

REVISTA



GEOFÍSICA



*Edición
especial*

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

NÚMERO 62

ENERO 2006-DICIEMBRE 2010

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

PRESIDENTE Prof. Héctor O. J. Pena Argentina
VICEPRESIDENTE M. Sc. Bruce W. Presgrave EUA

SECRETARIO GENERAL
M. Sc. Santiago Borrero Mutis
Colombia

COMISIÓN DE CARTOGRAFÍA

Chile
Presidenta:
Cart. Alejandra Coll Escanilla
Vicepresidente:
Crnl. Rodrigo Maturana Nadal

COMISIÓN DE GEOGRAFÍA

Argentina
Presidente: (I)
Prof. Héctor O. J. Pena
Vicepresidente:
Por designar

COMISIÓN DE HISTORIA

Brasil
Presidenta:
Dra. Maria Cristina Mineiro Scatamacchia
Vicepresidente:
Dr. Carlos de Almeida Prado Bacellar

COMISIÓN DE GEOFÍSICA

Costa Rica
Presidente:
Dr. Walter Fernández Rojas
Vicepresidente:
M. Sc. Walter Montero Pohly

MIEMBROS NACIONALES DE LA COMISIÓN DE GEOFÍSICA

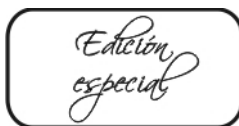
Argentina	Ing. Alejandro Próspero Guiliano
Belize	Mr. Stanislaus Martinez
Bolivia	Dra. Estela Minaya
Brasil	Dr. Sergio Luis Fontes
Chile	Dr. Sergio Barrientos
Colombia	
Costa Rica	Dr. Mauricio Mora Fernández
Ecuador	Dr. Teofilos Toulkeridis
El Salvador	Ing. José Antonio Hernández Magaña
Estados Unidos	Dr. Christopher L. Castro
Guatemala	Sr. Eddy Hardie Sánchez Bennet
Haití	
Honduras	Ing. Manrique Yu Way
México	Dr. José Francisco Valdés Galicia
Nicaragua	M. Sc. Fabio Segura
Panamá	Magis. Eduardo Camacho
Paraguay	Prof. Genaro Coronel
Perú	Dr. Leonidas Ocola Aquisé
Rep. Dominicana	Lic. Juan Payero
Uruguay	Sr. Norbertino Suárez
Venezuela	Ing. Gustavo Malavé

COMITÉS DE LA COMISIÓN DE GEOFÍSICA

Comité de Desastres Naturales	Dr. José Luis Vásquez	México
Comité de Cambio Climático	Dr. Christopher L. Castro	EUA
Comité de Geofísica Aplicada	Ing. María Inés Pastorino	Argentina
Comité de Estudios Especiales	Dr. Manuel Araneda	Chile

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

REVISTA GEOFÍSICA



NÚMERO 62

ENERO 2006-DICIEMBRE 2010

INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
COMISIÓN DE GEOFÍSICA

Presidente: Dr. Walter Fernández Rojas
Vicepresidente: M. Sc. Walter Montero Pohly

REVISTA GEOFÍSICA

Publicación fundada en 1971

Indizada en PERIÓDICA

Es distribuida en canje a las instituciones científicas y culturales

La preparación del número 62 de la *Revista Geofísica* estuvo a cargo del Dr. Carlos Mendoza

Colaboraron en la organización del material de este número:
Ernesto Caetano y Manuel Arandeda

Para correspondencia científica y técnica dirigirse a:

Editor de la *Revista Geofísica*

Dr. Carlos Mendoza

Centro de Geociencias

Campus Juriquilla

Apartado postal 1-742

Quéretaro, Qro., México

Correo electrónico: cmendoza@geociencias.unam.mx

Canje, venta y distribución de publicaciones, escribir a:

Instituto Panamericano de Geografía e Historia

Secretaría General

Apartado Postal 18879, 11870 México, D.F.

Teléfonos: (5255) 5277-5888, 5277-5791 y 5515-1910

Fax: (5255) 5271-6172

Correo electrónico: publicaciones@ipgh.org

www.ipgh.org

Las opiniones expresadas así como el contenido y forma en notas, informaciones, reseñas y trabajos publicados en la *Revista Geofísica*, son de la exclusiva responsabilidad de sus respectivos autores. Los originales que aparecen sin firma ni indicación de procedencia, son de la Dirección de la Revista.

Portada: Barco encallado en el Puerto de Concepción (Talcahuano) en Chile por el tsunami generado por el gran terremoto (magnitud 8.8) del 27 de febrero de 2010. La altura del tsunami en este lugar alcanzó entre 4 y 5 metros. El sismo es el quinto más fuerte registrado a nivel mundial desde 1900 y resultó en daños cuantiosos debido tanto a los efectos del tsunami como al movimiento del suelo. De los diez sismos mayores que se han registrado desde 1900, tres de ellos han ocurrido en el margen occidental de Sudamérica, donde la placa de Nazca subduce bajo el continente Sudamericano, resaltando la importancia de llevar a cabo estudios sismológicos en la región panamericana.
Fotografía cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos, tomada por el Dr. Walter Mooney.

Front cover: Boat carried onto land by the tsunami generated by the great (magnitude 8.8) Chile earthquake of 27 February 2010 in Concepcion Harbor (Talcahuano). The tsunami wave height at this location reached about 4 to 5 meters. The earthquake is the fifth-largest recorded worldwide since 1900 and resulted in extensive damage due both to the effects of the tsunami and to severe ground shaking. Of the ten largest earthquakes that have been recorded since 1900, three of these occurred along the west margin of South America where the oceanic Nazca plate subducts beneath the South American continent, highlighting the importance of conducting seismologic studies in the Pan American region.
Photograph courtesy of the U.S. Geological Survey, taken by Dr. Walter Mooney.

REVISTA GEOFÍSICA

NÚMERO 62

ENERO 2006-DICIEMBRE 2010

Contenido

Nota Editorial	5
Trabajos inéditos de investigación	
Estratigrafía de secuencias en un modelo dos y medio dimensional (2.5-d) del Cono de Rio Grande, Brasil <i>Luis Antonio Castillo López</i> <i>Thais de Souza Kazmierczak</i> <i>Farid Chemale Jr.</i>	9
Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología <i>Manuel Araneda C.</i> <i>María Soledad Avendaño R.</i> <i>Gerardo Díaz Del Río</i>	29
Observaciones gravimétricas y nivelaciones en proceso del terremoto del 3 de marzo de 1985, Chile <i>Manuel Araneda C.</i> <i>M.S. Avendaño</i>	49
Análisis de la predicción de precipitaciones mediante correlaciones canónicas en el NE de Argentina <i>Omar V. Müller</i> <i>Norberto O. García</i>	61
Análisis Morfotectónico de la Isla Puerto Rico, Caribe <i>Mario Octavio Cotilla Rodríguez</i> <i>Diego Córdoba Barba</i>	79
Informes técnicos	
Estimación de la precipitación mensual por un método de <i>downscaling</i> en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina <i>Laura Brandizi</i> <i>Mario Sequeira</i> <i>Sandra Fernández</i> <i>Juan Carlos Labraga</i>	127

Catalog of felt earthquakes for Puerto Rico and neighboring islands 1493-1899
with additional information for some 20th century earthquakes

William McCann

Lawrence Feldman

Maribel McCann

141

Volumen Especial para el quinquenio 2006-2010

Este número de la *Revista Geofísica* incluye un quinquenio completo de publicación (enero 2006 a diciembre 2010) y se desarrolló como parte de un programa de modernización en la Comisión de Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) para mejorar la disseminación de información geofísica entre los países panamericanos y entre la comunidad científica en general. Considerando el papel que desarrolla la *Revista Geofísica* en Latinoamérica y la importancia de tener un foro actualizado tanto para la publicación de trabajos de investigación como la distribución de información de interés, la Comisión de Geofísica ha tomado varias medidas específicas que incluyen la necesidad primordial de eliminar el retraso en su publicación que se ha venido generando desde hace varios años. Con este volumen se inicia entonces una etapa de actualización que se espera pueda ofrecer un mayor incentivo a potenciales autores para someter contribuciones de calidad para su distribución oportuna en la región. Además, se siguen considerando tres tipos de contribuciones para su publicación en la *Revista Geofísica*: (i) Artículos Inéditos de Investigación, (ii) Informes Técnicos Originales, y (iii) Notas Técnicas Informativas. Esta modificación se instituyó con la publicación del volumen anterior y sirve para ampliar la información que se pueda divulgar a la comunidad científica.

Cabe indicar que este número de la *Revista* no hubiera sido posible sin la participación, apoyo y esfuerzo de numerosas personas, entre las que se incluyen al doctor Walter Fernández, actual Presidente de la Comisión de Geofísica, al doctor Manuel Araneda, editor de la *Revista* entre 2005-2010 y a la maestra Julieta García, coordinadora de publicaciones en el IPGH. Se agradecen además a todos los contribuyentes a esta edición y también el apoyo editorial por parte de los revisores y coordinadores de las revisiones técnicas que fueron esenciales para coordinar la compilación del volumen. En particular, se extiende un agradecimiento al doctor Ernesto Caetano, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la coordinación de revisiones técnicas como nuevo miembro del Comité Editorial de la *Revista* en el campo de Meteorología.

C. Mendoza*

Editor Revista Geofísica, 2010

Presidente de la Comisión de Geofísica, 2001-2009

* Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Querétaro, Qro., México.

Editorial Note

Special Volume for the 2006-2010 quinquennium

This volume of *Revista Geofísica* comprises a five-year period of publication (January 2006 to December 2010) and was compiled as part of a modernization program in the Commission on Geophysics of the Pan American Institute of Geography and History (PAIGH) aimed at improving the dissemination of geophysical information among PAIGH member countries and the scientific community in general. Considering the role that *Revista Geofísica* plays in Latin America and the importance of having an up-to-date forum for both the publication of research results and the distribution of geophysical information of interest, the Commission on Geophysics introduced several specific measures that included the need to eliminate delays in publication that have been accumulating over several years. The publication of this volume thus corresponds to a renewed effort in promoting a timely dissemination of information throughout the Panamerican region and is expected to offer greater incentives to potential authors to submit current, quality contributions in their field of study. Three types of contributions are currently considered for publication: (i) Unpublished Research Articles, (ii) Original Technical Reports, and (iii) Informative Technical Notes. This expansion in the range of information that can be provided to the scientific community was initiated with the previous volume of the *Revista*.

It must be noted that this volume of the *Revista* would not have been possible without the combined participation, support, and efforts of numerous individuals, including Dr. Walter Fernández, current president of the Commission on Geophysics, Dr. Manuel Araneda, chief editor of the *Revista* between 2005-2010, and M. Sc. Julieta García, publications coordinator at PAIGH. Also, the contributions of all the authors is greatly appreciated, as is the editorial support provided by the technical reviewers and review coordinators, which was essential for the successful compilation of this special volume, particularly the coordination efforts of Dr. Ernesto Caetano, of the Centro de Ciencias de la Atmósfera of the Universidad Nacional Autónoma de México, as newest member of the Editorial Committee in the field of Meteorology.

C. Mendoza*

Editor *Revista Geofísica*, 2010

Chairperson of the *Geophysics Commission*, 2001-2009

* Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Campus Juriquilla, Querétaro, Qro., México.

TRABAJOS INÉDITOS DE
INVESTIGACIÓN

Estratigrafía de secuencias en un modelo dos y medio dimensional (2.5-d) del Cono de Rio Grande, Brasil

Luis Antonio Castillo López*
Thais de Souza Kazmierczak**
Farid Chemale Jr.***

Abstract

Geologic data extracted from depth seismic lines and velocity functions permitted to obtain spatial information in different forms: lines (lineaments), vectors (seismic sections), matrix (three dimensional seismic), surfaces (fault planes), polygons, grids (raster, structural model) that accompanied the visualization by means of interactive programs for an image approximation. These could be processed and modeled in other scales or configurations, and the quality of the seismic lines and the geologic mapping depend on sample rate, resolution, data type and computational resources, which upon interacting with seismostratigraphic interpretation, it is possible to integrate geophysics, geomorphology, stratigraphy and sedimentology concepts and apply them to obtain an approximation of the subsurface feature. In this paper, pictures are shown that correspond to snapshots of the Rio Grande Cone', Brasil, obtained from the model development. Each figure represents one of the different steps in the implementation of the model with depth. This visualization resulted in a movie, where where the structural, stratigraphic and geomorphologic interpretation is included.

Key words: *Geophysics, Seismic Interpretation, Seismic Stratigraphy, Seismic Modeling and Visualization.*

Resumen

Datos geológicos extraídos de líneas sísmicas en profundidad y funciones de velocidad permitieron obtener información espacial en diferentes formas: líneas (linea-

* Profesor Doctor, Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Departamento de Geociencias, Edif. Manuel Ancizar, Bogotá, Colombia, correo electrónico: lacastillo@unal.edu.co

** Geóloga, M. Cs. en Estratigrafía, correo electrónico: thaisk@cpovo.net

*** Profesor Doctor, Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal-Brasil, correo electrónico: faridchemale@gmail.com

mentos), vectores (secciones sísmicas), matrices (sísmica tridimensional), superficies (planos de fallas), polígonos, mallas (raster, modelo estructural), que acompañaron la visualización por medio de programas interactivos para una aproximación de imágenes del subsuelo. Ellos podrían procesarse y modelarse en otras escalas o configuraciones y la calidad de las líneas sísmicas y el mapeamiento geológico dependen del intervalo de muestreo, resolución, tipo de dato sísmico y los recursos computacionales, que al interactuar con la interpretación de sismoestratigrafía es posible integrar conceptos de geofísica, geomorfología, estratigrafía y sedimentología y aplicarlos para obtener una aproximación a la forma de la subsuperficie. En este trabajo se muestran figuras que corresponden a pantallazos (snapshots) del Cono de Rio Grande, Brasil, obtenidos del modelo de desarrollo. Cada figura representa uno de los diferentes pasos en la implementación del modelo en profundidad. Esto dio como resultado una película en donde se incluyó la interpretación estructural, estratigráfica y de geomorfología.

Palabras clave: *geofísica, modelamiento sísmico, sismoestratigrafía, estratigrafía de secuencias.*

Introducción

El método de reflexión sísmica se constituye en una herramienta confiable y poderosa para el estudio y modelamiento del subsuelo, que no puede ser mapeado con otras técnicas geofísicas. Además, los métodos de reflexión sísmica con la interpretación sismoestratigráfica puede ser clasificada, según la configuración utilizada, por ejemplo: secciones transversales (2D), extensiones fuera del plano (2.5D), volúmenes (secciones verticales y horizontales), o inclusive estudios 4D, que registran como varían los datos tridimensionales con el tiempo. El estudio sismoestratigráfico para el modelamiento puede constituir una metodología que permite construir el carácter geométrico y dinámico para la interpretación de facies estratigráfica y la reconstrucción de la historia geológica de una cuenca.

El modelamiento y la visualización de datos sísmicos regularmente es efectuado con mallas de secciones buzantes y de rumbo, o en el mejor de los casos a partir de volúmenes o sísmica 3-D (Brown, 1996). Cuando no se cuenta con volúmenes de datos, secciones bidimensionales pueden permitir aproximaciones tridimensionales, sin embargo requieren de una función de velocidades. En este trabajo se realiza un modelamiento sismoestratigráfico 2.5-D, considerando líneas 2D, que pueden ser extendidas para una interpretación 2.5 dimensional. Esto es posible con un parámetro adicional, en este caso la extensión lateral no considerada en 2D, suponiendo una fuente puntual, como es el caso de un modelo sintético; en tanto para modelos analíticos puede considerarse una dirección adicional, por ejemplo, una paleo corriente, dirección de flujo o sentido de transporte. Modelos geológicos

pueden ser analizados y desarrollados a partir de experimentación con modelos o configuraciones análogas (Sherlock y Evans, 2001).

Área de estudio

El área de estudio comprende la geoforma del Cono de Rio Grande, localizada en el *offshore* Atlántico del sureste Brasileiro (Figura 1). Se extiende desde la plataforma hasta el talud y parte de la planicie abisal, constituido predominantemente por sedimentos finos, en su mayor parte lodolitas que ocupan gran parte de la geoforma con espesor variable de sus depocentros en el sector proximal y de hasta 3,000 metros o más en el sector distal. Además de las características sedimentológicas, elementos estructurales son de gran relevancia en la geomorfología y estratigrafía.

