	La Boca	Siltstone	Bivalves	early Miocene
PAC-1	Core	Pacific Sector	9ø 1' + 1815.40 ft	79ø 37' + 2038.83 ft	40.676 m	0-29.3	23/8/2005	La Boca	Siltstone	Oysters, plant compressions	early Miocene
PAC-4	Core	Pacific Sector	9ø 0' + 5758.75 ft	79ø 36' + 5690.28 ft	18.704 m	17	27/8/2005	La Boca	Sandstone	Oysters, bivalves	early Miocene
PAC-5	Core	Pacific Sector	9ø 0' + 5381.50 ft	79ø 36' + 5286.61 ft	18.670 m	por todo	26/8/2005	La Boca	Siltstone	Bivalves, gastropods	early Miocene
PAC-6	Core	Pacific Sector	9ø 0' + 4918.46 ft	79ø 36' + 4906.40 ft	17.796 m	17	27/8/2005	La Boca	Sandstone	Bivalves, gastropods, larger benthic foraminifera	early Miocene
PAC-7	Core	Pacific Sector	NA	NA	NA	por todo	26/8/2005	La Boca	Sandstone	Oysters, bivalves	early Miocene
PAC-8	Core	Pacific Sector	NA	NA	NA	por todo	26/8/2005	La Boca	Sandstone	Oysters, bivalves	early Miocene
PAC-49	Core	Pacific Sector	9ø 1' + 891.33 ft	79ø 37' + 2851.50 ft	48.152 m	51	26/8/2005	Cucaracha	Lithic wacke	Oysters	Miocene
PAC-50	Core	Pacific Sector	9ø 0' + 4816.24 ft	79ø 37' + 501.68 ft	19.506 m	por todo	27/8/2005	La Boca	Siltstone	*Turritella*, bivalves	early Miocene
PAC-64	Core	Pacific Sector	9ø 1' + 1083.17 ft	79ø 37' + 3522.43 ft	64.841 m	57.3	23/8/2005	Cucaracha	Sandstone	Vertebrate	Miocene
PAC-65	Core	Pacific Sector	9ø 1' + 666.55 ft	79ø 37' + 3059.98 ft	29.401 m	por todo	27/8/2005	Cucaracha	Siltstone	Oysters	Miocene

APENDICE D

MATRIZ DE LOCALIDADES DE OTROS ESTUDIOS

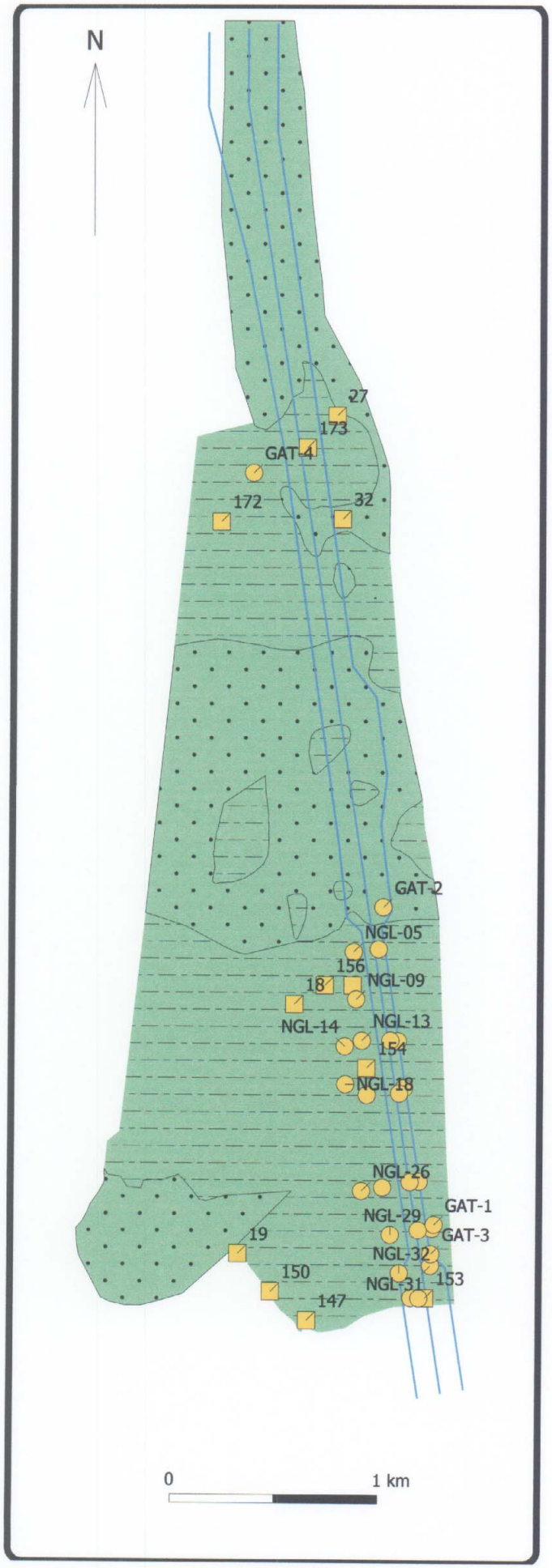
APENDICE D

APENDICE D. MATRIZ DE LOCALIDADES DE OTROS ESTUDIOS.