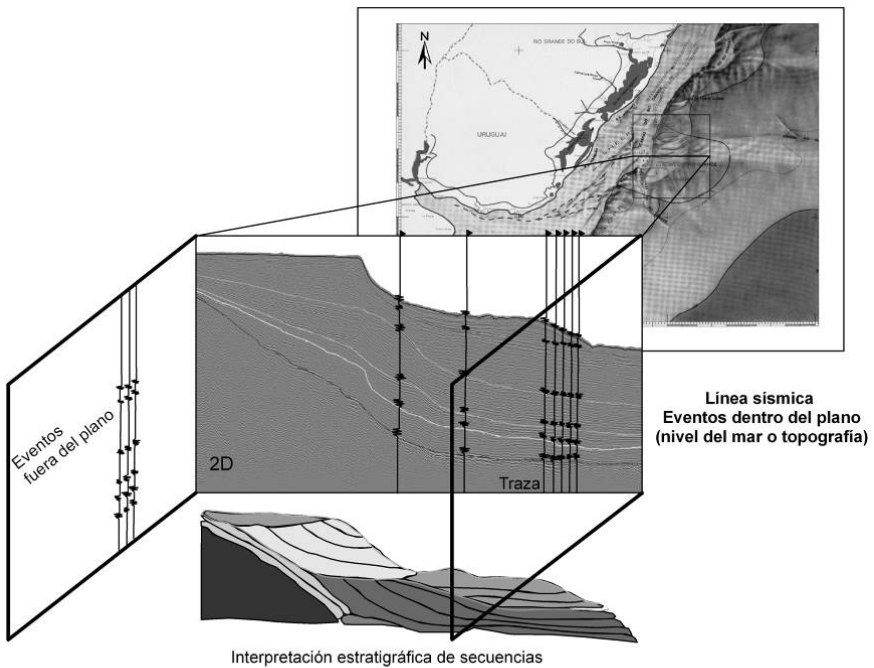


Figura 1. Modelo sísmico 2.5-D en el dominio CDP (*Zero offset configuration*), el plano central corresponde a la línea y las trazas (dentro del plano). Datos fuera de la línea sísmica no puede ser considerados, motivación para asumir un modelo 2.5-D.

Modelo de velocidades

Las reflexiones sísmicas son importantes para la estratigrafía y se constituyen en el evento sísmico que es caracterizado por cambios significativos relacionados a la estratificación o a discordancias. Para el caso de superficies de estratificación, existen diferencias litológicas o texturales que reflejan el contraste de velocidad-densidad. Reflexiones generadas en la velocidad y densidad del medio. El evento de reflexión identificado en el registro sísmico puede ser causado por reflexiones de varias superficies de estratificación, caso de capas delgadas o eventos de otro plano (dos y medio dimensiones, 2.5-D). Los registros sísmicos tienen características (o una firma) que pueden ser relacionadas a litología, espesura, espaciamento o continuidad. La relación velocidad y densidad está contenida en las reflexiones, que permiten establecer una relación entre amplitudes y las ondas.

Las amplitudes son función de la Energía E de la onda sísmica, el espacio entre superficies reflectoras (contraste de velocidades y densidad, ρv) y la porosidad (presencia de fluido o gas) en la roca Φ_r , puede ser expresada como:

$$A(E, \rho v, \Phi), \quad [1]$$

donde, la amplitud es controlada por la energía de la onda o el contraste de velocidades y el espacio entre las superficies reflectoras, aumentando las amplitudes cuando las ondas se encuentran en fase o reflejando energía. Además, la roca presenta poros, que pueden ser ocupados por fluido o gas, aumentando la amplitud.

Las velocidades sísmicas se constituyen así en un parámetro físico relevante, debido a su variación en los diferentes tipos de roca (Figura 2). Esas velocidades en diferentes litología puede verse sobrepuesta, debido a variaciones de porosidad, de modo que la velocidad por sí sola no es suficiente para distinguir tipos de roca, por ejemplo la velocidad de ondas sísmicas en areniscas de baja porosidad puede ser la misma para una roca calcárea con alta porosidad. La velocidad puede ser clasificada según los parámetros utilizados, por ejemplo, velocidad media, intervalar, de apilado, raíz cuadrática media (*RMS*), etc.

La velocidad asociada a la litología es la velocidad intervalar y se refiere a la velocidad media de las ondas sísmicas entre reflectores. Los perfiles de registro sísmicos proveen información para determinarlas en unidades con predominio de lutitas, areniscas o calcáreas que pueden ser utilizadas para conversiones de tiempo a profundidad por medio de la velocidad en un modelo acústico o de velocidades. Los datos medios de la velocidad intervalar pueden variar en lutitas de 2,000? a 4,600 m/s, en areniscas de 2,800 a 5,800 m/s y calcáreas entre 3,800 a 6,000 m/s. En cuanto a la velocidad *RMS* puede considerarse el equivalente a la velocidad de apilado (velocidad de procesamiento), en el caso de un reflector plano con offset

pequeño, no siendo medible físicamente. Estas interpretaciones emplean métodos donde son consideradas modelos homogéneos y regulares. Mediante el presente estudio se pretende establecer una aproximación al modelo tridimensional contando con una malla de líneas 2D y la información de pozo, obteniendo un modelo final con velocidades a partir del dato sísmico y de log (perfil) de velocidades. Así la evaluación e interpretación en un medio 2.5-D, el cual emplea datos bidimensionales (2-D), incluyen eventos fuera del plano, considerando una fuente de tipo puntual (o volumétrica). Esta consideración establece un modelamiento geofísico, donde la velocidad de la onda varía a lo largo de dos coordenadas, permaneciendo constante en una tercera coordenada. Esta situación, conocida como modelo dos y medio dimensional (2.5-D), posee características típicas de muchas situaciones de interés en la exploración, por ejemplo, adquisición de datos sísmicos 2-D con receptores a lo largo de una línea sísmica con una fuente 3-D (Castillo *et al.*, 2002), o en caso de estudio para amenazas y microzonificación sismológica (Slob *et al.*, 2002) o en la industria minera (Malehmir *et al.*, 2009).

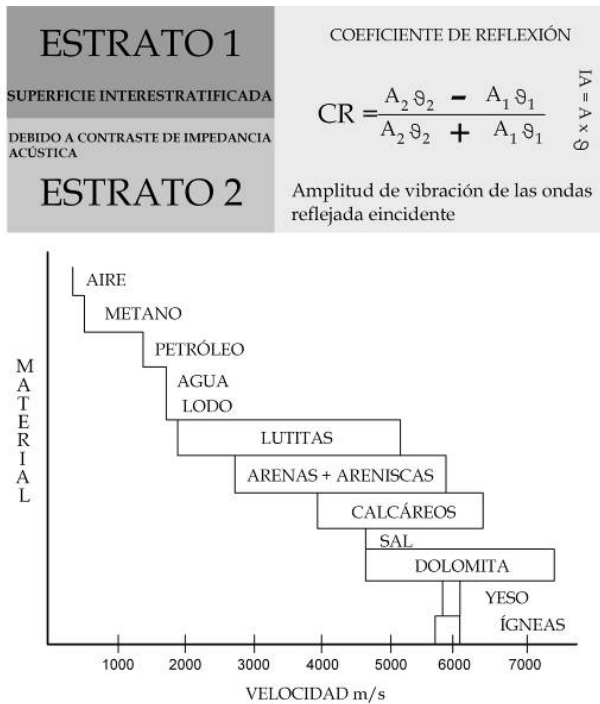


Figura 2. Superficies geológicas límites que dan como resultado la impedancia acústica, en superficies estratificadas del subsuelo y pueden ser determinadas a partir de la relación de la reflexión con amplitudes y velocidades.

El concepto de 2.5D puede ser extendido desde la adquisición de tipo sintético, para la interpretación y modelamiento geofísico o geológico. Esta situación es justificada debido a la limitante de los datos cuando no se cuenta con secciones en planta, por ejemplo el caso de configuraciones 1D ó 2D. Para ello se hace necesario establecer un parámetro para extender la información fuera del plano. La geología no se limita a un solo plano, ésta presenta variaciones laterales, que deben ser consideradas con el conocimiento de las características y parámetros geofísicos en la interpretación estratigráfica. Otra consideración puede ser hecha al utilizar un modelo transversalmente isotrópico (isotrópico en la dirección vertical e anisotrópico verticalmente), así podemos tener un modelo 2.5D donde la secciones sísmicas consideradas (buzante y de rumbo) permiten interpretar estructuras y superficies estratigráficas con variaciones laterales. Esta consideración es hecha ya que datos sísmicos migrados en 2D, especialmente secciones de buzamiento no presentan una buena aproximación al ser amarradas con las secciones de rumbo, por lo tanto consideraciones hechas con parámetros geofísicos (velocidad, fuente) permiten una mejor aproximación para el modelo en profundidad.

Interpretación Geofísica

Los datos recopilados corresponden a secciones sísmicas de costa afuera, interpretadas, usando criterios de estratigrafía de secuencias, a partir de trabajos previos del área. Las interfaces consideradas en el modelo fueron interpretadas de eventos laterales vecinos, donde se asume la misma velocidad lateral, y por condiciones de frontera y del principio de uniformidad ésta se mantiene constante. Las interfaces correspondientes a los diferentes reflectores en el modelo, se caracterizan por una velocidad constante en ambas capas y densidad constante en el modelo.

Estudios de modelamiento de cuencas y conversión a profundidad presentan evidencias de la existencia de función de velocidades normal para *shale*, por ejemplo, describen la relación lineal del incremento de la velocidad con la profundidad (Japsen, 2006; Storvoll *et al.*, 2006). La función de velocidades que describe el modelo cuya velocidad (V_p) varía linealmente con la profundidad (P) puede ser expresada como:

$$V_p = V_0 + K \cdot P \quad [2]$$

Donde se considera una velocidad inicial del fondo de mar $V_0 = 1500 \text{ m/s}$, y una constante K que muestra una relación para una velocidad variable con la profundidad de 0.57 (Figura 3).

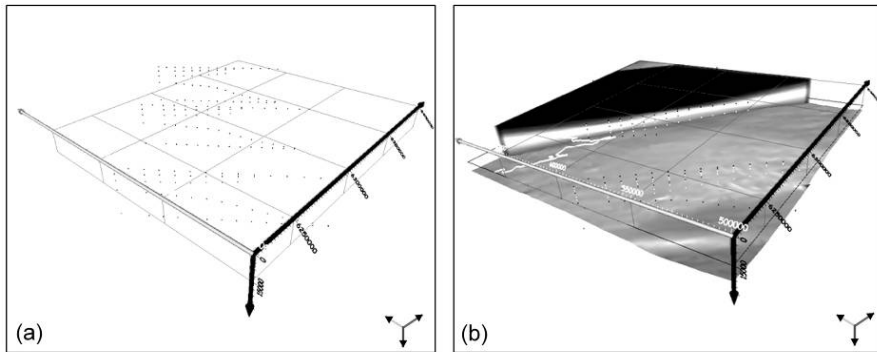


Figura 3. Secciones con velocidades (a) determinadas a partir de la caja de velocidades y relación de la reflexión con amplitudes, y (b) superficies geológicas límites que dan como resultado la impedancia acústica, en superficies estratificadas del subsuelo.

La serie de sedimentos predominantemente de *shale* en el área del Cono de Rio Grande, se caracteriza por una variación lineal con la profundidad, exceptuando los intervalos a 1,250 a 1,400 metros y a 1,500-1,550, 2,000-2,100, donde pueden ser observadas inversiones de velocidades, que pueden ser asociadas a la presencia de material compactado, carga litostática y la porosidad. La compactación de sedimentos es controlada por su composición y los cambios mecánicos y químicos durante el enterramiento, para el área de estudio, caracterizado por las facies de *shale* y lutitos, las cuales presentan una compresibilidad que varía por la presencia de diferentes minerales constituyentes. Estos parámetros para *shales* varían a medida que las respuestas en los registros sísmico y la sísmica varían (Storvoll *et al.*, 2006).

Para las velocidades de las líneas sísmicas fueron utilizadas cajas de velocidades del procesamiento (Velocidades de apilado), que aunque no son consideradas de lo mejor para un proceso de conversión o de modelamiento, es la única información disponible que se cuenta para el análisis e interpretación.

Estado del arte

La aparición del método multicanal aplicado para la prospección y exploración del subsuelo, ha venido desarrollándose desde la década de los sesenta hasta hoy, mostrando el incremento de técnicas computacionales, de adquisición, procesamiento, interpretación y modelamiento (Figura 4). La mayor difusión de los conceptos estratigráficos aparecen con la integración del método sísmico y la correlación con la curva de variación eustática (Vail *et al.*, 1977; Haq *et al.*, 1987; Van Wagoner *et*

al., 1988; Posamentier *et al.*, 1992; Posamentier y Allen, 1999). Después, sobresale la revisión en la publicación especial 42 de la SEPM en 1988 y en trabajos más recientes de Catuneanu (2006), a través de la interpretación sísmica y registros de pozo. En estas dos publicaciones son incluidos conceptos como secuencia deposicional y una metodología utilizando las terminaciones de los estratos e incluyen estudios de afloramiento.

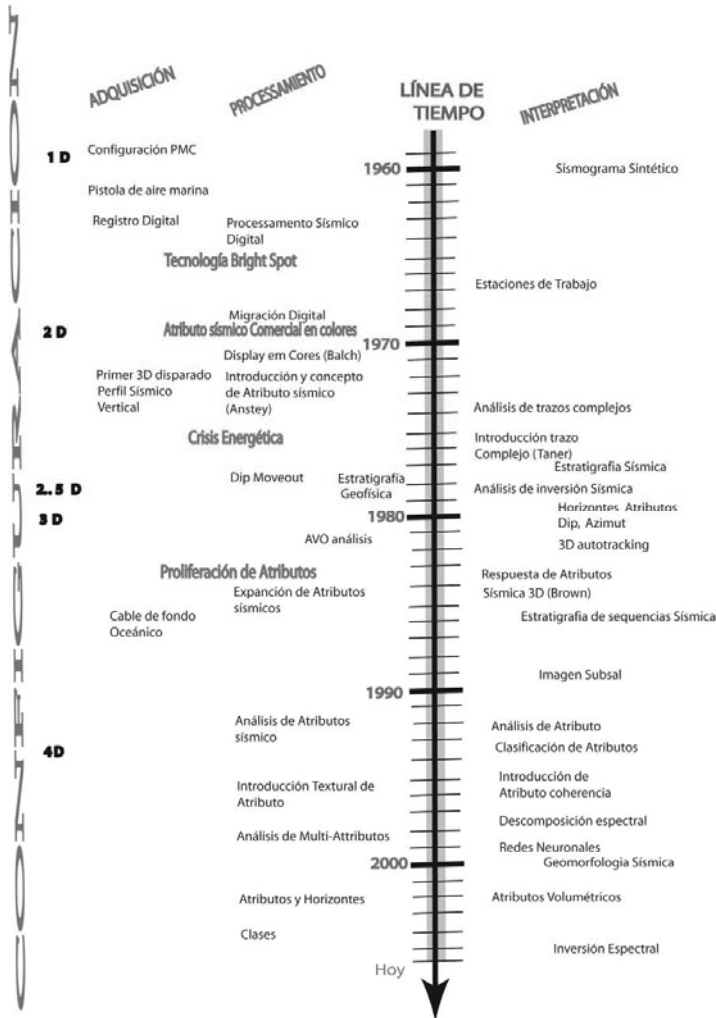


Figura 4. Histórico y evolución de la visualización de datos sísmicos desde el primer registro (1D), hasta el análisis de multiatributos (clases) de hoy. Adaptado de Friedman (1998), Chopra y Marfurt (2005) y Liner (2008).

El interés por un modelo 2.5-D surge como una herramienta aplicada regularmente en la etapa del procesamiento, con la necesidad de expandir el uso regular de datos 2D, para un estudio llevado en lo posible para 3D, lo cual sería una buena aproximación para un modelo final. Estudios de sismoestratigrafía, muestran la relevancia en los avances de los métodos sísmicos, con análisis que permiten evidenciar la presencia de superficies de discontinuidades isócronas y superficies correlatas de continuidad, hacia cuenca adentro, con esto son reconocidas unidades deposicionales en cuencas sedimentarias y definida la cronoestratigrafía, basada en el posicionamiento temporal de las discontinuidades que limitan las unidades genéticas del depósito.

A partir de la sismoestratigrafía, y dentro de su resolución, los reflectores sísmicos siguen la estratificación que son bastante próximas a las líneas de tiempo, donde pueden ser observadas las relaciones geométricas de los diferentes paquetes sedimentarios estableciendo unidades genéticamente relacionadas y cronoestratigráficas, estableciendo ciclos eustáticos detallados. En este punto la estratigrafía de secuencias puede ser entendida como la expresión en el registro estratigráfico de la historia de las variaciones del nivel del mar, debido principalmente a las variaciones eustáticas que permitan una correlación a escala global, punto bastante cuestionado (Miall, 1997).