Numero	Otro Numero	Tipo	Latitud	Longitud	Fecha	Formación	Roca	Fósil	Edad	Coleccionista
18	--	Surface	9.27396	-79.91674	1986	Gatun	Siltstone	*Articulina sp., Asterigerina carinata, A. pettersi, Asterigerinata dominic*	Late Miocene	Panama Paleontology Project
19	--	Surface	9.26301	-79.9192	1986	Gatun	Sandstone and siltstone	*Bigenerina irregularis, Bigenerina sp., Biloculinella eburnea*	Late Miocene	Panama Paleontology Project
27	--	Surface	9.2998	-79.9149	1986	Gatun	Siltstone	*Bolivina marginata*	Late Miocene	Panama Paleontology Project
28	--	Surface	9.29527	-79.91466	1986	Gatun	Siltstone	*Bolivina marginata, B. merecuanai, B. multicostata, B. nsp1, B. nsp2,*	Late Miocene	Panama Paleontology Project
32	--	Surface	9.29527	-79.91466	1986	Gatun	Siltstone	Not listed	Late Miocene	Panama Paleontology Project
37	--	Surface	9.26193	-79.90382	1986	Gatun	Sandstone	Not listed	Late Miocene	Panama Paleontology Project
41	--	Surface	9.26193	-79.90382	1986	Gatun	Silty sandstone	Not listed	Late Miocene	Panama Paleontology Project
99a	6019a	Surface	9.079573872	-79.67656191	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
99g	6019g	Surface	9.080681783	-79.67699339	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
100	6020a	Surface	9.078755095	-79.67627454	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
101	16943	Surface	9.078033398	-79.6762268	1947	Culebra	Black clay 60 cm below base of limestone.	Molluscs	Early Miocene	T.G. Moran, W.P. Woodring
102	6012a	Surface	9.055740921	-79.65719601	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
103	6012b	Surface	9.054775526	-79.65628017	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
104	16933	Surface	9.053812616	-79.65604179	1947	Culebra	Sandy pebble bed in almost black mudstone	Molluscs	Early Miocene	T.G. Moran, W.P. Woodring
106	6012c	Surface	9.049758971	-79.65247599	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
107	6012d	Surface	9.047492347	-79.65088756	1911	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
109	6013	Surface	9.04893413	-79.65054346	1911	Culebra	Pebbly calcareous sandstone.	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
110	16886	Surface	9.052306367	-79.65193421	1947	Culebra	Tuffaceous sandstone and calcareous concretions in transition zone between C	Molluscs	Early Miocene	J.R. Schultz, W.P. Woodring
111	2701	Surface	9.05005398	-79.65421693	1943	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	T.F. Thompson
112	16910	Surface	9.049715139	-79.65363751	1947	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	J.R. Schultz, W.P. Woodring
113	6011	Surface	9.031170671	-79.63377083	1911	Culebra	Foraminiferal limy sandstone.	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
114	5860	Surface	9.030256217	-79.63362911	1913	Culebra	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald
115	6505	Surface	9.028998293	-79.63194031	1913	Culebra	Lower part of limy sandstone.	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald
118	5853	Surface	9.028227699	-79.63141096	1911	Culebra	Pebbly tuffaceous sandstone about 2 5 feet (75 cm) thick	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald
120	16958	Surface	9.082368489	-79.67785831	1947	Culebra	Calcareous siltstone and limestone	Molluscs	Early Miocene	T.G. Moran, W.P. Woodring
122	6012e	Surface	9.046040938	-79.64861867	1911	Culebra	Black carbonaceous shale.	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
123	16955	Surface	9.062875844	-79.66152476	1947	La Boca	Coralliferous limestone at base of La Boca member.	Molluscs	Early Miocene	T.G. Moran, W.P. Woodring
124	--	Surface	9.060664251	-79.66182332	1947	La Boca	Dark, almost black mudstone.	Molluscs	Early Miocene	T.G. Moran, W.P. Woodring
125	5852	Surface	9.060088506	-79.66168028	1911	La Boca	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald
130	6010	Surface	9.02386228	-79.62170184	1911	La Boca	NA	Molluscs	Early Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
147	6033a	Surface	9.2601	-79.9162	1911	Gatun	NA	Molluscs	Late Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
150	1918	Surface	9.2613	-79.9178	1918	Gatun	NA	Molluscs	Late Miocene	A.A. Olsson
153	16950	Surface	9.2611	-79.911	1947	Gatun	Unit 1 of section on p. 44; silty to marly sandstone.	Molluscs	Late Miocene	T.F. Thompson, W.P. Woodring
154	16935	Surface	9.2712	-79.9136	1947	Gatun	Conglomerate	Molluscs	Late Miocene	T.F. Thompson, W.P. Woodring
155	2653	Surface	9.2748	-79.9142	1942	Gatun	Units 11 and 12 of section on p. 44. Fine-grained sandstone and marly siltstone.	Molluscs	Late Miocene	T.F. Thompson
156	16928	Surface	9.2748	-79.9154	1947	Gatun	*Turritella* -bearing marly siltstone.	Molluscs	Late Miocene	T.F. Thompson, W.P. Woodring
172	6035	Surface	9.2952	-79.92	1911	Gatun	NA	Molluscs	Late Miocene	D.F. MacDonald, T.W. Vaughan
173	2654	Surface	9.2984	-79.9162	1942	Gatun	NA	Molluscs	Late Miocene	T.F. Thompson
17685	--	Surface	9.074446369	-79.67532593	2/11/03	Culebra	Limestone	Corals	Early Miocene	K. Johnson, M.X. Kirby
17684	--	Surface	9.063914594	-79.66141089	2/13/03	Culebra	Limestone	Corals	Early Miocene	K. Johnson, M.X. Kirby
GC11	--	Surface	9.056516793	-79.65904828	8/7/03	Culebra	Mudstone	Sea urchin, large benthic foraminifera, oyster, gastropods	Early Miocene	M.X. Kirby
GC12-1	--	Surface	9.051657515	-79.65583282	8/13/03	Cucaracha	NA	*Paratoceras wardi, Cynorca* sp., turtle	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC12-4	--	Surface	9.051657515	-79.65583282	5/14/04	Cucaracha	Carbonaceous siltstone	*Paratoceras wardi* , turtle	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC12-5	--	Surface	9.05231341	-79.65605883	5/14/04	Culebra	Carbonaceous siltstone	Wood, oysters	Early Miocene	M.X. Kirby
GC12-6	--	Surface	9.052104114	-79.65614748	5/14/04	Culebra	Carbonaceous siltstone	Neogastropods	Early Miocene	M.X. Kirby
GC13-1	--	Surface	9.031536681	-79.63763241	8/20/03	Cucaracha	Dark-green mudstone	*Paratoceras wardi*	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-19	--	Surface	9.030074751	-79.63674173	9/25/03	Cucaracha	Siltstone	Vertebrates, turtle, crocodile	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-2	--	Surface	9.030906246	-79.63721305	8/20/03	Cucaracha	Dark-green mudstone	Turtle, coprolite	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-20	--	Surface	9.029026015	-79.63658995	9/25/03	Cucaracha	Fine-grained sandtone	*Paratoceras wardi, Menoceras barbouri*	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-25	--	Surface	9.030210057	-79.63554632	6/16/04	Cucaracha	Claystone	Leaf compressions	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-29	--	Surface	9.03004112	-79.63709329	6/17/04	Cucaracha	Dark-gray mudstone	Leaf compressions	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-3	--	Surface	9.030418367	-79.6351941	8/20/03	Cucaracha	Very coarse-grained sandstone	*Menoceras barbouri, Cynorca* sp.	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-30	--	Surface	9.030401879	-79.63545774	3/11/05	Cucaracha	Pebble conglomerate	Mandible of land mammal	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC13-4	--	Surface	9.032445392	-79.63773443	8/21/03	Cucaracha	Dark-green mudstone	*Paratoceras wardi*	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC17-1	--	Surface	9.045098768	-79.65125308	9/12/03	Cucaracha	Conglomeratic sandstone	Vertebrates	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC17-3	--	Surface	9.045427752	-79.65046107	9/26/03	Cucaracha	Red claystone	Mammal teeth in nodules	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC17-4	--	Surface	9.045411901	-79.65090045	9/26/03	Cucaracha	Yellow claystone	Vertebrates	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC17-7	--	Surface	9.044907298	-79.65025214	6/16/04	Cucaracha	Purple-red claystone	*Merycochoerus matthewi*	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC19	--	Surface	9.043361613	-79.64440618	2/4/04	Cucaracha	Pebble conglomerate	Turtle, crocodile	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC20-1	--	Surface	9.039269668	-79.6467762	3/24/04	Cucaracha	Green mudstone	Rhinoceros, turtle	Middle Miocene	M.X. Kirby
GC22-1	--	Surface	9.043277632	-79.64413411	5/18/04	Cucaracha	Pebble conglomerate	Horse or rhinoceros	Middle Miocene	M.X. Kirby

APENDICE E

MAPAS



POTENCIAL PALEONTOLÓGICO DEL ALINEAMIENTO SECTOR ATLÁNTICO REPUBLICA DE PANAMÁ

preparado por

Michael Xavier Kirby, Ph.D.

Diciembre 2005

LEYENDA

- Localidad de invertebrados (presente estudio)
- Localidad de invertebrados (otro estudio)
- Contacto geológico
- Alineamiento de Esclusa

Alto Potencial

- Atlantic Muck
- Formación Gatun

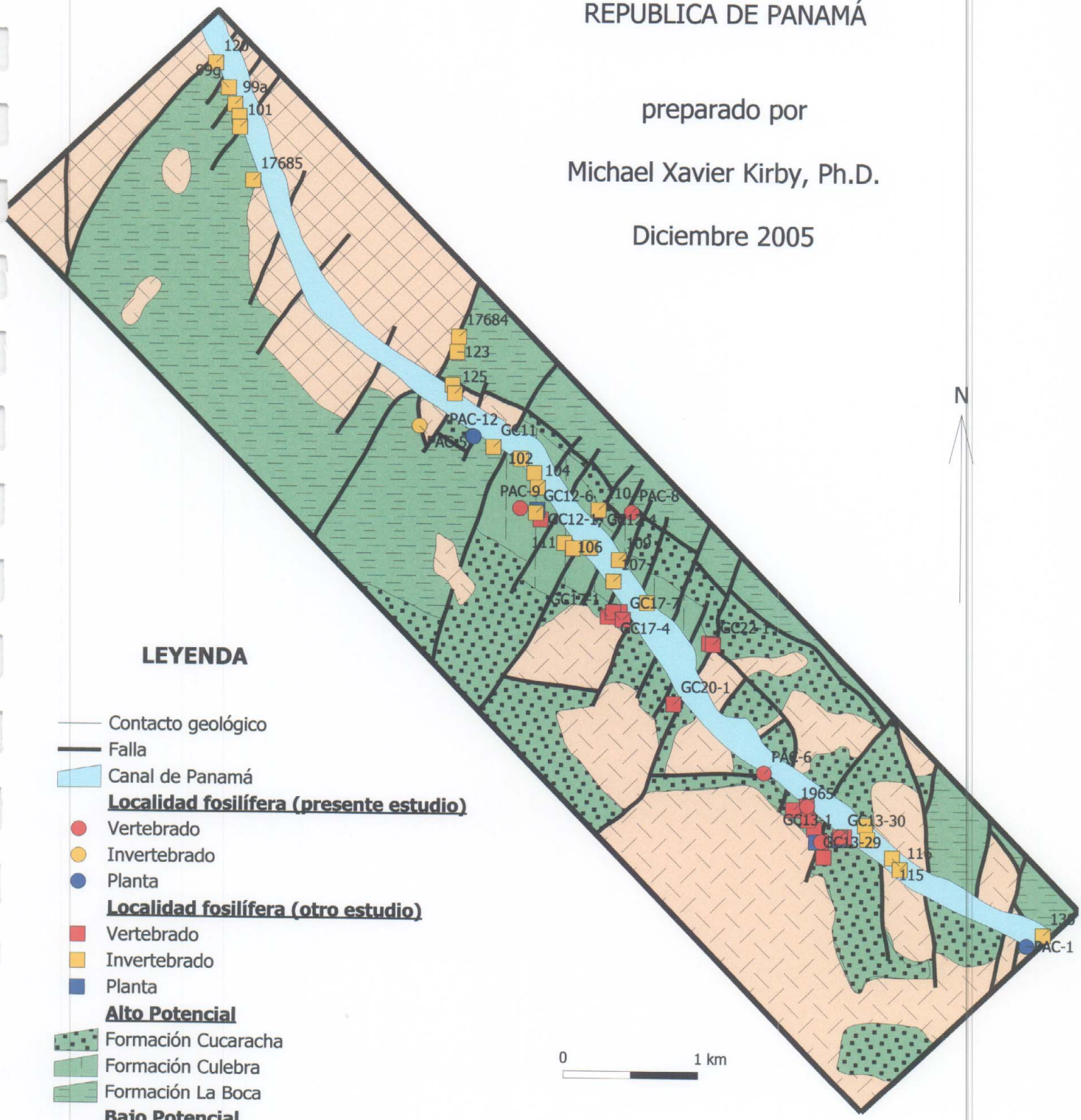
POTENCIAL PALEONTOLÓGICO DEL CORTE CULEBRA