La estratigrafía de secuencias ha sido ampliamente aplicada con diferente precisión y rigurosidad, por lo que es importante recalcar que debe ser considerada como una herramienta y no como un molde rígido. Debido a la aparición de una serie de modelos, términos, etc., que han hecho que la estratigrafía de secuencias se torne más confusa y dispersa en su finalidad. Es importante tener en cuenta que muchos de los modelos propuestos son resultado del análisis sísmico y no de observaciones de campo, con modelos de sedimentos siliciclásticos y adaptados para facies de carbonatos.

Estratigrafía de secuencias

Mediante la estratigrafía de secuencias puede ser descrito un conjunto de rocas, como estratos depositados durante procesos de retrogradación asociados a trasgresiones y separados de intervalos de no depositación o de progradaciones durante las regresiones. Los límites de esos intervalos pueden ser trazados mediante la sismoestratigrafía, asociados a factores eustáticos (por ejemplo, variaciones del nivel del mar), tectónicos o climáticos. Así, a partir del estudio de las discontinuidades, identificación de los aportes de sedimentos, unidades genéticamente correlacionables con herramientas sísmicas (Figura 5), constituyendo la estratigrafía de secuencias.

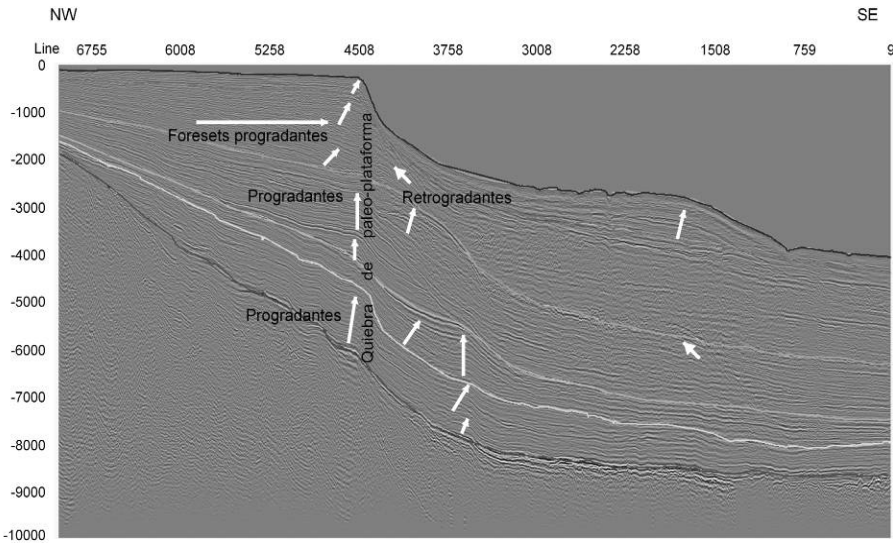


Figura 5. Imagen de sección sísmica buzante con la identificación de diferentes secuencias sísmicas limitadas por discontinuidades y sus concordancias relativas, separando procesos de retrogradación de no depositación o de progradaciones. Las flechas permiten identificar el sentido de la depositación (progradación, retrogradación o agradación).

La estratigrafía secuencial según los datos a analizar convergen en dos metodologías posibles, *driven-data* o *driven model based* referidas actualmente como empíricos e deductivos (Miall y Miall, 2004). En las últimas décadas modelos estratigráficos han sido divididos en sintéticos y analíticos, según su objetivo. Los sintéticos envuelven la datación de modelos a partir de sucesiones estratigráficas locales, por ejemplo, la curva de ciclos globales de Haq *et al.*, (1987). Así, la edad de los depósitos se basa en sucesiones estratigráficas preservadas en la cuenca sedimentaria, predominando cambios eustáticos (*Eustasia* > *Tectónica*). Los modelos analíticos incluyen la litología como respuesta a las variaciones del nivel relativo del mar (*Eustasia*, *E*) y de la tectónica (*T*) (Posamentier *et al.*, 1988). En este caso se emplea la sismoestratigrafía (o datos de afloramiento) para la interpretación y modelaje de las asociaciones de facies, permitiendo reconocer los límites que constituyen una cuenca sedimentaria. Se trata de determinar los materiales de aporte de la cuenca y el reconocimiento de las superficies de discontinuidades (*SD*) o las correspondientes superficies correlativas (*CC*) que corresponden a los cambios en las condiciones de génesis que afectan toda la cuenca, estas unidades son designadas por unidades genéticas.

El estudio de toda la cuenca debe ser iniciado con los aspectos de tipo analítico, intentando reconocer las unidades genéticas, siendo necesario de la datación de los diferentes eventos, como también sus límites, por lo que debe considerarse toda la información posible. La disposición de las unidades genéticas, es hecho a partir de los datos de campo, con el reconocimiento de las discontinuidades a través de observaciones de campo o de subsuelo (sísmica, registros de pozo o núcleos). La datación debe ser utilizada integrando bioestratigrafía con datos magnetométricos.

El análisis sintético, puede considerarse como una etapa posterior, donde son hechas comparaciones con estudios homólogos en cuencas vecinas, y con datos a escala global, para verificar la concordancia con eventos de tipo local, regional o global. Entre esas superficies, las discontinuidades son las más fáciles para ser identificadas, desde el punto de vista sismoestratigráfico (Figura 6), ya que se presentan con gran extensión, contraste, y en cualquier dominio (espacial, temporal o de Wheeler), por ejemplo en las márgenes de cuencas sedimentarias pasivas, donde cuenca adentro una discontinuidad pasa a ser una superficie de continuidad cuenca adentro (Catuneanu, 2006).

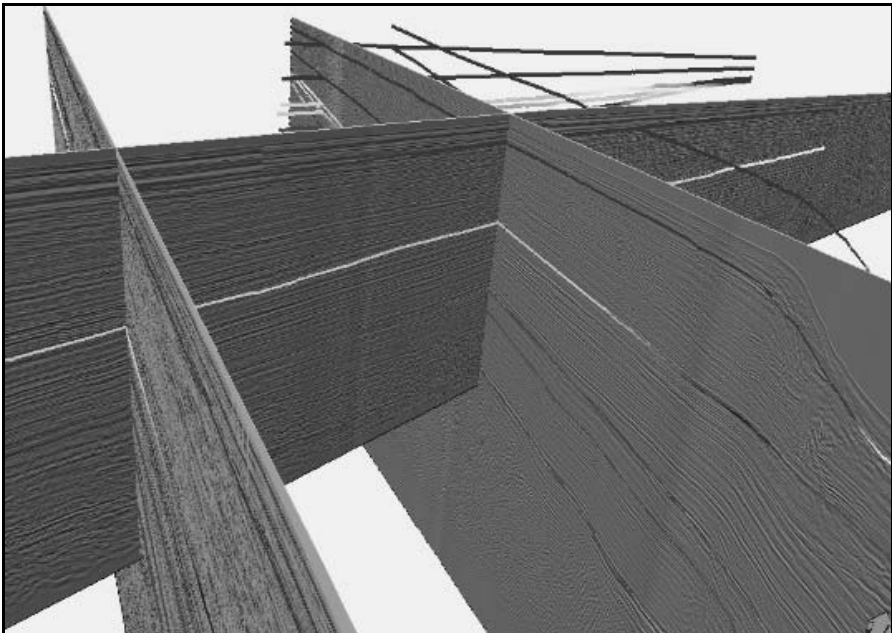


Figura 6. Seguimiento lateral de los límites de secuencias interpretadas en secciones sísmicas de rumbo y buzantes. La secuencia deposicional correspondiente a los estratos genéticamente relacionados, relativamente concordantes, limitados en el tope y la base por discontinuidades con su continuidad correlativas.

Secuencias sismoestratigráficas

Secciones sismoestratigráficas en cuencas de margen pasiva pueden ser modeladas en términos de secuencias estratigráficas, que permiten encontrar diferentes tratos o cortejos de sistemas (Figura 7).

Sistema Regresivo de Mar Alto (SRMA)

El sistema regresivo de mar alto es el conjunto de sedimentos depositados cuando el nivel de mar está alto, caracterizado por progradaciones (Figura 7), por ejemplo, cuando el transporte es suficiente, corresponden al avance de sistemas deposicionales deltaicos sobre los de plataforma y de éstos sobre los de talud.

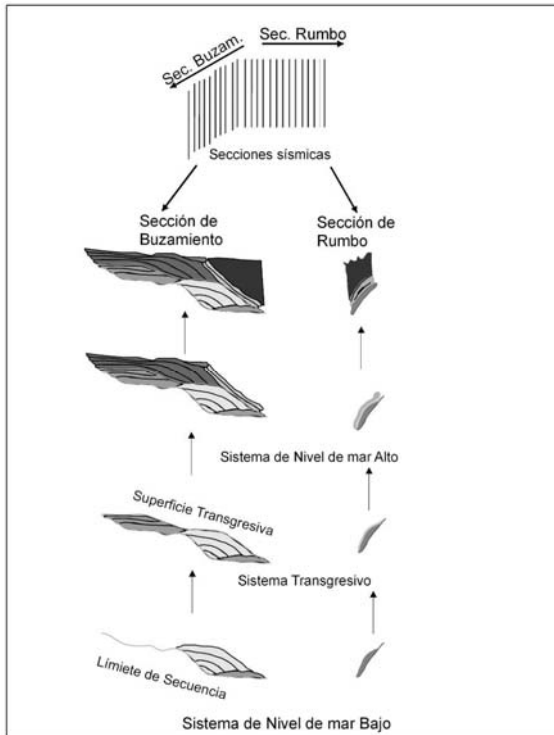


Figura 7. Modelo de secuencias con diferentes dominios (temporal y espacial). El dato de entrada está compuesto por secciones (de rumbo y de buzamiento), a partir de las cuales son obtenidas superficies guías, que pueden ser correlacionadas cronoestratigráficamente, y asignarse una función de velocidad para llevar a otro dominio, y establecer horizontes flatenizados y ser interpretados como estratigrafía secuencial.

Sistema Regresivo de nivel de Mar Bajo (SRMB)

Este Sistema iniciado con la caída brusca del nivel del mar, donde algunas veces la plataforma es expuesta (subaérea) en superficie, después hay interrupción en la sedimentación y erosión, resultando en una discontinuidad sobre la que se depositan el sistema de nivel bajo. En secciones sísmicas puede ser vista como un montículo en secciones de buzamiento con *downlap* bidireccionales. Este sistema pueden ser: 1) Abanico submarino LSBF acumulaciones derivadas de la erosión de la plataforma y de las partes altas del talud en fase de nivel bajo; éste se posiciona encima del límite de secuencia, con presencia de turbiditos que dan una apariencia de montículos, con geometría tabular desarrollados durante el descenso relativo del mar; 2) La cuña de nivel bajo, ocurridas en el mínimo eustático constituido por sistemas deposicionales regresivos, acumulados sobre el antiguo talud, en el final del descenso rápido del nivel de mar, cuando la línea de costa se desplaza por el talud superior. En la base del cañón se individualiza un complejo de canales con facies hemipelágicas e intercalaciones de turbiditos no relacionados con abanicos. Aquí aparecen sistemas de canales complejos con terminaciones en *onlap* y *downlap* hacia el límite de secuencias, *downlap* hacia el abanico submarino y facies de canal/levee, slump y *slide* de gravedad (Figura 7). Para el caso de sistemas de valles incisos, son caracterizados por *onlap* progradantes laterales y geometrías sigmoidales.

Sistema Transgresivo (ST)

Producida por la rápida subida del nivel del mar sobre áreas costeras, con deposición de sedimentos hemipelágicos sobre la plataforma, las condiciones, anteriores predominantemente regresivas, cambian y se instala un trato transgresivo, constituido por parasecuencias retrogradantes desarrolladas durante la subida relativa del nivel del mar. La superficie final del sistema transgresivo es la Superficie de Inundación Máxima (SIM) en relación a la cual se depositan la sección condensada. Presenta *onlaps* sobre la plataforma con formas de depósito tangencial, terminados en *toplaps*.

Metodología y modelo

La metodología para interpretación y modelamiento casi-3D (q3-D) parte de una malla bidimensional, con líneas de rumbo y de buzamiento (Figura 8), de las cuales son extraídas informaciones de horizontes, superficies y secuencias, determinadas durante la interpretación de secciones transversales y de pozo. A esa interpretación se sigue la correlación con los pozos, para corroborar el amarre interpretación sísmica.

mica, la que puede llevar a la ejecución de registros sintéticos para la conversión Tiempo-Profundidad. En casos extremos donde no se cuenta con datos de pozos, pueden ser utilizadas las velocidades de procesamiento de las líneas sísmicas (conocidas como las cajas de velocidades), para efectuar un modelo de velocidades, el cual se constituye en la aproximación para llevar una configuración de 2D para un modelo 2.5-D.

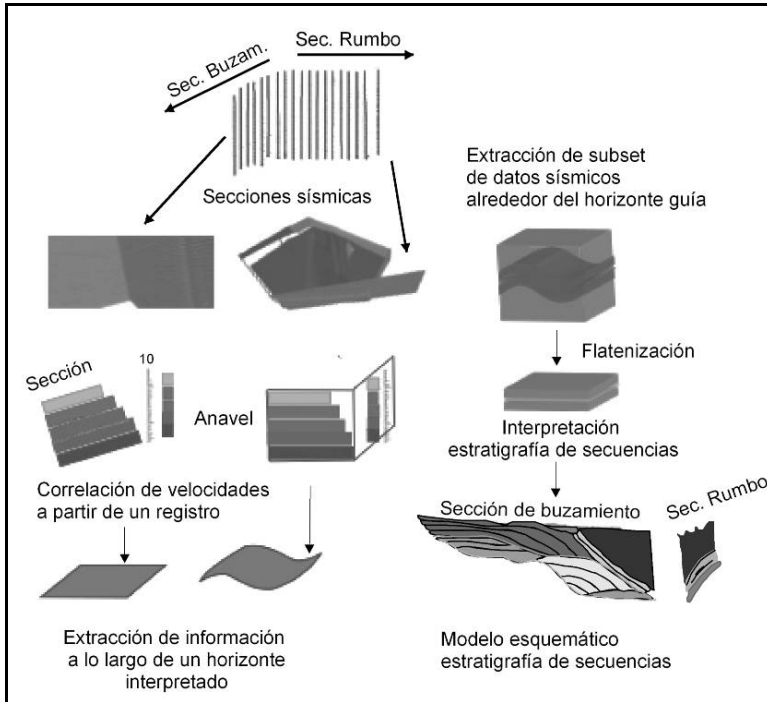


Figura 8. Diagrama esquemático de un modelo de estratigrafía secuencial en secciones de buzamiento y rumbo con los diferentes sistemas encontrados.

Este modelo permite establecer relación de profundidad y de posicionamiento de los diferentes elementos de las secuencias respectivas y obtener un modelo de estratigrafía de secuencias a partir de una configuración en profundidad. Para obtener un modelo en profundidad o tiempo, basado en datos bidimensionales, debe ser extendida la información desde cada una de las líneas sísmicas hacia afuera del plano, esto puede ser realizado con una función de velocidades creada con la interacción entre los datos de pozo y las cajas con velocidades sísmicas, ejemplo, las velocidades de procesamiento: apilado o de migración. El método básicamente permite extender y cambiar de dominio a través de las superficies que son las repre-

sentaciones de los límites de secuencias. Conversiones de dominio y asignaciones de velocidades son hechas en los diferentes intervalos y aplicados a las interfaces de interés: líneas de contorno, mapas e isopacos. Modelo con secuencias que pueden ser llevados del dominio temporal a espacial a partir de un modelo de velocidades variando linealmente con la profundidad.

Este modelo es inicialmente llevado desde el registro sísmico o las velocidades de migración o apilado, para la extensión lateral de los eventos sísmicos de buzamiento y de rumbo, los cuales van a presentar velocidades extendidas fuera del plano. Para efectos de simplicidad y por razones de resolución van a ser obviados las posibles inversiones de velocidad presentes. El modelo presentado de líneas de buzamiento, rumbo y pozo, localizadas en el offshore brasilero, permiten un amarre de la información, con procesos de conversión y modelamiento. La identificación de límites de secuencias y la flatenización (horizontalización) de las superficies encontradas, ayudan a establecer una relación entre la dirección de depósito, previa selección de facies sísmica. La flatenización de horizontes (eventos), tomando como referencia uno de los horizontes como guía, permite el seguimiento de la dirección de depósito de los sedimentos, estableciendo su carácter progradante o retrogradante. Para este caso fue utilizado como referencia el horizonte qMi, a partir del cual fue llevada a cabo la flatenización de los demás eventos (Figura 8).