REPUBLICA DE PANAMÁ

preparado por

Michael Xavier Kirby, Ph.D.

Diciembre 2005



LEYENDA

Contacto geológico

Falla

Canal de Panamá

Localidad fosilífera (presente estudio)

- Vertebrado
- Invertebrado
- Planta

Localidad fosilífera (otro estudio)

- Vertebrado
- Invertebrado
- Planta

Alto Potencial

- Formación Cucaracha
- Formación Culebra
- Formación La Boca

Bajo Potencial

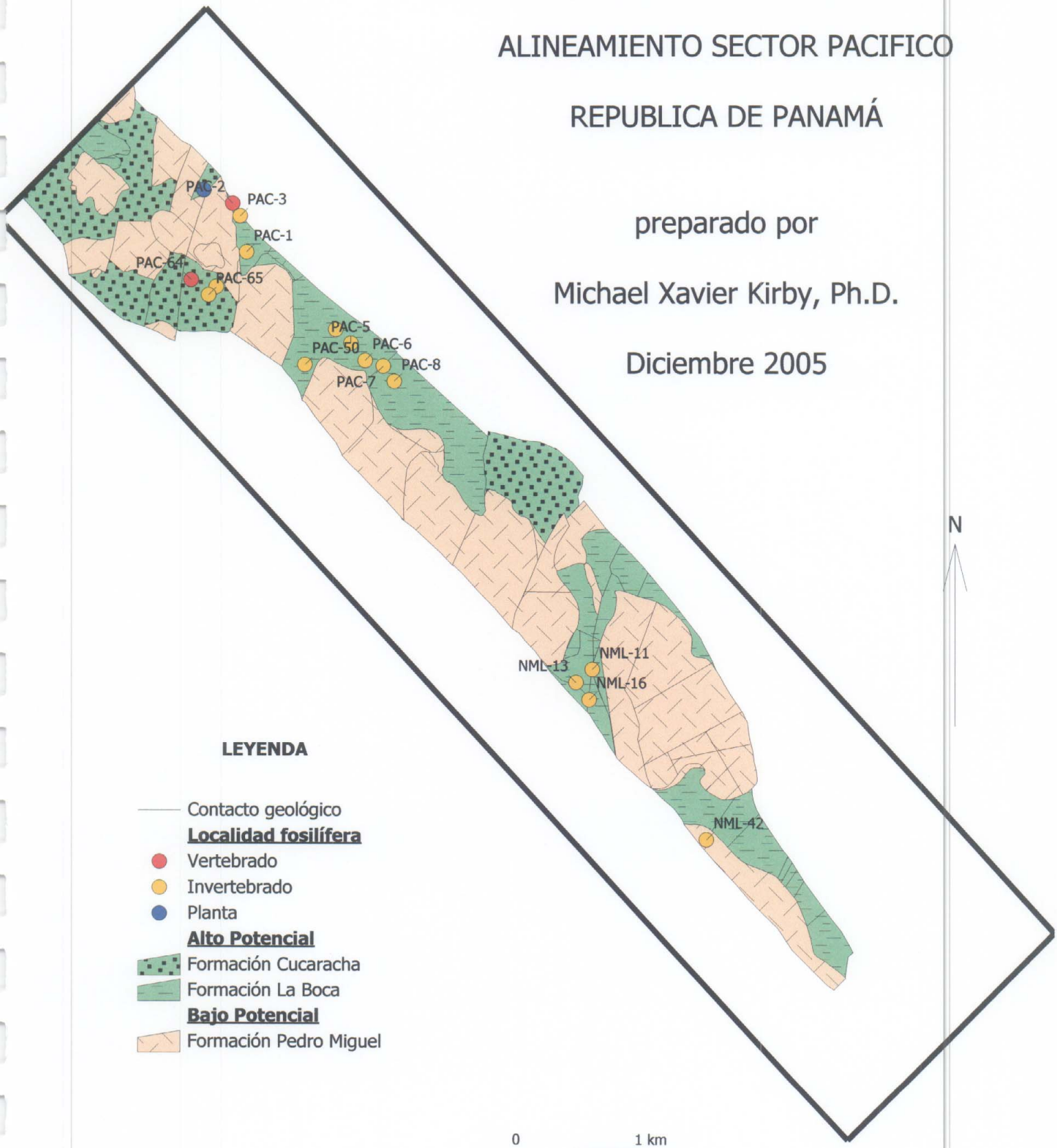
- Formación Pedro Miguel
- Formación Las Cascadas

POTENCIAL PALEONTOLÓGICO DEL ALINEAMIENTO SECTOR PACIFICO REPUBLICA DE PANAMÁ

preparado por

Michael Xavier Kirby, Ph.D.