Para llegar al modelamiento y visualización de la información sísmica fueron efectuados varios videos interactivos para: localización, estructuras, estratigrafía, geomorfología y modelo final del área del Cono de Rio Grande. Debido a esto fueron efectuados algunos instantes de los mismos para intentar describir los diferentes procesos. La información corresponde a líneas sísmicas (Figura 9A) desplegadas en el área del cono (Figura 9B), siendo referenciados en una malla (Figura 9C), donde previamente se generaron elementos estructurales como fallas normales, inversas y transcurrentes (Figura 9D), cuyas planos fueron incluidos dentro de la malla (Figura 9E), a los que también fueron incorporados elementos estratigráficos como horizontes, discordancias límites estratigráficos, Figura 9F), o elementos geomorfológicos como sistemas de canales (Figura 9G). Toda esa información y aproximaciones permiten obtener un modelo preliminar del cual pueden ser visualizados otras características en forma de volumen o de secciones (Figura 9H).

Diferentes geometrías y terminaciones sismoestratigráficas, son indispensables para determinar las características estratigráfica y de la estratigrafía de secuencias (Figura 9), sin embargo visualizaciones pueden y deben ser asistidas por sistemas computacionales, mediante modelos del subsuelo, al que son aplicados técnicas virtuales (Lin y Loftin, 1998), mejorando la calidad y alcance. La visualización incluye algunas veces análisis de atributos o otros parámetros, que permiten destacar elementos geológicos o geofísicos, por ejemplo, estratificación, presencia de canales o cañones submarinos, geformas posicionadas a profundidades.

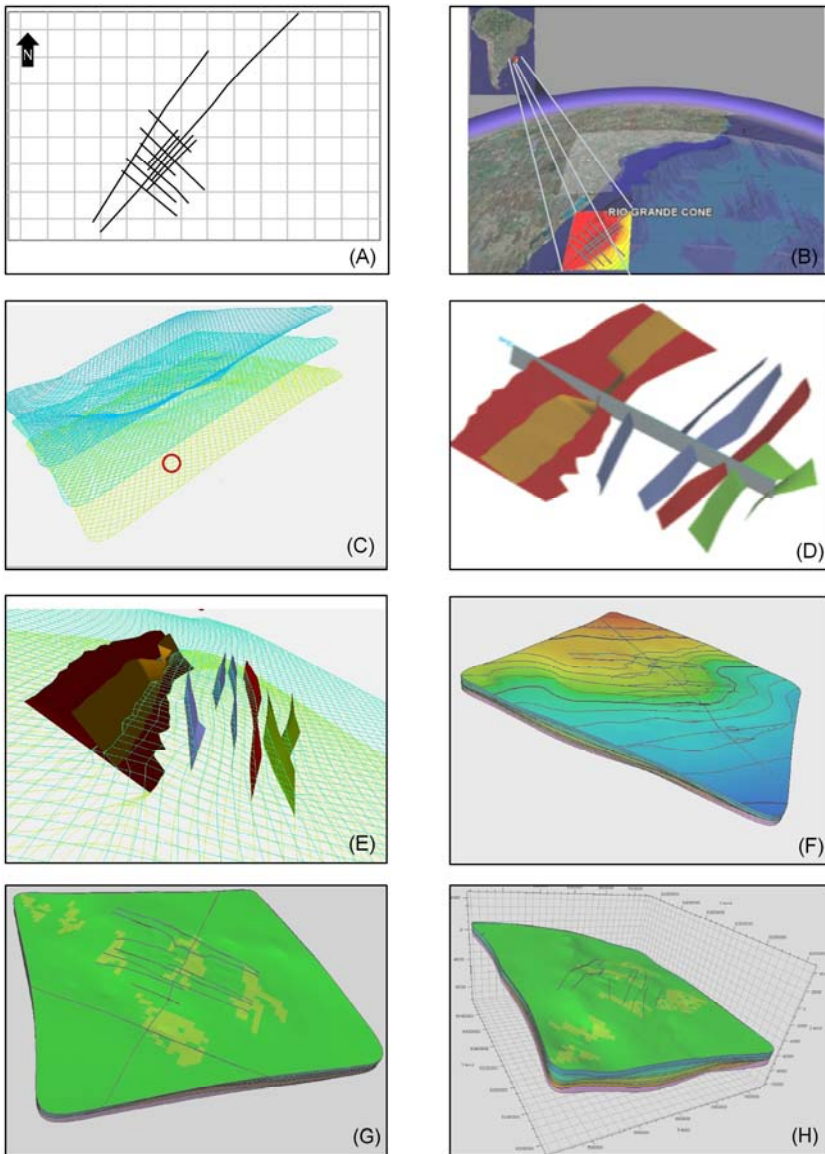


Figura 9. *Snapshot* con las etapas desarrolladas a partir de diferentes secuencias y modelamiento de datos sísmicos y función de velocidades 2.5-D. (A) mapas de líneas sísmicas y (B) localización geográfica, (C) malla de entrada de datos, la cual se constituye el enlace con elementos estructurales (D), siendo incorporados (E) y permiten, insertar horizontes, superficies (F), con elementos geomorfológicos (G) y pueden ser visualizados en forma 3D (H).

Conclusiones

Datos geofísicos, especialmente secciones sísmica y pozos, permiten implementar una interpretación sismoestratigráfica y de estratigrafía secuencial con integración de análisis de velocidades, por ejemplo, una función de velocidades para una configuración extendida de un modelo bidimensional para un modelo 2.5D. Todo este proceso es justificado para conversión de datos de un dominio temporal a profundidad, además de la interpretación de datos con técnicas de estratigrafía secuencial, que se constituye en una de las herramientas más poderosas, que al ser implementadas a partir de datos sísmicos, permiten refinar y estipular modelos geológicos.

Cuando se define la arquitectura geológica a partir de sus elementos geológicos, geofísicos o geomorfológicos, se hace necesario hacer el seguimiento de las variaciones en diferentes direcciones, vertical o lateral, consideraciones que no son hechas, regularmente si se supone continuidad homogénea, o cortes transversales. Por lo que se hace necesario hacer una extensión con modelos que incluyan ese seguimiento, lateral y vertical, lo cual puede efectuarse con la funciones de velocidades en sentido del flujo externo a las secciones analizadas.

El modelamiento estratigráfico es basado en el análisis geométrico, de facies, sismoestratigrafía y la correlación con un pozo disponible para el área, datos que son limitados debido a la gran extensión del área y al poco muestreo, integrando datos de una malla 2D y un pozo 1D.

La visualización de datos sísmicos constituye una herramienta poderosa para asistir las etapas de adquisición, procesamiento, interpretación y modelamiento geológico, por ejemplo el análisis sismoestratigráfico. En este trabajo fueron usadas como herramientas módulos de geofísica, petrofísica e interpretación de Petrel, para delinear elementos estratigráficos, estructurales y geomorfológicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, por el soporte y la formación del primer autor durante la permanencia en el curso de doctorado en Estratigrafía, y a la Universidad Nacional de Colombia por el financiamiento. Además de agradecer a la Agencia Nacional del Petróleo (ANP), Brasil, por suministrar los datos geofísicos (líneas sísmicas y los registros de pozo), también se agradece a Schlumberger, Brasil por el soporte computacional del módulo de modelamiento e interpretación Geofísica de Petrel, 2008. Este trabajo hace parte de la formación para el curso de doctorado en la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Referencias

- Alves, E. C., 1977, "Estrutura rasa do talude e sopé da Margem Continental do Rio Grande do Sul e Uruguai", Tese de Mestrado, Instituto Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 77 pp.
- Brown, A., 1996, *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data*, American Association of Petroleum Geologist, Fourth Edition, p. 424.
- Butler, L. W., 1970, "Shallow structure of the continental margin southern Brazil and Uruguay", *Geological Society of America Bulletin*, New York, N.Y., V. 81. pp. 1079-1096.
- Castillo, L. A.; Cruz, J. C.; Garabito, G.; Urban, J., 2002, "Migração 2.5-D com amplitudes verdadeiras em meios com gradiente constante de velocidade", *RBGF*, vol. 20, No. 1, pp. 43- 57.
- Catuneanu, O.; Martins-Neto, M. A.; Ericksson, P. G., 2005, "Precambrian sequence stratigraphy", *Sedimentary Geology* 176, pp. 67-95.
- Catuneanu, O., 2006, *Principles of sequence stratigraphy*, Elsevier's sciences & Technology, British Library, 375 pp.
- Chopra, S. y Marfurt, K. J., 2005, "Seismic attributes – A historical perspective. Society Exploration Geophysicists 75th Anniversary", *Geophysics*, Vol. 70, No. 5, 26 pp.
- Fontana, R. L., 1996, "Geotectnia e sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas. Plataforma de Florianópolis", Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 214 pp.
- Friedman, M. G., 1998, "Sedimentology and stratigraphy in the 1950's to mid-1980's: The story of a personal perspective", *Episodes*, Vol. 21, No. 3, New York, USA, pp. 172-177.
- Gonçalves, A.; Oliveira, M. A. y Oliveira, M. S., 1979, "Geologia da Baía de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis", *Boletim Técnico da Petrobrás*, RJ, 79:157-174.
- Haq, B. U.; Hardenbol, J.; Vail P. R., 1987, "Chronology of Fluctuations Sea Levels since the Triassic (250 years ago to Present)", *Science*, Vol. 235, pp. 1156-1167.
- James, H., Bond, R.; Eastwood, L., 2004, "Direct visualization and extraction of stratigraphic targets in complex structural settings", in Davies, R. J., Cartwright, J. A., Stewart, S. A., Lappin, M., Underhill, J. R., Eds., *3D Seismic technology: Applications to the Exploration of Sedimentary Basins*, Geological Society, London, Memoirs 29, pp. 227-234.
- Japsen, P., 2006, "Velocity-depth trends in Mesozoic and Cenozoic sediments from the Norwegian Shelf: Discussion", *AAP Bulletin* 90, No. 7, pp. 1141-1143.

- Li, X.; Götze, H. J., 1999, *Comparacion of some gridding methods*, Leading edge, August, pp. 898-900.
- Lin, Ch. R. y Loftin, B., 1998, "Application of Virtual Reality in the Interpretation of Geoscience data", in *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Taipei, Taiwan, pp. 187-194.
- Liner, C., 2008, *Time line data*, American Association of Petroleum Geologist-EXPLORER, p. 31.
- Malehmir, A.; Thunehed, H.; Tryggvason, A., 2009, "The Paleoproterozoic Kristineberg mining area, northern Sweden: Results from integrated 3D geophysical and geologic modeling, and implications for targeting ore deposits", *Geophysics* 74 (1), pp. B9-B22.
- Martins, I. L., 1983, "Modelo Sedimentar do Cone de Rio Grande", Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 205 pp.
- Martins, L. R.; Martins, I. R. y Urien C. M., 1990, "Episódios Dinâmicos de Curta Duração na Margem Continental do Rio Grande do Sul: Registro e Importância", *Acta Geológica Leopoldensia*, Sao Leopoldo, Brasil, 29 (2), 9-22.
- Miall, A., 1997, *The Geology of Stratigraphy Sequences*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 432 pp.
- Miall, A. y Miall, C. H., 2004, "Empiricism and model-building in stratigraphy: Around the hermeneutic circle in the pursuit of stratigraphic correlation", *Stratigraphy* 1, pp. 27-46.
- Mitchum, M. R. Jr.; Sangree, J.; Vail, P.; Wornardt, W., 1994, "Recognizing Sequences and System Tracts from Well logs, Seismic Data, and Biostratigraphy: Examples from the late Cenozoic of the Gulf of Mexico", in Weimer, P.; Posamentier, H. W. (eds.), *Siliciclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications*, American Association of Petroleum Geologist, Memoir, 58, pp. 163-197.
- Pennington, W., 1999, *An introduction to this special issue: Computer applications Leading Edge*, p. 700.
- Porto, R.A., 2007, "Interpretação Sismoestratigrafica da Porção da Bacia de Pelotas que engloba o Cone de Rio Grande e a Avaliação do seu Potencial Petrolífero", Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Macaé/RJ, 264 f.
- Posamentier, H. W.; Allen, G. P.; James, D. P. y Tesson, M., 1992, "Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples, and exploration significance: American Association of Petroleum Geologist", *Bulletin*, Vol. 76, pp. 1687-1709.
- Posamentier, H. W.; Jervey, M. T. y Vail, P. R., 1988, "Eustatic controls on clastic deposition I. Conceptual framework", in Wilgus, C. K.; Hasting, B. S.; Kendall,

- C. G. S. T. C.; Posamentier, H. W.; Ross, C. A.; Van Wagoner, J. C. (Eds.), *Sea Level Changes-An integrated Approach*, Vol. 42, SEPM Special Publication, pp. 110-124.
- Posamentier, H. W. y Allen, G. P., 1999, *Siliciclastic Sequence Stratigraphy: concepts and applications: SEPM concepts in Sediment logy and Paleontology*, vol. 7, 210 pp.
- Sherlock, D. H. y Evans B. J., 2001, "The development of seismic reflection sand-box modeling", *AAPG Bulletin*, v. 85, No. 9, pp. 1645-1659.
- Slob, S.; Hack, R.; Scarpas, T.; Bemmelen, B. V.; Duque, A., 2002, *A methodology for seismic microzonification using gis and shake – A case study from Armenia, Colombia*, Engineering Geology for Developing Countries. South Africa, pp. 16-20.
- Storvol, V.; Bjorlykke, K.; Mondol, N., 2006, "Velocity-depth trends in Mesozoic and Cenozoic sediments from the Norwegian Shelf: Reply", *AAPG Bulletin*, Vol. 90, No. 7, pp. 1145-1148.
- Trauth M. H., 2006, *Matlab® Recipes for Earth Sciences*, 2nd Edition. Springer, Verlag Berlin, University of Potsdam, Germany, 288 pp.
- Tucker, M. P. y Yorston, J. H., 1985, *Pitfalls in Seismic Interpretation*, Paul C. Wuenschel ed. Society Exploration Geophysicists, 50 pp.
- Urien, C. M.; Martins, L. R.; Martins, I. R., 2003, *Paleoplataformas e Programação Deltaica do Neogeno na Margem Continental do Uruguai e Norte a Argentina*, Gravel 1, pp. 40-46.
- Vail, P. R.; Mitchum, R. M.; Thompson, S., 1977, "Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 4. Global cycles of relative changes in sea level", in C. E. Payton, (ed.), *Seismic stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration: AAPG Memoir 26*, pp. 83-97.
- Van Wagoner, J. C.; Posamentier, H. W.; Mitchum, R. M.; Vail, P. R.; Sarg, J. F.; Loutit, T. S.; Handenbol, J., 1988, "An overview of sequence stratigraphy and key definitions", in Wilgus, C. K.; Hastings, B. S.; Kendall, C. G. S. T. C.; Posamentier, H. W.; Ross, C. A.; Van Wagoner, J. C. (Eds.), *Sea Level Changes – An Integrated approach*, Vol. 42, SEPM Special Publication, pp. 39-45.

Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología

Manuel Araneda C.*
María Soledad Avendaño R.*
Gerardo Díaz Del Río**

Abstract

A gravity model of the Santiago Basin in Chile, controlled with data from 2,100 gravity stations measured between 1974 and 1990, indicated an irregular basement morphology composed of depressions and topographic highs, including depressions with depths greater than 500m. The most important are those observed in the sectors of Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente, the area between Cerro Chena and Isla de Maipo. These depressions are bounded by basement ridges with depths reaching between 50 and 150m approximately. The most important of these are associated with the lineament Cerro Trincado – Cerro Limpangue – Cerro de Lo Castro – Cerro Renca – Cerro Manquehue in the northern sector and Cerro Puntilla del Viento – Cerro Chena – Cerro Negro – Cerro Cordón Los Ratones in the southern sector.

Data processed from 1,915 exploration and exploitation boreholes for ground water, together with the analysis of the basement morphology show that the underground confined water volume reaches 31,000 million m², considering a conservative storage coefficient of $S = 10\%$. In addition to the static level and the morphology of the basement, the thickness of the saturated aquifer was calculated. The major saturated thicknesses are found in the areas of major basement depressions determined in this study.

Key words: *Gravity, Santiago Basin, Underground Morphology, Hidrogeology.*

Resumen

El modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile, fue obtenido sobre la base del procesamiento de 2,100 estaciones de gravedad homogéneas, medidas durante

* SEGMI, correo electrónico: segmi@netexpress.cl

** INGEDIOS, correo electrónico: ingedos@ingedos.cl

los años 1974 al 1990. La morfología subterránea del basamento es irregular, compuesta por depresiones y altos topográficos, incluyendo depresiones con profundidades mayores de 500 metros. Las más significativas son aquellas que se observan en los sectores de Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente, área entre el Cerro Lonquén y Cerro Chena e Isla de Maipo. Estas depresiones están limitadas por dorsales del basamento que alcanzan profundidades entre 50 y 150 metros aproximadamente. Las más importantes de éstas son aquellas que se encuentran en el lineamiento, Cerro Trincado - Cerro Lipangue - Cerro de Lo Castro - Cerro Renca - Cerro Manquehue en el sector norte y Cerro Puntilla del Viento - Cerro Chena - Cerro Negro - Cerro Cordón Los Ratones en el sector sur.

Sobre la base de 1,915 sondeos de exploración y explotación para aguas subterráneas y de la morfología encontrada en el basamento subterráneo, se calculó el volumen de aguas subterráneas embalsadas en 31,000 millones de m³ aproximadamente. El coeficiente de almacenamiento utilizado de S=10%, puede considerarse como el más conservador. Adicionalmente con el nivel estático y la morfología del basamento se calculó el espesor del acuífero saturado. Las potencias mayores saturadas concuerdan con aquellas zonas de depresiones mayores determinadas en este estudio.

Palabras claves: *gravidad, cuenca de Santiago, morfología subterránea, hidrogeología.*

Marco geomorfológico y geológico

La cuenca de Santiago se encuentra ubicada entre las latitudes 33°10'S - 33°51'S y longitudes 70°28'O - 71°05'O, Figura 1, ocupando parte de la Depresión Intermedia o Valle Central de Chile. La cuenca presenta un extenso depósito de sedimentos Cuaternarios con forma aproximadamente elíptica, cuyo eje mayor tiene orientación Norte-Sur con un área cercana a 2,440km².

En ella se encuentran insertos cerros islas de carácter volcánico y granítico que ocupan un área aproximada de 110km². Brüggén (1950) y Thiele (1980) indican que la cuenca corresponde a un graben limitado por fallas normales al Este y Oeste. Fariás et al. (2006) postula que la Depresión Intermedia no puede ser atribuida solamente a procesos tectónicos, sino que gran parte fue generada por el desarrollo de un drenaje lateral. Fallas secundarias habrían originado varias rinconadas al interior de la cuenca principal, tales como La Dehesa, Conchalí, Lo Aguirre y otras. Resultados de investigaciones a cerca de la neotectónica de la Depresión Intermedia (Lavenu et al., 1994) permiten evidenciar deformaciones del tipo compresivo en depósitos Pleistocenos cercanos a la ciudad de Santiago, en la parte superior del río Maipo.

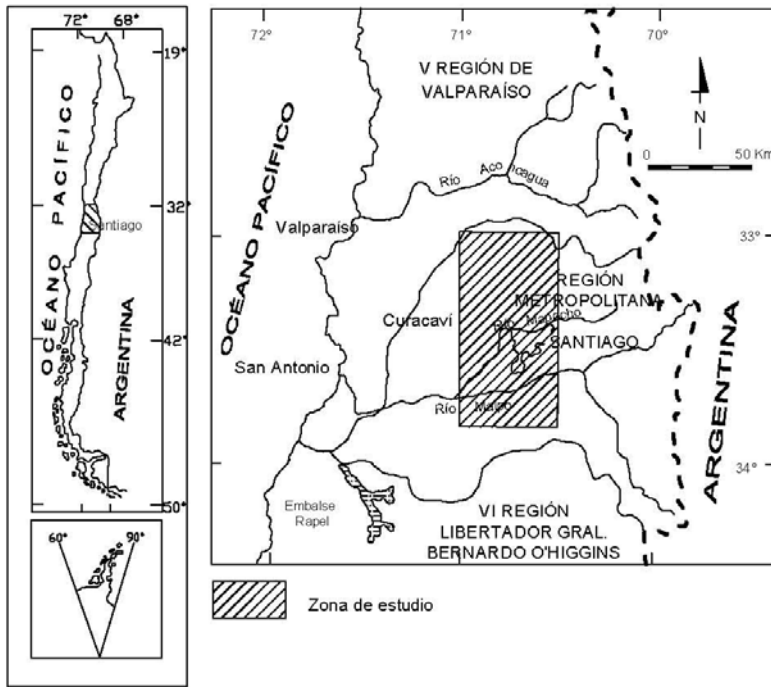


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio la cual cubre la parte central de la hoya hidrográfica del río Maipo, Región Metropolitana, Chile.

La cuenca de Santiago se ubica en la Hoya Hidrográfica del río Maipo que se extiende entre el límite con Argentina y el océano Pacífico. Esta Hoya Hidrográfica está compuesta por otras menores, tales como Maipo Superior, Mapocho, Colina, Lampa, Angostura, Maipo Inferior y Depresión Intermedia.

Las unidades geológicas expuestas de la cuenca de Santiago, Figura 2 y Figura 2a se pueden agrupar en tres zonas:

- a) Zona oriental, correspondiente por la Cordillera de los Andes, está constituida principalmente por rocas estratificadas de origen volcánico y sedimentario marino y continental del Mesozoico y Cenozoico las que se encuentran plegadas y falladas, preferentemente en sistemas de rumbo Norte-Sur. Estas rocas estratificadas están intruidas por plutones granodioríticos del Terciario Superior.
- b) Zona de la Depresión Intermedia constituida principalmente por sedimentos de edad Cuaternaria y cerros islas de composición volcánica y granítica de edad Terciaria. Los depósitos sedimentarios de la Depresión Intermedia incluyen se-

gún Varela (1993), Figura 2a: cenizas riolíticas, depósitos de abanico, aluviones, depósitos fluviales, depósitos coluviales, conos de deyección, depósitos lacustres y depósitos de remoción de masa. La secuencia del relleno sedimentario depositado en la cuenca de Santiago comprende: depósitos de sedimentos fluviales, laháricos, coluviales y lacustres que alcanzan potencias mayores de 500 metros en algunos sectores. Entre estos rellenos se distinguen depósitos de origen volcánico constituidos por cenizas vítreas de colores claros, que afloran actualmente en el sector oriental y en el margen occidental de la cuenca. Se asocian a eventos volcánicos relacionados a erupciones explosivas ácidas ocurridas durante el Cuaternario medio en la Cordillera de los Andes. Posteriormente ocurrió un periodo de erosión reduciendo los espesores de los depósitos, en especial los de composición cinerítica, hasta hacerlos desaparecer en algunos sectores. Después de esta fase erosiva se inició la depositación de la unidad sedimentaria superior que incluye los depósitos de los abanicos aluviales asociados a los ríos Maipo, Mapocho y a los esteros Colina, Lampa y Angostura, cuya edad corresponde al Cuaternario Medio o Superior al Holoceno, siendo el abanico aluvial del Maipo el más significativo, ya que cubre un 50% de la superficie de la cuenca y está conformado por sedimentos tipo gravas y gravas arenosas fluviales con intercalaciones de depósitos laháricos. Las potencias evidenciadas alcanzan 150 metros. (Emparan, 1966 y Varela, 1991). El abanico del río Mapocho está constituido por gravas y gravas arenosas fluviales.

El abanico del estero Angostura, por el sur, está constituido por sedimentos tipo gravas y arenas fluviales que engranan con los depósitos del abanico del Maipo.

El abanico del estero Lampa al norte de la cuenca está constituido por sedimentos provenientes de la erosión de la cordillera de la costa, lo que lo diferencia de los abanicos antes descritos. Su granulometría es tipo arenas medias a gruesas con algunos niveles de gravas en el sector apical, las que gradan a arenas medias en el sector distal.

En algunos sectores estos depósitos se encuentran sobreyaciendo a las pumicitas del sector occidental. El abanico del estero Colina también en la zona norte de la cuenca, está constituido por gravas y arenas gruesas de origen fluvial las que gradan a arenas medias a gruesas en los sectores más distales. Allí estos depósitos engranan con los provenientes del abanico del estero Lampa.

En el margen occidental de la cuenca afloran sedimentos de origen lacustre generados por lagunas desarrolladas durante el último periodo glacial. Estos depósitos corresponden a limos y arcillas con estratificación fina cubriendo los sectores de Batuco y Pudahuel. También, se encuentran en las rinconadas de Lampa, Lipangue, Lo Aguirre y Aculeo, donde alcanzan espesores cercanos a 40 metros.



Figura 2. Mapa geológico de parte de la zona Metropolitana de Chile, el cual muestra principalmente la distribución del relleno sedimentario de acuerdo a su origen y en forma simplificada la distribución de las rocas fundamentales.

DEPOSITO DE RELLENO		DEPOSITO DE RELLENO	
Qc	DEPOSITOS COLUVIALES Y CONOS DE DEYECCIÓN. Gravos mal seleccionados y diamictos.	QaA	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LA ÑIPA. Gravos arenosos y arenas.
Qm	DEPOSITOS DE REMOCIÓN EN MASA. Diamictos y bloques de rocas removidos.	Qam	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAPOCHO. Gravos arenosos y arenas con intercalaciones de corrientes de barro.
Qt	DEPOSITOS FLUVIALES ACTUALES. Gravos arenosos y arenas de los cursos actuales de los ríos. En la zona litoral esta unidad incluye además depósitos fluviales subactuales (Qfs) y antiguos.	1	DEPOSITO DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAIPO. Sector 1: Gravos arenosos, avalanchas volcánicas y flujos piroclásticos. Sector 2: Gravos arenosos y arenas con flujo de barro y avalanchas volcánicas. Sector 3: Gravos arenosos con flujo de barro y avalanchas volcánicas.
Qts	DEPOSITOS FLUVIALES SUBACTUALES. Gravos arenosos y arenas de terrazas bajas laterales de los ríos.	Qam1 2 3	
Qft	DEPOSITOS FLUVIALES ANTIGUOS. Gravos arenosos y arenas de terrazas medias y altas de los ríos.	QaCl	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO CLARILLO. Gravos arenosos-arcillosos y arenas.
Qi	DEPOSITOS LACUSTRES. Limos y arcillas laminadas a masivas en cuencas mal drenadas.	Qac	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ESCORIAL. Gravos arenosos y coluvios.
Qal	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LAMPA. Arenas derivadas de macizas graníticas lavados.	Qaab	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ABRANTES. Gravos arenosos y coluvios.
QaB A C	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO COLINA. Sector A: Gravos arenosos. Sector B: Arenas. Sector C: Limoarcillas.	Qaa	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ANGOSTURA. Gravos arenosos y arenas.
		Qcp	DEPOSITOS DE GENIZAS PUMIGITICAS. Geniza ríjida con piedras pómez producida por flujo piroclástico (450 000 años Ap.).
ROCAS FUNDAMENTALES		ROCAS FUNDAMENTALES	
MT	ROCAS ESTRATIFICADAS VOLCÁNICAS Y SEDIMENTARIAS MEOZOICAS A TERCIARIAS. Lavas, tobas y brechas andesíticas o ríolíticas y lutitas, conglomeraos, areniscas y calizas.	Pg	CUERPOS INTRUSIVOS PALEOZOICOS. Tonalitas, adamantitas, granodioritas.
Kg	CUERPOS INTRUSIVOS PLUTONICOS MEOZOICOS A TERCIARIOS. Granodioritas, tonalitas y adamantitas, andesitas y piroxenos, anfíbolitas y pórfidos andesíticos y dacíticos.		

Figura 2a. Leyenda de mapa geológico de parte de la zona Metropolitana de Chile, el cual muestra principalmente la distribución del relleno sedimentario de acuerdo a su origen y en forma simplificada la distribución de las rocas fundamentales.

En el flanco oriental de la cuenca se desarrollaron, desde el Cuaternario superior al Holoceno, pequeños conos de deyección asociados a las quebradas de Lo Cañas, Macul, San Ramón, Apoquindo y Wall *et al.* (1999). La superposición de estos conos conforma una franja continua a lo largo de la falda de la Cordillera de los Andes. Su composición es muy heterogénea encontrando sedimentos tipo arcillas, limos, arenas y gravas en proporciones similares. En el mismo margen oriental existen algunos depósitos secundarios asociados a eventos de remoción en masa. Los más conocidos se ubican en el sector de la Loma Los Baños, Cerro Apoquindo y margen izquierdo de la quebrada de Macul.

- c) Zona Occidental corresponde a la cordillera de la costa, la cual está compuesta principalmente por rocas graníticas de edad Paleozoica superior y Mesozoica, con algunos afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias de edad Cretácica. Estas rocas han sido afectadas por fallas de rumbo nor-este. La interperización y meteorización han generado una cobertura detrítica sobre las rocas graníticas que alcanzan en algunos casos espesores significativos.

Antecedentes hidrogeológicos

La cuenca de Santiago forma parte de la cuenca hidrográfica del río Maipo. Esta posee sus nacientes en la Cordillera de los Andes, en la divisoria de aguas en el límite con Argentina y se extiende hacia el Oeste hasta evacuar sus aguas en el océano Pacífico, en el sector de Santo Domingo, V Región. Dado la gran extensión

que cubre, ésta se puede subdividir en tres tramos: Maipo Superior, Maipo Intermedio y Maipo Inferior. La cuenca de Santiago pertenece a la cuenca del Maipo Intermedio y, a su vez se puede subdividir en 5 subcuencas: río Mapocho, del estero Lampa, estero Angostura, estero Colina y la cuenca del Maipo propiamente tal.

Debido a su extensión y variado origen de los sedimentos la cuenca de Santiago presentan un sistema hidrogeológico complejo y heterogéneo, solamente 12 pozos alcanzaron la roca basal, siendo los más profundos aquellos ubicados en el sector de Pudahuel 6/381m, 2/349m y 1/377m; Falcon *et al.*, 1970.

El sistema hidrogeológico del sector alto del río Mapocho, entre Lo Barnechea y el Cerro San Cristóbal, está constituido por un acuífero freático superior formado por sedimentos tipo bolones, gravas y arenas inmersos en una matriz arcillo-limosa, cuya potencia es cercana a los 30 metros. Hacia la base los sedimentos gruesos disminuyen y aumenta los contenidos de arcillas. De este modo se tiene una alternancia de sedimentos permeables e impermeables cuya potencia es del orden de 150 metros. Las transmisividades (T) son del orden de $500\text{m}^2/\text{día}$. Al norte del río Mapocho, entre el Cerro San Cristóbal y el Cerro Renca ocurre un acuífero compuesto de gravas y arenas con escaso contenido de finos cuya potencia alcanza cerca de 200 metros aproximadamente y cuya transmisividad (T) es del orden de $700\text{--}1,000\text{m}^2/\text{día}$ (IPLA, 1984). Hacia el sector de Huechuraba, la influencia del río Mapocho es menor ya que esta zona queda protegida de la influencia directa del río por el Cerro San Cristóbal, de modo que en esa zona aparecen niveles de material relativamente más finos, otorgándole al acuífero cualidades de semiconfinamiento a confinamiento. Avanzando por el río Mapocho, hacia el sector de Maipú, se detecta la presencia de algunos niveles de ceniza volcánica, que actúa como acuífero en forma local. Los acuíferos inferiores constituidos por gravas y arenas aparecen indistintamente confinados y libres a diferentes profundidades y con espesores variables. Entre la localidad de Maipú y Talagante, y aparece un acuífero donde predominan los materiales tipo gravas y arenas con escaso a nulo contenido de finos, de modo que conforma un excelente acuífero libre, cuya potencia alcanza los 200 metros. La transmisividad (T) máxima alcanzada es de $15,000\text{m}^2/\text{día}$, evidenciando el enorme potencial de este acuífero (IPLA, 1984).

El sector central de la cuenca de Santiago, incluye un acuífero de favorables cualidades, compuesto de gravas y arenas con escaso contenido de finos, que pueden alcanzar potencias de hasta 250 metros en el sector de San Bernardo. El sector oriente, en los faldeos de la cordillera, se ha detectado transmisividades (T) de $1,000\text{m}^2/\text{día}$. Entre el cerro Lonquén y la confluencia entre el río Mapocho y Maipo se encuentra un acuífero freático compuesto de gravas, arenas y en parte bolones. Hacia el río Mapocho se intercalan niveles arcillosos que hacen perder el carácter freático de las napas.

Hacia el norte de la cuenca, el estero Colina posee un sistema hidrogeológico constituido por alternancia de sedimentos finos y gruesos, generando varios niveles de acuíferos de carácter confinado ($T=800\text{m}^2/\text{día}$). En el sector de Batuco predominan los sedimentos finos, con algunos lentes de material grueso, de modo que existe un grado importante de confinamiento ($T=100\text{m}^2/\text{día}$). La potencia alcanza los 300 metros. El sector de confluencia entre el estero Lampa y el Río Mapocho, existe una sucesión de acuíferos intercalados entre niveles arcillosos; incluso se ha detectado pozos artesianos en el área.