Diciembre 2005



APENDICE F

DESCRIPCION CADA LOCALIDAD

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC-1

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate ___ Trace X Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: Upper

UNIT: _____ AGE: early or middle Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Northern end of Cerro Paraiso near waterline.

4. LITHOLOGY:
Olive-gray claystone.

5. GPS: Lat. 09° 01.388' N Long. 079° 37.368' W

6. Elevation 37m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Root casts & calcareous nodules.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC-1	Plant	root cast.	Abundant

9. PHOTOGRAPHS:
Photographs showing root casts in outcrop.

10. REMARKS:
This is a new exposure of Cucaracha Formation.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/21/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC-2

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: La Boca / Culebra MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Between Cerro Paraiso & Canal, toward southern end of Cerro; at water line.

4. LITHOLOGY:
Black siltstone, carbonaceous

5. GPS: Lat. 09° 01.328' N Long. 079° 37.240' W

6. Elevation 28 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Bone, decapods, bivalve, burrows, plant fragments.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC-2	Vertebrate	postcranial	rare (1)
PAC-2	Bivalve	Cast	1

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of bone & bivalve, outcrop, & general setting.

10. REMARKS:
The bone is most likely from a marine vertebrate.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/21/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 3

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant X Vertebrate ___ Trace X Other ___

2. FORMATION: Calebra Fm MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: Early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
East-side of Cerro Paraiso, between 2nd & 3rd terraces, SE corner of Cerro Paraiso.

4. LITHOLOGY:
Fine-grained lithic wacke (sandstone)

5. GPS: Lat. 09° 01.271' N Long. 079° 37.207' W

6. Elevation 49 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Oysters, pectenids, glyceramid, large benthic forams, wood, borings in oyster shell

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC3	Crassostrea sp.	Left & Right valves	abundant
PAC3	Pectenids	" "	common
PAC3	Large Benthic Forams	tests	abundant

9. PHOTOGRAPHS:
1. close-up of shells on ground
2. Outcrop view
3. Distant, showing Pedro Miguel Locks

10. REMARKS:
Oysters very abundant; 2 species of oysters (Crassostrea sp. & striostreine)

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/21/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: ~~G-C13-4~~ PAC-4

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
~200m North of Puente Centenario, between Road & Canal, West-side.

4. LITHOLOGY:
Olive-gray siltstone to claystone

5. GPS: Lat. 09° 01.947' N Long. 079° 38.262' W

6. Elevation 45 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Tooth of P. wardi
Turtle fragments
Post-cranial elements

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

	FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC4	~~G-C13-4~~	P. wardi	Molar	1
PAC4	~~G-C13-4~~	Turtle	Carapace frags.	Abundant
PAC4		P. wardi	Horn	1

9. PHOTOGRAPHS:
4 photographs of locality.

10. REMARKS:
This locality is the same as G-C13-4.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/20/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC5

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant X Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Culebra MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Empire Hill; Cirio; north of Empire Hill on west-side of canal

4. LITHOLOGY:
olive-gray siltstone, carbonaceous, concretions abundant, poorly stratified.

5. GPS: Lat. 09° 03.475' N Long. 079° 39.843' W

6. Elevation 77 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Bivalves, gastropods, decapods, plant compressions, teredinids in wood, oysters.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC5	Bivalves	Molds, shell	abundant
PAC5	Gastropods	" / "	"
PAC5	Decapods	Appendage	"

9. PHOTOGRAPHS:
Close-up
Outcrops
Whole quarry N & S views

10. REMARKS:
New ongoing excavations at Cirio, mostly in Culebra Fm, but in basalt (PMA?) & a little bit cascades at northern end of quarry

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/23/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC-6

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cacaracha MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Northern end of cut along Cerro Escobar between Road & Canal.

4. LITHOLOGY:
Olive-gray claystone (paleosol)

5. GPS: Lat. 09° 02.080' N Long. 079° 38.438' W

6. Elevation 47m

7. SPECIMENS OBSERVED:
4 fragments of carapace of turtle.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC-6	Turtle	Carapace frags.	4

9. PHOTOGRAPHS:
One close-up of largest fragment,
One of outcrop, &
one looking across outcrop, southward to New Bridge.

10. REMARKS:
This is the locality that Dr. B. MacFadden collected a fossil of P. wardi with Sra. P. Franceschi in 2002

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/23/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 7

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant X Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: lower

UNIT: _____ AGE: Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Lirio

4. LITHOLOGY:
olive-gray claystone

5. GPS: Lat. 09° 03.434' N Long. 079° 39.628' W

6. Elevation 56 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Casts of roots

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC 7	Plant	Root	Common

9. PHOTOGRAPHS:
Photos

10. REMARKS:

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/28/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 8

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Culebra MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
East-side of Corte Culebra, recent excavation in recent slide north of Gold Hill

4. LITHOLOGY:
Conglomeratic, coarse-grained sandstone

5. GPS: Lat. 09° 03.129' N Long. 079° 38.981' W

6. Elevation 75 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
- Oreodont molar
- Turtle fragments, wood with teredinids
- Crocodile scutes & tooth, oysters, gastropods

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC8	Merycochoerus matthewi	molar	1
PAC8	Crocodile	scute, tooth	1

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of oreodont molar & outcrop

10. REMARKS:
This is ~2m below top of unit 2 in section 11.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/31/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 9

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant X Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Culebra MEMBER: upper

UNIT: ___ AGE: early Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
South pit, recently excavated at Lirio, West-side of the Panama Canal

4. LITHOLOGY:
Black siltstone

5. GPS: Lat. 09° 03.144' N Long. 079° 39.433' W

6. Elevation 66m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Fragments of turtle, oysters, mangrove, decapods, seed.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC9	All above		Common

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of specimens & outcrops

10. REMARKS:
with Franklin & Hortensia

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 9/1/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 10

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: upper

UNIT: 4, Sec. 2 AGE: Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Bridge Locality, in unit 4.