Con respecto al coeficiente de almacenamiento se estima que en el sector alto del Mapocho es del orden de 0.05; en el sector norte del Mapocho es de 0.002, en el sector de confluencia entre Maipo y Mapocho puede alcanzar valores de 0.15 a 0.2, en el sector sur del río Mapocho, es decir Santiago, es de 0.1, el sector de Batuco 0.0005 a 0.001, en el sector de Aculeo 0.005 (IPLA, 1984). Con relación al comportamiento general de los niveles del sector norte de la cuenca, se aprecian fluctuaciones cíclicas en las que los ascensos de niveles ocurren en el periodo comprendido entre diciembre y mayo, adelantándose ocasionalmente por el efecto de crecidas de invierno y/o verano, que al recargar directamente la napa permiten una respuesta más rápida de los niveles.

En el sector sur del río Mapocho, los niveles son menos profundos, de modo que las fluctuaciones son de menor amplitud. En los sectores cercanos al río Maipo, hasta el Cerro Lonquén, las fluctuaciones son máximas y se evidencian claramente los periodos secos y húmedos. Desde allí hacia aguas abajo la superficie equipotencial tiende a aflorar, de modo que las fluctuaciones disminuyen. La recarga al acuífero ocurre principalmente por la infiltración de los cauces superficiales y por las zonas de depósitos coluviales en los márgenes oriente y poniente, que permiten la infiltración de las precipitaciones. La ciudad de Santiago y sus áreas urbanizadas (hormigón) actúan como capa impermeable que no permite la percolación de las aguas lluvias. Éstas escurren hasta ser evacuadas en los cauces naturales del río Mapocho y Maipo.

En el sector de Colina, Batuco y Lampa la recarga de los acuíferos profundos ocurre en las partes más altas, zona apical de los conos aluviales, donde la granulometría de los sedimentos es más bien gruesa y permite la infiltración. Las aguas que precipitan sobre estos sectores, no logran infiltrar debido a la presencia de estratos de material arcilloso impermeable.

El movimiento de las aguas subterráneas es predominantemente de Norte a Sur y de Este a Oeste, dirección establecida por las aguas superficiales.

Antecedentes geofísicos de la cuenca de Santiago

Son muchos y variados los métodos geofísicos que han sido utilizados en forma parcial para definir la forma del basamento de la cuenca de Santiago. De ellos podemos citar los estudios gravimétricos realizados por Kausel (1959), Dragicevic (1982), Araneda y Avendaño (1988), Avendaño y Araneda (1994), Ayala y Cabrera

(1999), Araneda, Avendaño, Merlo (2000). Además estudios sísmicos realizados por Dragicevic y Meinardus (1962), Urzúa (1974) y estudios geoelectricos de Meinardus y Rivera (1967) y Sánchez (1975). Estudios adicionales de gravedad en la cuenca de Santiago han sido realizados desde 1992. De ellos se pueden citar: Bravo (1992), López (1992), Bluhm (1996), Toledo (1996) y Merlo (2003).

Para calibrar el modelo gravimétrico se ha considerado aquella información aportada por los sondeos para la exploración de aguas subterráneas e investigaciones del subsuelo de la cuenca (Ayala y Cabrera, 1999; Falcon, 1970; Emparam, 1966).

Metodología utilizada

El método gravimétrico utilizado en esta investigación es ampliamente conocido por su capacidad de resolver problemas asociados a variaciones de la densidad de las formaciones geológicas y por su rapidez de ejecución. Es importante destacar que la información obtenida se puede considerar como una base homogénea de datos ya que fueron resultados obtenidos solamente a través de instrumentos La-Coste & Romberg, modelo G. Estos instrumentos tienen una baja deriva, 1mGal/mes, la cual fue considerada lineal. La base utilizada para el levantamiento corresponde a aquella ubicada en el Departamento de Geofísica (SCL GEOPH, Avendaño y Araneda, 1993), y que pertenece a la Red Nacional de Gravedad de Chile, ligada a la Red Internacional Estandarizada de Gravedad 1971 (IGSN 71). Los parámetros de la estación SCL GEOPH son latitud 33°27'10" S, longitud 70°39'50" O, elevación 523 metros (n.m.m.) y gravedad 979,414.70mGales.

La mayor parte de las estaciones de gravedad (Figura 3) fueron ubicadas a lo largo de caminos, cruces de calles o puntos singulares, como pilares de líneas de nivelación del Instituto Geográfico Militar (IGM). Las distancias entre las estaciones tienen un intervalo entre 500 a 1,000 metros, las cuales fueron controladas mediante el odómetro del vehículo y fueron replanteadas de acuerdo al avance de las campañas, en las cartas 1:50,000 y 1:25,000 del IGM. Posteriormente en la etapa final las estaciones fueron establecidas mediante el sistema GPS para las coordenadas horizontales.

La ubicación de las estaciones quedó determinada con una precisión aproximada de 25 metros en coordenadas horizontales. Para minimizar el error de cota, el tiempo de los circuitos con altímetro no fue superior a 3 horas. Las alturas fueron medidas mediante altímetros Wallace & Tiernan con un rango de alturas de 5,000 metros. Para el control de las alturas fueron considerados pilares de las líneas de nivelación del IGM, 14E, 15E, 16E, y 17E en la Región Metropolitana. Adicionalmente se consideraron pilares de nivelación de líneas 1E, 2E, 9E y puntos singulares que tuviesen alturas referidas al nivel medio del mar. Además se efectuaron correcciones por presión y temperatura obteniéndose una precisión de ± 3 metros en las cotas de las estaciones en algunos casos. La deriva instrumental no fue superior

a 0.07mGal. Usando la metodología descrita los autores estiman que el error total en la Anomalía de Bouguer sería de alrededor de 0.3mGal por estación.

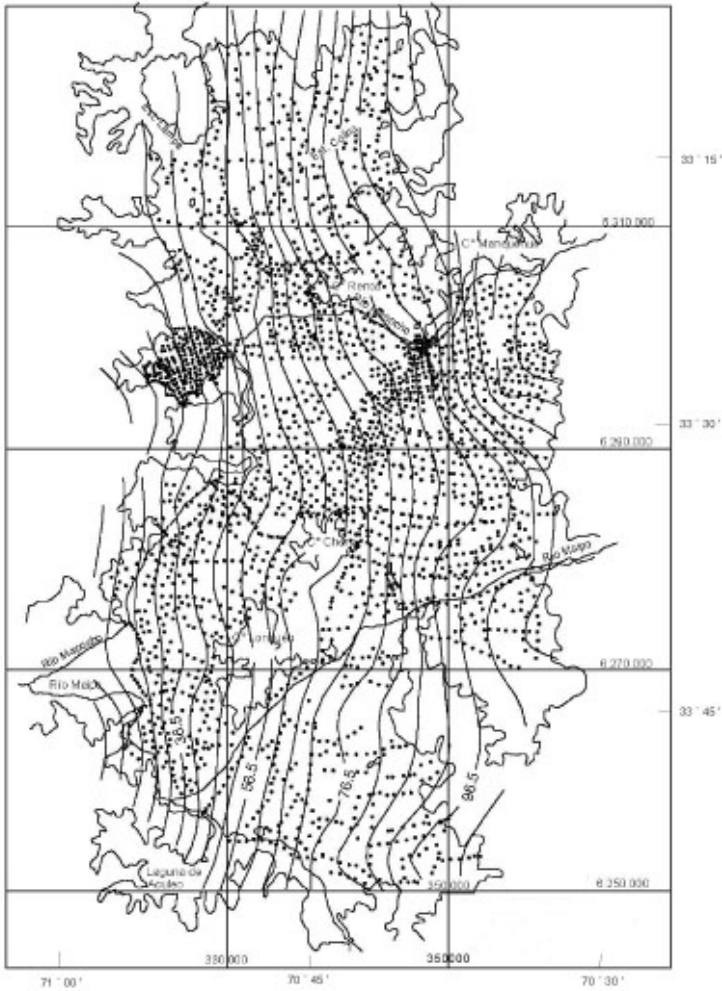


Figura 3. Plano de la distribución de las estaciones (puntos negros) de gravedad en la región de estudio, anomalía de Bouguer cada 5mGal y contorno de la roca basal de la cuenca de Santiago.

Para obtener la Anomalía de Bouguer, Figura 3 se tomaron las siguientes consideraciones: densidad media de los sedimentos 2.1gr/cm^3 y densidad media de la roca 2.6gr/cm^3 .

Los valores de las reducciones fueron los siguientes: Latitud $C_1=0.7476$ mGal/km, Altura $C_h=0.3086$ mGal/m, Bouguer $C_b=0.0210$ mGal/m y Topográfica $C_T=2.6\text{gr/cm}^3$, para este efecto se usó el programa DvGrav, Beta Version 0.7, May 2006 autor Sabine Schmidt de CAU Kiel.

Interpretación

Normalmente para obtener el regional se utilizan regionales analíticos de primer orden o más, en este caso no pudo ser cuantificado mediante el método descrito por la gran complejidad geológica que presenta la Cordillera de los Andes y de la costa. Debido a ello se utilizó el método bidimensional (Araneda, Avendaño, Merlo, 2000), el cual se basa en planos formados por triángulos definidos por gradientes regionales de primer orden cuyos vértices están ligados a afloramientos de rocas. Con este método se definieron 69 planos para obtener el regional de la cuenca de Santiago, Figura 4, el cual fue sustraído a la anomalía de Bouguer para finalmente obtener el residual correspondiente para la cuenca. En este proceso se usó un contraste de densidad uniforme entre la roca y los sedimentos cuyo valor fue 0.5gr/cm^3 .

El modelo isobático obtenido de la cuenca de Santiago, Figura 5 muestra que los rasgos morfológicos principales son dos dorsales cuyas direcciones aproximadas son NO-SE, la ubicada al Norte tiene como centro el C°Renca y la segunda ubicada al Sur tiene como centro el C° Chena. Se destaca así mismo pequeñas subcuencas con profundidades entre 350 y 500 metros en los sectores de Rinconada Lo Aguirre, Pudahuel, Santiago Oriente entre el C°Lonquen y C°Chena sector Isla de Maipo.

La morfología del basamento de la cuenca muestra una configuración compartimentalizada de subcuencas y altos topográficos relativos, estos incluyen dos lineamientos importantes asociados a altos en el basamento y cerros islas que emergen del relleno. Ellos son el Cerro Trincado, Cerro Lipangue, Cerro de Lo Castro, Cerro de Renca y Cerro Manquehue en la zona norte y Cerro Punta del Viento, Cerro Chena, Cerro Negro, Cerro Cordón Los Ratones, en la parte sur. Ambos lineamientos tienen orientación noroeste-sureste. La potencia sedimentaria sobre estos alcanza aproximadamente 180 metros. Adicionalmente existen otros altos en el basamento en que la potencia sedimentaria sobre ellos alcanza 150 metros como se observa entre el Cerro Lonquen - Cerro Tralcado y Cerro Lonquen - Cerro Lo Herrera y Cerros de cordón Los Ratones.

La morfología del basamento determinada en este estudio difiere de aquella propuesta por (Falcon *et al.*, 1970). Para tener una idea de las diferencias que presentan los modelos determinados, la Figura 6 muestra el modelo de Falcon *et al.*, 1970.

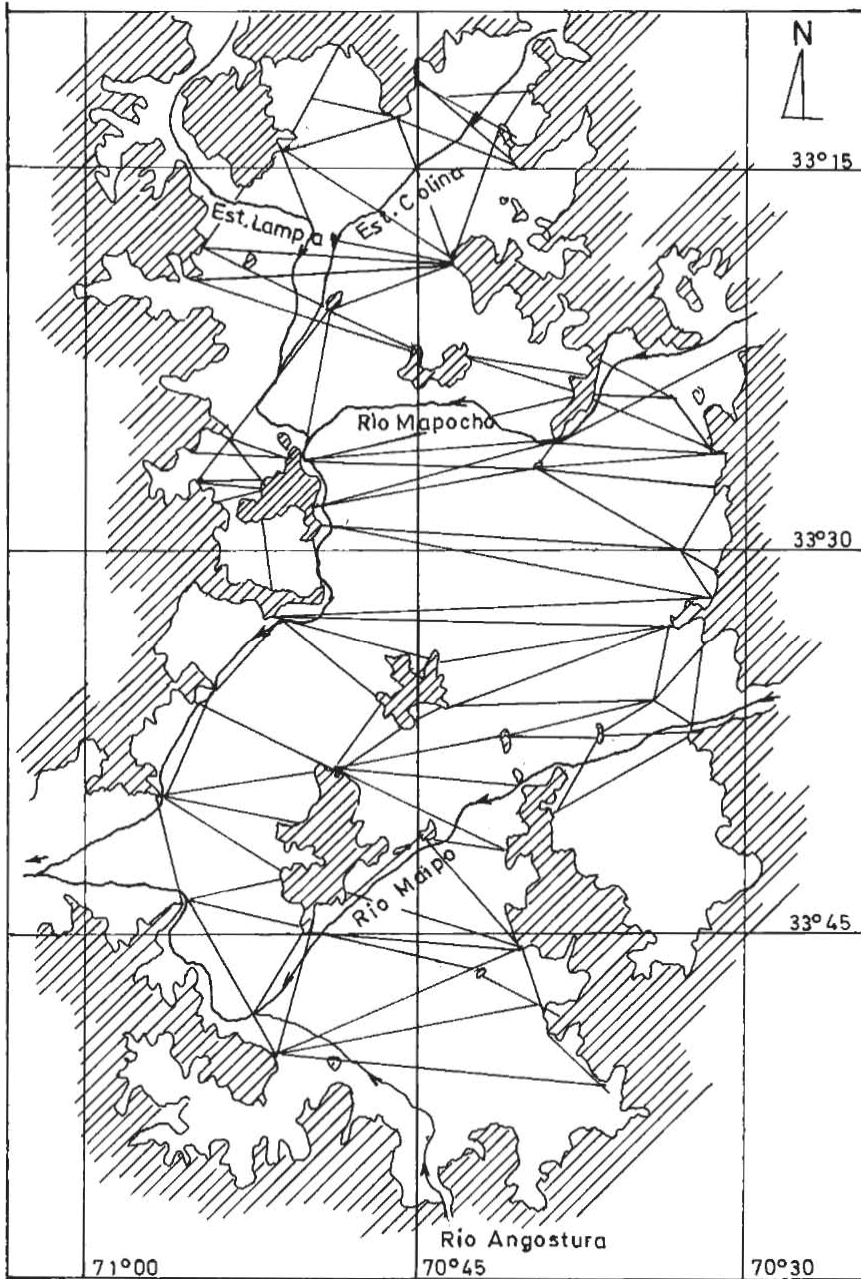


Figura 4. Planos considerados para determinar el regional en cada sector mediante planos triangulares.

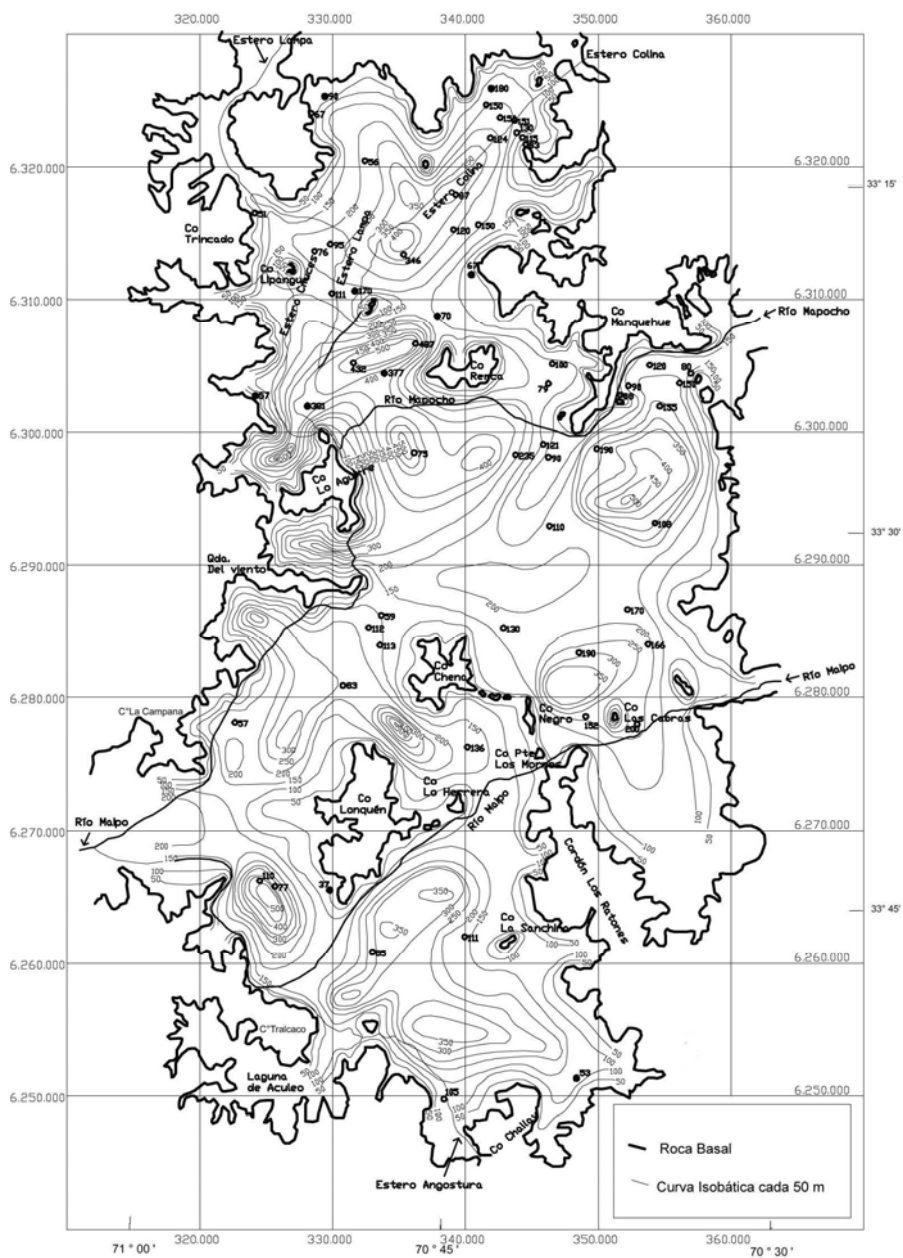


Figura 5. Modelo de basamento calculado mediante gravimetría con sus respectivas características morfológicas y curvas de nivel cada 50 metros referidas a la superficie.