4. LITHOLOGY:
Pebble conglomerate

5. GPS: Lat. 09° 01.824' N Long. 079° 38.127' W

6. Elevation 39m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Jaw of Paratoceras wardi, lower, fragment, 2 premolars.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC 10	P. wardi	lower jaw	1

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of jaw & outcrop & canal.

10. REMARKS:
Same bed where D. Jones found a partial mandible in 3/2005 (GC 13-30)

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 9/2/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC11

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant ___ Vertebrate X Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: upper

UNIT: _____ AGE: Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Bridge Locality, Section 2

4. LITHOLOGY:
Olive-gray siltstone

5. GPS: Lat. 09° 01.804' N Long. 079° 38.205' W

6. Elevation 52 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Turtle fragments, vertebra

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC11	Turtle	Carapace	Common
PAC11	Reptile?	Vertebra	1

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of specimens & outcrop

10. REMARKS:
Same locality as GC13-19

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 9/2/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: PAC 12

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant X Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Cucaracha MEMBER: lower

UNIT: _____ AGE: Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Lirio

4. LITHOLOGY:
Coarse-grained lithic wacke

5. GPS: Lat. 09°03.433' N Long. 079°39.623' W

6. Elevation 60 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Palm, cross-section of trunk showing internal structure.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
PAC12	Palm	Trunk (only a fragment)	1

9. PHOTOGRAPHS:
Photos.

10. REMARKS:
Carlos Jaramillo of STRI has the sample for analysis.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 9/2/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: GAT 1

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate ___ Plant X Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Gatun MEMBER: ___

UNIT: ___ AGE: late Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
East-side of the abandoned canal dug in 1939, near Gatun; at NGL 31

4. LITHOLOGY:
Medium-grained sandstone.

5. GPS: Lat. 09° 15.858' N Long. 079° 54.635' W

6. Elevation 72 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Mollusc fragments & external molds of bivalves; very poorly preserved

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
None collected because too poorly preserved.			

9. PHOTOGRAPHS:
Photos

10. REMARKS:
With Hortensia Brace & Franklin

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/30/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: GAT 2

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant ___ Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Gatun MEMBER: ___

UNIT: ___ AGE: late Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
East-side of the abandoned canal dug in 1939, near Gatun; at MGL4

4. LITHOLOGY:
Dark-gray siltstone.

5. GPS: Lat. 09° 16.694' N Long. 079° 54.770' W

6. Elevation 74 m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Muricid, Turritella sp., gastropods, bivalves, moon snail.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
GAT 2	Turritella sp.	Shell	Rare
GAT 2	Muricid	Shell	Rare

9. PHOTOGRAPHS:
Photos

10. REMARKS:
Collected with H. Brown & Franklin

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/30/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: GAT3

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant___ Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Gatun MEMBER: _____

UNIT: _____ AGE: late Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
West-side of the abandoned canal dug in 1939, near south-end of this canal, near Gatun, at NGL 33

4. LITHOLOGY:
Silty Sandstone

5. GPS: Lat. 09°15.780' N Long. 079°54.643' W

6. Elevation 41m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Gastropods, bivalves.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
GAT3	Gastropods	Shell & molds	Common
GAT3	Bivalves	Shell & molds	Common

9. PHOTOGRAPHS:
Photographs of outcrop

10. REMARKS:
Franklin showed me a small ditch that is used to drain the '1939' canal. Its sides contain Gatun Fm.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/30/2005

PALEONTOLOGICAL LOCALITY FORM

Locality Name: GAT 4

1. TYPE OF LOCALITY: Invertebrate X Plant ___ Vertebrate ___ Trace ___ Other ___

2. FORMATION: Gatun MEMBER: ___

UNIT: ___ AGE: late Miocene

3. LOCATION OF OUTCROP:
Along the dirt road that runs along the east-side of the canal, north of Gatun locks.

4. LITHOLOGY:
Black siltstone in intertidal zone.

5. GPS: Lat. 09° 17.837' N Long. 079° 55.114' W

6. Elevation 8m

7. SPECIMENS OBSERVED:
Gastropods, bivalves, very well-preserved.

8. SPECIMENS COLLECTED (continue on other side if necessary):

FIELD NUMBER	TAXON	ELEMENT	OCCURRENCE
GAT4	Gastropods	Shell	Common
GAT4	Bivalves	Shell	Common

9. PHOTOGRAPHS:
Photos of the outcrops.

10. REMARKS:
This is the best-preserved fossil locality seen today.

11. RECORDED BY: M. Kirby DATE: 8/30/2005

APENDICE G

FOTOGRAFIAS DE CAMPO

Localidad PAC-1

Tipo de fósil: Planta, molde de raíz de arbol.

Formacíon Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Cerro Paraiso, El Area Sur.

Mapa: Alineamiento Sector Pacifico.

Lat./Long.: 09° 01.388'N, 079° 37.368'W

Fecha: 21/08/2005

Localidad PAC-2

Tipo de fósil: Hueso de vertebrado.

Formacíon La Boca.

Mioceno temprano.

Ubicación: Cerro Paraiso, El Area Sur.

Mapa: Alineamiento Sector Pacifico.

Lat./Long.: 09° 01.328'N, 079° 37.240'W

Fecha: 21/08/2005

Localidad PAC-3

Tipo de fósil: Ostras (*Crassostrea* sp. and Striostreinae), pectenidae, large benthic foraminifera.

Formacíon La Boca.

Mioceno temprano.

Ubicación: Cerro Paraiso, El Area Sur.

Mapa: Alineamiento Sector Pacifico.

Lat./Long.: 09° 01.271'N, 079° 37.207'W

Fecha: 21/08/2005

Localidad PAC-4

Tipo de fósil: Vertebrados, *Paratoceras wardi*, tortuga.

Formacíon Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Cerro Escobar, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 01.947'N, 079° 38.262'W

Fecha: 20/08/2005

Localidad PAC-5

Tipo de fósil: Bivalve, teredinidae, ostra, gastropod, decapod (congrejo), planta.

Formacíon La Boca.

Mioceno temprano.

Ubicación: Lirio, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 03.475'N, 079° 39.843'W

Fecha: 23/08/2005

Localidad PAC-6

Tipo de fósil: Vertebrados, Tortuga.

Formacíon Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Cerro Escobar, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 02.080'N, 079° 38.438'W

Fecha: 23/08/2005

Localidad PAC-7

Tipo de fósil: Planta, molde de raíz.

Formacíon Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Lirio, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 03.434'N, 079° 39.628'W

Fecha: 28/08/2005

Localidad PAC-8

Tipo de fósil: Vertebrados, *Merycochoerus matthewi*, cocodrilo, tortuga, teredinidae, bivalvo, gastropodo, decapodo (cangrejo), ostras.

Formación Culebra.

Mioceno temprano.

Ubicación: Norte de Gold Hill, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 03.129'N, 079° 38.981'W

Fecha: 31/08/2005

Localidad PAC-9

Tipo de fósil: Vertebrado, tortuga, bivalvo, decapodo (cangrejo), ostras, plantas.

Formación Culebra.

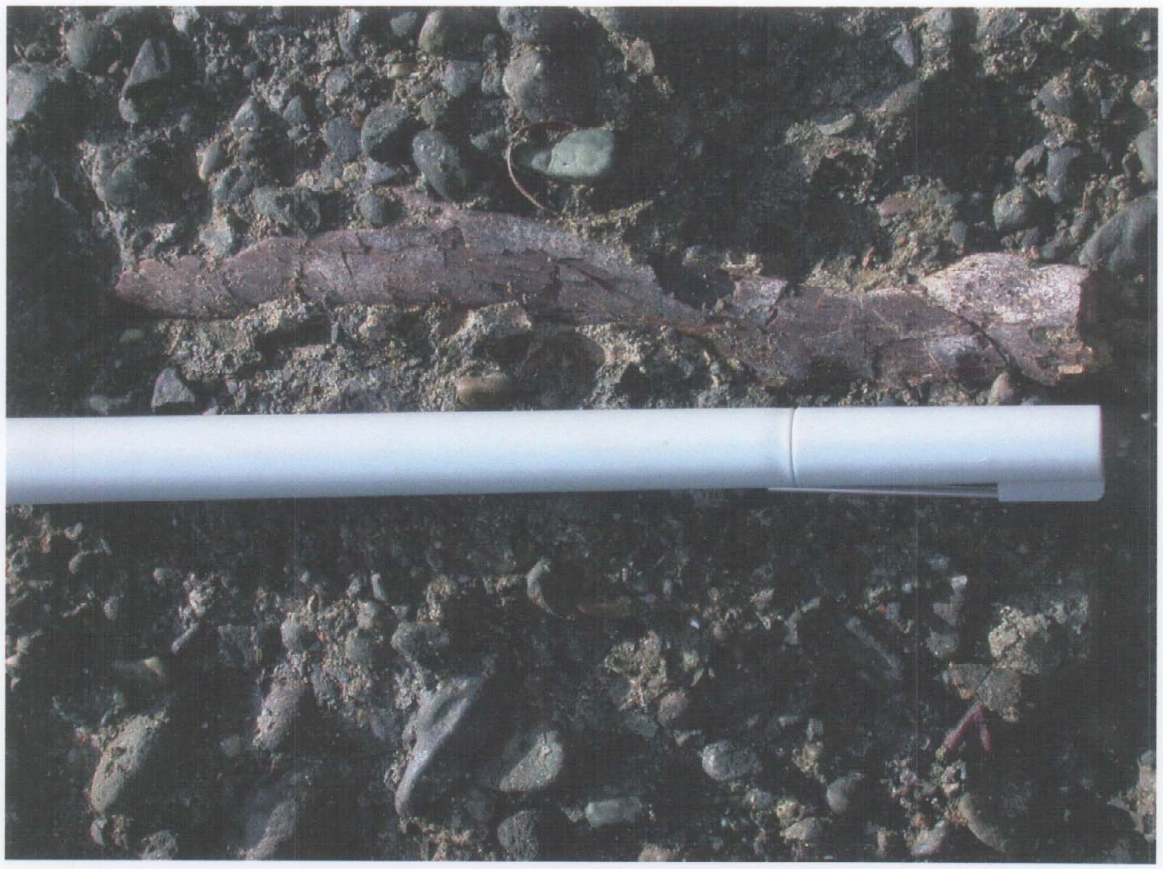
Mioceno temprano.

Ubicación: Lirio, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 03.144'N, 079° 39.433'W

Fecha: 01/09/2005



Localidad PAC-10

Tipo de fósil: Vertebrado, mandibula baja (cf. *Paratoceras wardi*).

Formación Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Puente Centenario, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 01.824'N, 079° 38.127'W

Fecha: 02/09/2005

Localidad PAC-11

Tipo de fósil: Vertebrado, tortuga, cocodrilo.

Formación Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Puente Centenario, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 01.804'N, 079° 38.205'W

Fecha: 02/09/2005

Localidad PAC-12

Tipo de fósil: Palma.

Formación Cucaracha.

Mioceno temprano a medio.

Ubicación: Lirio, Corte Culebra.

Mapa: Corte Culebra.

Lat./Long.: 09° 03.433'N, 079° 39.623'W

Fecha: 02/09/2005

Localidad GAT-1

Tipo de fósil: Invertebrados, bivalvos.

Formación Gatun.

Mioceno medio al tardío.

Ubicación: Gatun, El Area Norte.

Mapa: Alineamiento Sector Atlántico.