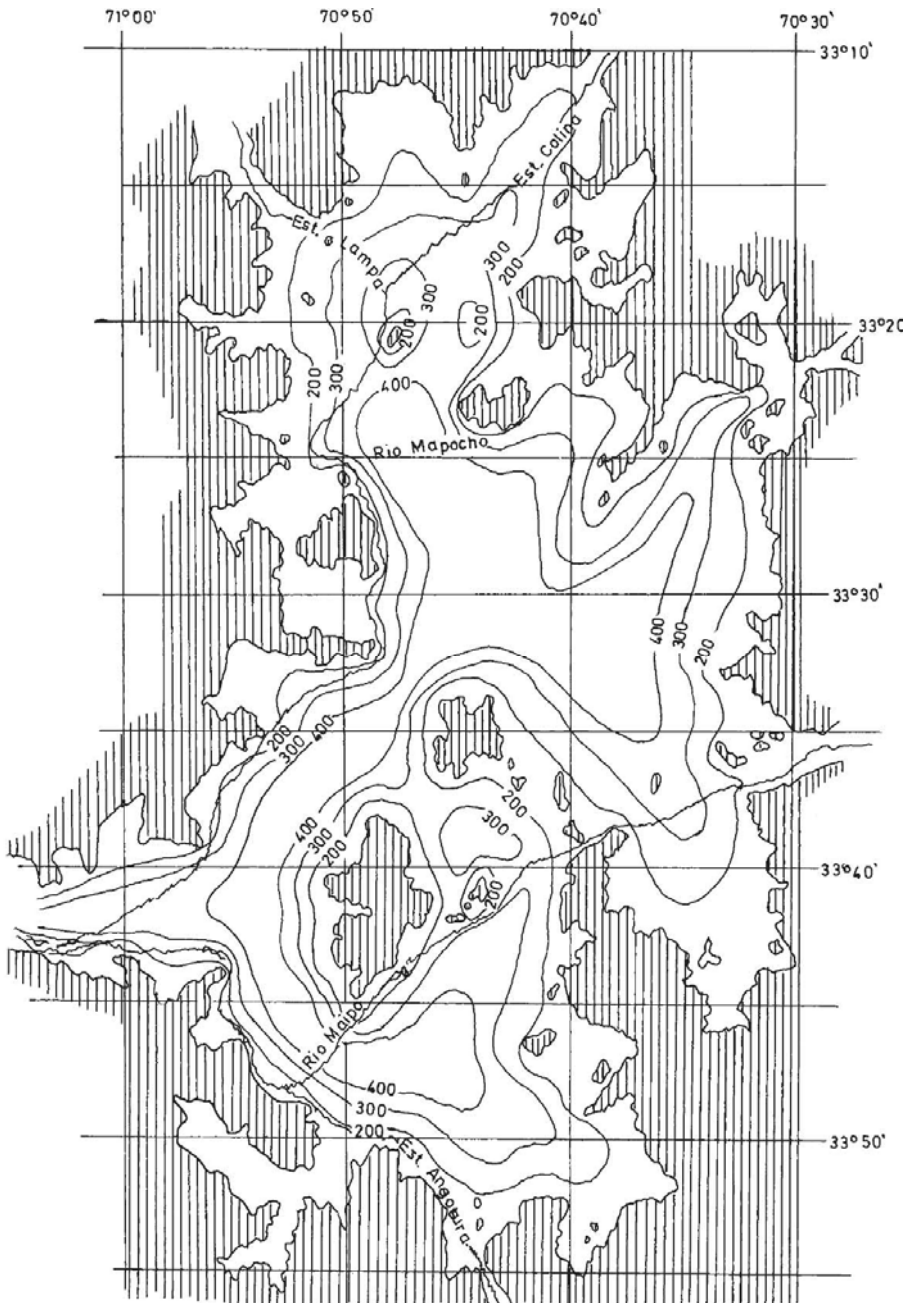


Figura 6. Modelo del basamento determinado por Falcon *et al.*, 1970, curvas de nivel cada 100 metros referidas a la superficie.

Relaciones con la Hidrogeológica

En la modelación hidrogeológica simplificada se consideraron los ríos principales que atraviesan la cuenca de Santiago, Maipo y Mapocho así como sus afluentes principales los esteros Colina, Lampa y Angostura. Además fueron considerados 1915 pozos con sus niveles isostáticos. Ayala y Cabrera 1999, Figura 7. De la misma forma se analizaron los diferentes tipos de suelos en forma aproximada para determinar los coeficientes de escurrimiento. Con esta información se observó que el agua subterránea menos profunda se encuentra hacia el noreste. El acuífero ubicado en el centro-oriente de la cuenca posee niveles estáticos entre 128 a 256 metros de profundidad lo que coincide con los sedimentos asociados al abanico aluvial del Maipo. La Figura 8 muestra el nivel freático determinado.

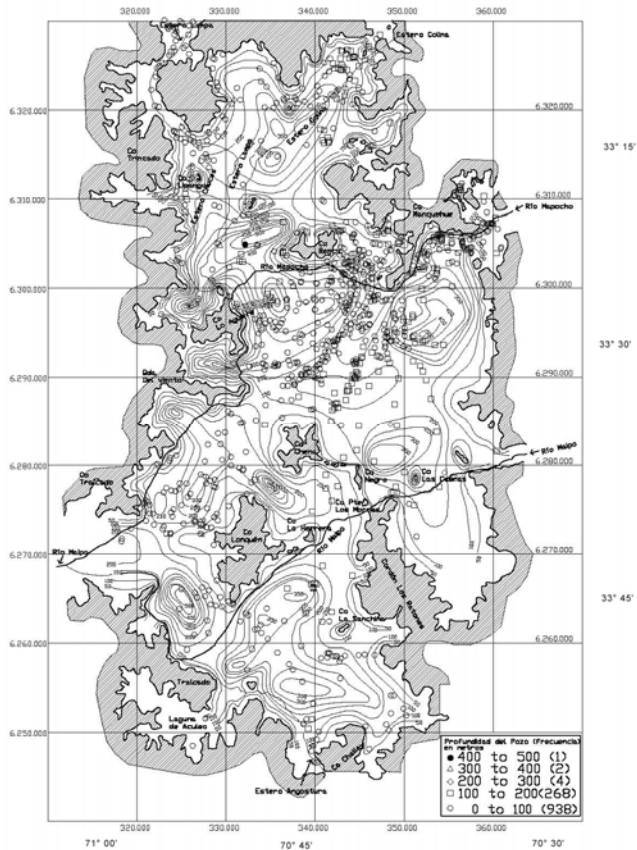


Figura 7. Curvas isobáticas con la ubicación de los pozos con sus respectivos valores medios de profundidad respecto a la superficie.

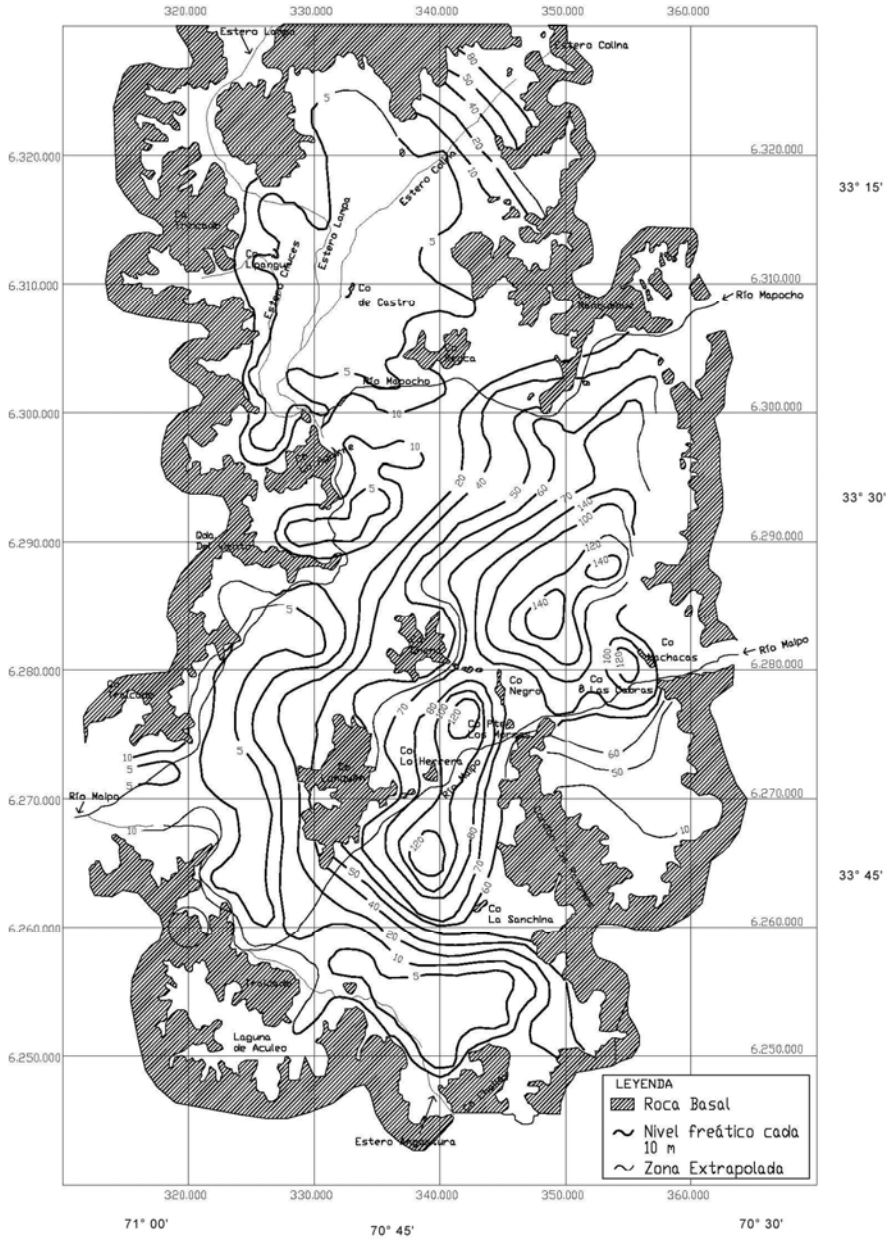


Figura 8. Curvas del nivel freático cada 10 metros referidas a la superficie.

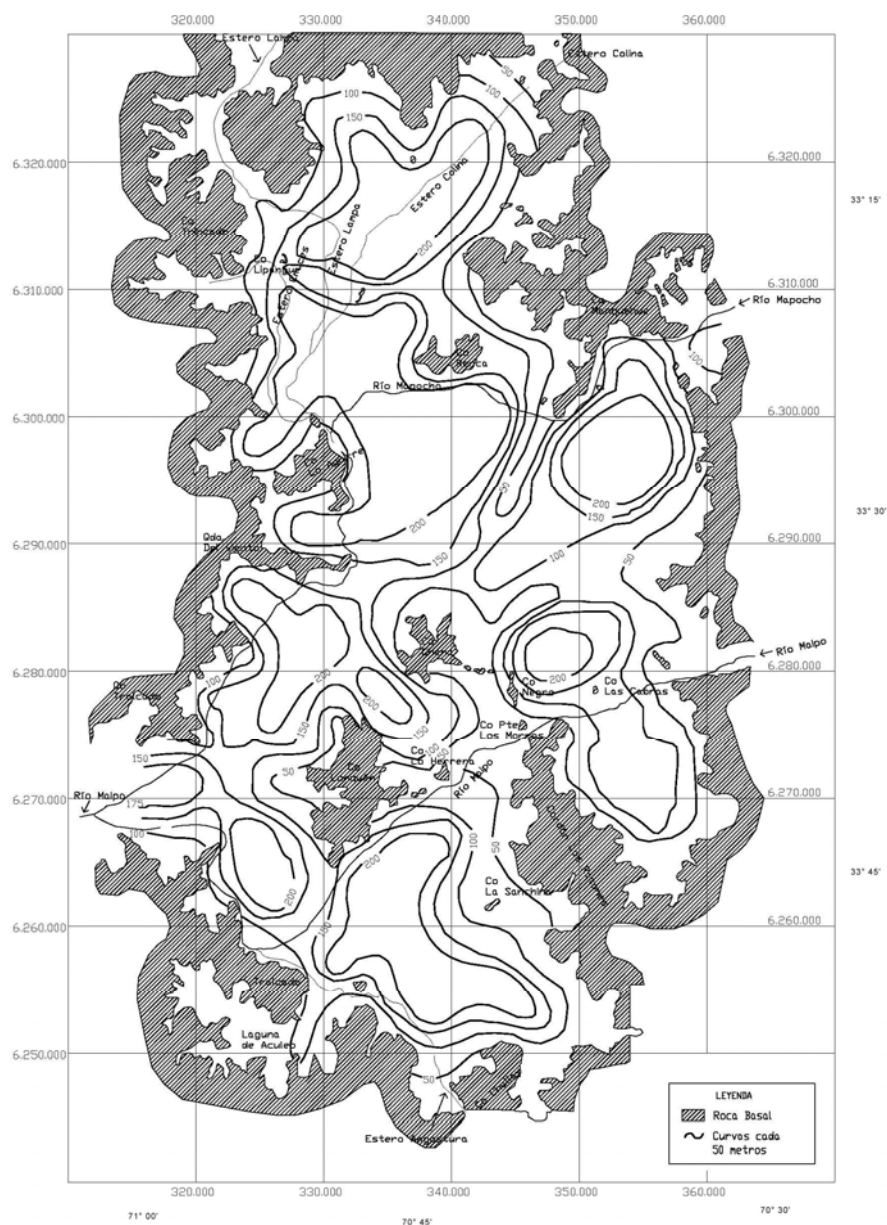


Figura 9. Mapa del espesor del acuífero saturado, cuenca de Santiago.

A partir de la morfología del basamento de la cuenca, topografía superficial referida al medio del mar y el nivel estático, se determinó el espesor del acuífero saturado de la cuenca de Santiago cuyos resultados se muestran en la Figura 9. Se observa que los mayores espesores del acuífero saturado se encuentran en aquellas zonas en que el basamento impermeable es más profundo.

Para calcular el volumen de agua almacenada en el acuífero de la cuenca de Santiago, se ha supuesto que éste posee cualidades hidrogeológicas homogéneas. En el cálculo del volumen de agua almacenada en la cuenca de Santiago se utilizaron celdas unitarias de 1km^2 , con un coeficiente de almacenamiento de 0.1 (10%) (porosidad efectiva del material), cifra considerada bastante conservadora. El valor total del agua almacenada corresponde a 31,000 millones de m^3 , cifra considerada muy significativa al depósito del agua subterránea almacenada en la cuenca de Santiago. Se puede analizar la sensibilidad del modelo planteado se ha variado el coeficiente de almacenamiento.

Conclusiones

La morfología del basamento de la cuenca de Santiago está dominada por una topografía irregular caracterizada por una serie de altos topográficos que limitan una serie de subcuencas de diferentes tamaños y profundidades bajo la cubierta sedimentaria. Estas se habrían originado durante el Plioceno hasta épocas recientes del Cuaternario.