Lat./Long.: 09° 15.858'N, 079° 54.635'W

Fecha: 30/08/2005

Localidad GAT-2

Tipo de fósil: Invertebrados, bivalvos, gastropodo, *Turritella* sp., Muricid.

Formación Gatun.

Mioceno medio al tardío.

Ubicación: Gatun, El Area Norte.

Mapa: Alineamiento Sector Atlántico.

Lat./Long.: 09° 16.694'N, 079° 54.770'W

Fecha: 30/08/2005

Localidad GAT-3

Tipo de fósil: Invertebrados, bivalvos, gastropodo.

Formación Gatun.

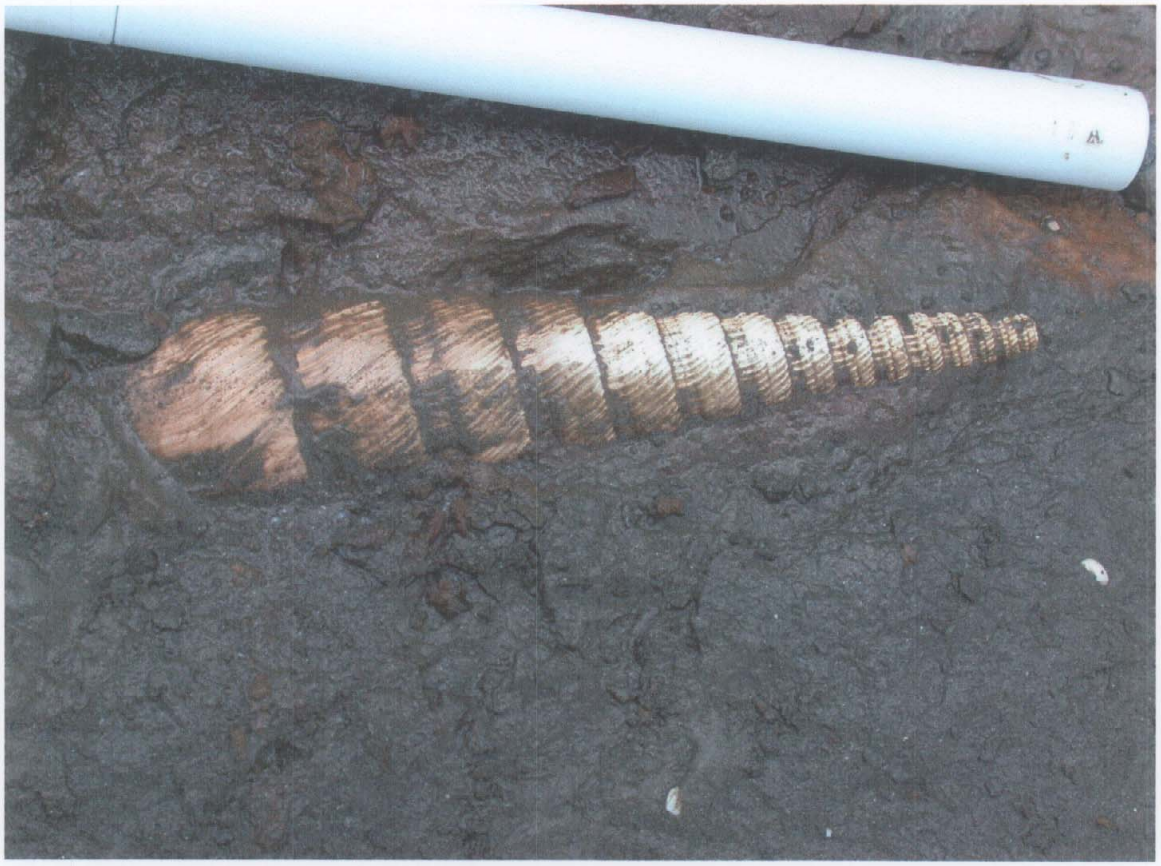
Mioceno medio al tardío.

Ubicación: Gatun, El Area Norte.

Mapa: Alineamiento Sector Atlántico.

Lat./Long.: 09° 15.780'N, 079° 54.643'W

Fecha: 30/08/2005



Localidad GAT-4

Tipo de fósil: Invertebrados, bivalvos, gastropodo.

Formación Gatun.

Mioceno medio al tardío.

Ubicación: Gatun, El Area Norte.

Mapa: Alineamiento Sector Atlántico.

Lat./Long.: 09° 17.837'N, 079° 55.114'W

Fecha: 30/08/2005

APENDICE H

EVALUACION DE ESTE ESTUDIO POR DR. BRUCE MACFADDEN

UNIVERSITY OF FLORIDA

Florida Museum of Natural History
Dickinson Hall, PO Box 117800
Gainesville FL 32611-7800

Bruce J. MacFadden
bmacfadd@flmnh.ufl.edu
Phone: (352) 392-1721, ext. 496

6 December 2005

Dr. Michael X. Kirby
265 Cross Street
Middletown CT 06457

RE: Consultoría sobre recursos paleontológicos en sitio de excavación en las áreas de proyectos de modernización y ampliación del canal

Dear Michael:

This letter is written in response to your request for my evaluation of the above-referenced report, which I have now read in its entirety. I can attest to the fact that it is accurate and thorough. As a paleontologist myself working on fossil mammals from Panama, I believe that I have the expertise to provide the following statements.

Your descriptions of the potential paleontological resources to be encountered during the excavations are correct. These will include both marine and terrestrial fossils that span the past 25 million years and are of great scientific importance. They uniquely document past life in ancient Panama.

From a management perspective, I agree with your series of recommendations about how to minimize, or mitigate the impact of the excavations on the recovery of the paleontological resources encountered during the widening of the Canal. I hope that these are implemented.

Yours sincerely,

Bruce J. MacFadden, Ph.D.
Curator of Vertebrate Paleontology