El conocimiento de la morfología del basamento y el relleno sedimentario de la cuenca de Santiago subyacente juegan un papel muy importante en la evaluación de los recursos hídricos subterráneos. Para efectuar una buena estimación de dichos recursos sería necesario evaluar en detalle la potencia los diferentes tipos de sedimentos con sus respectivas permeabilidades que la componen. A pesar de ello la mayor parte de la cuenca está compuesta por sedimentos granulares en su parte superior de alta permeabilidad; aportado por los ríos Maipo y Mapocho los cuales poseen un buen potencial de almacenamiento de aguas subterráneas. Un cálculo conservador permite estimar un volumen embalsado de 31,000 millones de m^3 .

Los resultados obtenidos presentan una buena aproximación a los objetivos planteados, aún cuando se consideró una densidad uniforme para el relleno sedimentario y rocas adyacentes. También haría sido deseable tener una distribución más regular de estaciones gravimétricas, esto no fue posible ya que grandes áreas son recintos particulares que no permitieron su ingreso.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a los señores Constantino Mpodozis y Rolando Barozzi por sus valiosas críticas y comentarios así como algunos referís del Servicio Nacional de Geología y Minería cuyos comentarios no siempre favorables, pero que de alguna forma aprovechamos aquellos que nos parecieron interesantes por el aporte al texto del artículo.

Referencias

- Avendaño, M.S., Araneda, M., 1988 “Gravimetría de la cuenca de Santiago Parte I sector Padre Hurtado-Talagante”, V Congreso Geológico Chileno, vol. II, pp. F153-170.
- , 1994 “Gravimetría de la cuenca de Santiago Parte II sector sur y centro”, VII Congreso Geológico Chileno, vol. I, pp. 574-575.
- , 1984 “Perfil gravimétrico del C° Chena-C° Vizcachas”, Informe inédito, Departamento Geofísica, Universidad de Chile.
- Araneda, M., Avendaño, M. S., Merlo, C., 2000 “Modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago, etapa final III”, IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, vol. 2, pp. 404-408.
- Ayala, L. y Cabrera, G., 1999 “Modelo de simulación hidrológica operacional, cuenca de los ríos Maipú y Mapocho”, Informe inédito de la Dirección General de Aguas.
- Bluhm, A., 1996 “Estudio de propagación y amplificación de ondas sísmicas en la cuenca de Santiago oriente con referencia al terremoto de Marzo de 1985”, Memoria de título de Ingeniero Civil Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile, 105 pp.
- Bravo, R., 1992 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica del área urbana de Santiago norte”, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Brüggen, J., 1950 *Fundamentos de la geología de Chile*, Instituto Geográfico Militar, 365 pp., Santiago.
- Corvalán, J.; Charrier, R., 1986 *Geología en el sismo de Marzo 1985*, Acero Comercial S. A., Empresa del grupo CAP, Publicación especial.
- Dragicevic, M., 1982 “Nota sobre medidas de gravedad en el sector oeste de la cuenca de Santiago, *Revista Tralka*, vol. 2, pp. 207 -221.
- Dragicevic, M., Meinardus, H., 1962 “Perfil sísmico de refracción (Pudahuel)”, inédito Instituto de Geofísica, Universidad de Chile.
- Emparán, C., 1966 “Informe geológico del pozo núm. 1 Pudahuel”, Memoria de prueba para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

- Falcon, E., Castillo, O., Valenzuela, M., 1970 *Hidrogeología de la cuenca de Santiago*, Publicación especial núm. 3, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Farias, M.; Charrier, R.; Carretier, S.; Martinod, J.; Comte, D., 2006 “Erosión versus tectónica en el origen de la Depresión Central de Chile Central”, XI Congreso Geológico Chileno, Acta I, pp. 205-208.
- IPLA Ingenieros Consultores, 1984 Proyecto Maipo, “Estudio Hidrológico e Hidrogeológico”, Comisión Nacional de Riego.
- Kausel, E., 1959 “Estudio gravimétrico de la cuenca de Santiago”, Memoria de título Escuela de Ingeniería, Universidad de Chile, 104 pp.
- Lavenu, A., Thiele, R., Cembrano, J., 1994 “Neotectónica compresiva Pliocuaternaria en la depresión central de Chile”, VII Congreso Geológico Chileno, vol. I, pp. 324-328.
- López, L., 1992 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica del sector sur de la cuenca de Santiago”, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Meinardus, H., Rivera, 1967 “Perfiles de resistividad eléctrica realizados en Las Condes”, (inédito) en Falcon *et al.*, 1970.
- Merlo, C., 2003 “Determinación de la potencia sedimentaria de la cuenca de Santiago y su posible relación con las intensidades registradas del sismo de marzo de 1985, Memoria de título de Ingeniero Civil, Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Sánchez, A., 1975 “Estudio geoeléctrico de Santiago norte, provincia de Santiago”, Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales.
- Thiele, R., 1980 *Carta geológica de Chile, Hoja Santiago*, Instituto de Investigaciones Geológicas, núm. 39, 51 pp.
- Toledo, M., 1996 “Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica y amplificación en el sector de Lo Aguirre”, Memoria de título de Ingeniero Civil. Fac. Cs. Fis. y Mat., Universidad de Chile.
- Tricart, J.; Michel, M., 1963 “Informe sobre la morfología de la cuenca de Santiago y sus relaciones con las aguas subterráneas” (inédito), Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- Urzúa, A., 1974 “Determinación del periodo fundamental de vibración del suelo”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Fac. de Cs. Fís. y Mat., Universidad de Chile.
- Varela, J., 1991 “Geología del Cuaternario de la depresión central de Chile en la zona de la cuenca de Santiago. Región Metropolitana, Chile”, VI Congreso Geológico Chileno, vol. 1, pp. 593-596.
- , *Ingeniería Sísmica*, Rodrigo Flores, 1993 El caso del sismo del 3 de marzo de 1985.
- Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P., 1999 “Mapa geológico del área Til Til Santiago, Región Metropolitana”, Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, núm. 11, mapa 1:100,000.

Observaciones gravimétricas y nivelaciones en proceso del terremoto del 3 de marzo de 1985, Chile

Manuel Araneda C.*
M.S. Avendaño**

Abstract

The March 3, 1985, central zone of Chile has been affected by recurrent earthquakes, with frequency of 82 ± 6 years, and magnitude of ~ 8.0 . All the seismic events before 1985, have been poorly report in terms of the source (length of rupture, fault displacement, areas affected by aftershocks, focal mechanism and positive and negative deformations).

The 1985, $M_s=7.8$, Central Chile earthquake is probable the best documented earthquake in Chile related with geodetic observations, variation of the tides at Valparaiso and mainly by gravity measurement surveyed of the year between 1982 and 2002.

The analysis of the data obtained between 1982 and April 1985 show that the gravity values decreased $150 \mu\text{Gal}$ in San Antonio, $75 \mu\text{Gal}$ near Algarrobo and values of gravity nearly to $5\text{-}10 \mu\text{Gal}$ in Casablanca. Another very important parameter analyzed was the leveling of the line 2F, made by the Instituto Geográfico Militar (IGM). This clearly shows a rise of 50cm in San Antonio area, 30cm nears Algarrobo and no change in around Casablanca.

The analysis of the change in the gravity, continental level and tide observations in Valparaiso during 1982-2002 seismic process, suggest that these changes indicated a balance of the strain in the 1985 earthquake process.

Key words: *Physical change, Seismology, Earthquake.*

Resumen

El 3 de marzo de 1985, la zona central de Chile fue afectada por un de los sismos que ocurren con una frecuencia de 82 ± 6 años con magnitud ~ 8.0 . Todos los eventos sísmicos anteriores al del año 1985 han sido pobremente informados en términos de los parámetros que los caracterizan (longitud de ruptura, desplazamiento de falla, área afectada por sismos precursoros, mecanismos focales, deformaciones positivas y negativas).

* SEGMI, correo electrónico: segmi@netexpress.cl

** SEGMI, correo electrónico: segmi@netexpress.cl

El terremoto de 1985 con magnitud $M_s=7.8$ ocurrido en Chile central probablemente haya sido el mejor documentado en la región, el cual junto con observaciones geodésicas, variaciones de mareas frente a Valparaíso y principalmente mediante medidas gravimétricas realizadas entre los años 1982 y mayo del 2002.

El análisis de los datos obtenidos entre los años 1982 y abril de 1985 muestra que los valores de la gravedad disminuyeron en $150 \mu\text{Gal}$ en San Antonio, $75 \mu\text{Gal}$ cerca de Algarrobo y valores de la gravedad cercanos a $5\text{-}10 \mu\text{Gal}$ en Casablanca. Otro parámetro muy importante fue el análisis de la línea de nivelación 2F realizada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), estos claramente mostraron un alzamiento de 50cm en el área de San Antonio, 30cm cerca de Algarrobo y no se observaron cambios en alrededor de Casablanca.

El análisis de los cambios de gravedad, elevación continental y observaciones de mareas en Valparaíso en el proceso sísmico 1982-2002, sugieren que este proceso indica un comportamiento de acomodo elástico en el proceso sísmico de 1985.

Plabras clave: *cambios físicos, sismología, terremotos.*

Introducción

La ocurrencia de grandes eventos sísmicos no solamente produce movimientos repentinos del suelo, al paso de las ondas sísmicas originadas en la zona de fractura, si no que también se producen cambios geodésicos que pueden ser permanentes o tener una conducta semi-elástica. Los cambios permanentes en algunos casos pueden ser observados directamente sin ayuda de instrumental. Por ejemplo el terremoto del año 1960 en Chile causó grandes cambios permanentes en la costa entre la península de Arauco y Taitao, entre ellos se pueden anotar alzamientos entre 4 y 6 metros en las islas Guamblin y Guafo y hundimientos de alrededor de 2 metros en el área de Valdivia.

Se tiene conocimiento que los grandes terremotos históricos en la zona central de Chile se registraron a partir del año 1575. Posteriormente se registraron grandes terremotos en los años 1647, 1730, 1822, 1906; y el más reciente ocurrido en el año 1985. Este último fue precedido en su extremo norte de su región de ruptura por un terremoto $M_s=7.5$ en 1971 (Barrientos, 1997). Esta ocurrencia de 82 ± 6 años fue observada por Nishenko (1985), pero la longitud de ruptura, anchos y desplazamientos difieren por un factor 2 y aún más. Esto también se puede observar en las deformaciones históricas producidas en la zona central de Chile. Estos desplazamientos verticales históricos han sido observados en el borde costero y en los escurrimientos de aguas en desembocaduras de ríos y esteros por observadores aficionados. El terremoto de marzo de 1985 fue uno de los más informados debido a conocimiento previo que se tenía de potencial sísmico en la zona central de Chile (Kelleher, 1972; Nishenko, 1985, entre otros), información de registro de

movimientos fuertes, análisis de ondas superficiales, determinación de los precursoros, observaciones geodésicas, nivelaciones y principalmente observaciones gravimétricas, que revelaron una longitud de ruptura de ~160km en la orientación nortesur con un deslizamiento máximo de 35 metros (Christensen y Ruff, 1986; Barrientos, 1988; Choy y Dewey, 1988; Araneda *et al.*, 1989).

En este trabajo se muestra una secuencia de medidas de gravedad realizadas en la línea de nivelación 2F establecida entre San Antonio y Casablanca, aún cuando la gravedad se prolongó más al sur y norte de la zona estudiada. Esta secuencia de medidas se ha realizado cada 5 años, siendo la primera el año 1982, fecha en que fue establecida la línea 2F. Las medidas posteriores fueron: en los años 1985 un mes después del sismo, 1990, 1995, y 2002. También se muestran las variaciones de altura según nivelaciones precisas, realizadas por el Instituto Geográfico Militar en los años 1982, 1985 y 2002. La Figura 1 muestra la ubicación de los levantamientos costeros observados y todas las consideraciones tomadas en cuenta en el estudio del sismo del 3 de marzo de 1985.

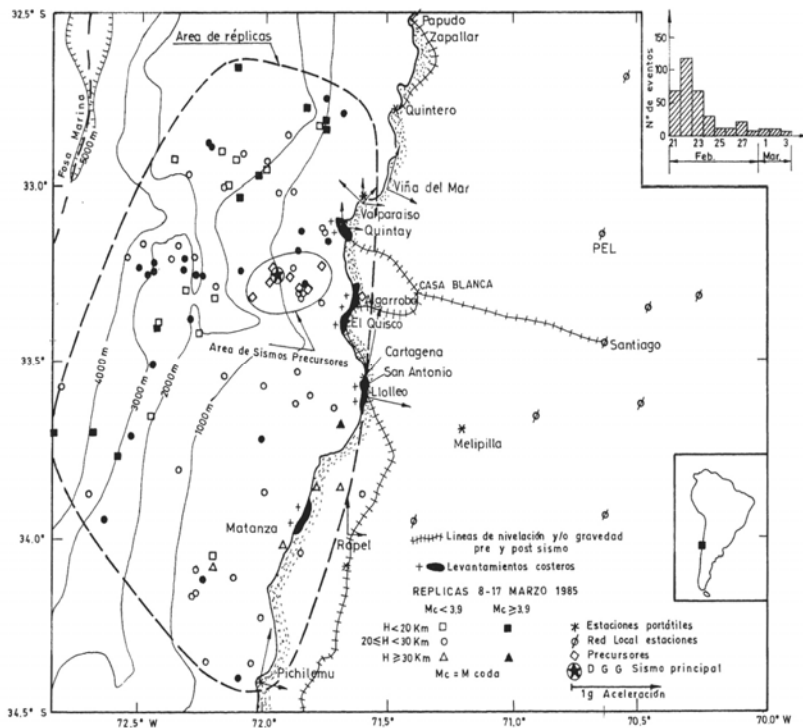


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Área de sismos precursoros y réplicas, figura tomada de Comte *et al.* (1986) modificada por Kausel (1986).

Deformaciones históricas en el área

La zona estudiada se encuentra ubicada en uno de los segmentos del territorio de Chile en que periódicamente se producen sismos de gran magnitud, cada 82 ± 6 años según Nishenko (1985), zona que por su cercanía a centros poblados es la más informada. Las primeras observaciones de levantamientos costeros asociados a los sismos de la zona central provienen de los ocurridos en los años 1822 y 1906, ambos de observaciones realizadas por personas que habitaban en los lugares afectados (Graham, 1924; Lomnitz, 1971).

Los levantamientos producidos por el sismo de 1822 fueron informados por Graham (1924) y Darwin (1851). La primera información indica que en Valparaíso hubo un levantamiento de 1.2m y en Quintero de 0.9m. El segundo informa sobre variaciones de cota en el sector de la desembocadura del río Rapel que no cuantifica. Con estos antecedentes, Barrientos y Kausel (1990), estimaron que la zona de ruptura estuvo comprendida entre 32°S y 34°S . La magnitud del sismo fue estimada en $M_s=8.5$ y la intensidad en Santiago en VII a VIII (Lomnitz, 1971).

En el sismo de 1906 fueron observados levantamientos en la costa del orden de 40 a 80cm entre Llico y Los Vilos, es decir entre las latitudes 32°S a 34°S . En Valparaíso Lomnitz (1971) estimó un levantamiento de 60cm. La magnitud fue determinada en $M_s=8.6$ y la intensidad observada en Santiago del orden de VIII. Es importante notar que hasta el terremoto de 1906 las observaciones han sido solamente puntuales y estimadas por observadores aficionados.

El terremoto de marzo de 1985

El sismo del 3 de marzo de 1985 de magnitud $M_s=7.8$ e intensidad media en Santiago de VII corresponde al último terremoto con epicentro costa afuera, frente a Valparaíso, Figura 1.

Este terremoto fue precedido por una serie de sismos precursores que se iniciaron el 21 de febrero de 1985. En total se registraron aproximadamente 360 sismos entre el 21 al 28 de febrero. Todos fueron ubicados en una zona de 50km x 50km costa afuera entre Valparaíso y Algarrobo. El epicentro del evento principal dado por el National Earthquake Information Center (NEIC) de USA corresponde a 33.13°S con 71.87°O . La profundidad fue determinada por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y corresponde a $H=17\text{km}$. El área del plano de falla se estimó en 170km x 100km con una pendiente de 25° hacia el Este (Comte *et al.*, 1986).

Las deformaciones semipermanentes experimentadas por la superficie terrestre, especialmente del fondo marino produjeron un pequeño maremoto registrado en el mareógrafo de Valparaíso, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada

de Chile (SHOA) informó que el agua subió aproximadamente 2 metros en el sector de Quintay, Figura 1.

Análisis de observaciones físicas

Nivel del lago Rapel

En el lago artificial de Rapel ubicado al sur de la zona epicentral, Figura 1, con una extensión de 27km de largo se mantiene 2 limnógrafos uno en cada extremo (medidores del nivel de agua) cuyo registro fue continuo por más de 10 años. Estas medidas proporcionaron antecedentes de la inclinación de la cuenca del lago durante ese tiempo, el cual incluye el intervalo en que se produjo el evento de 1985 (Figura 2).

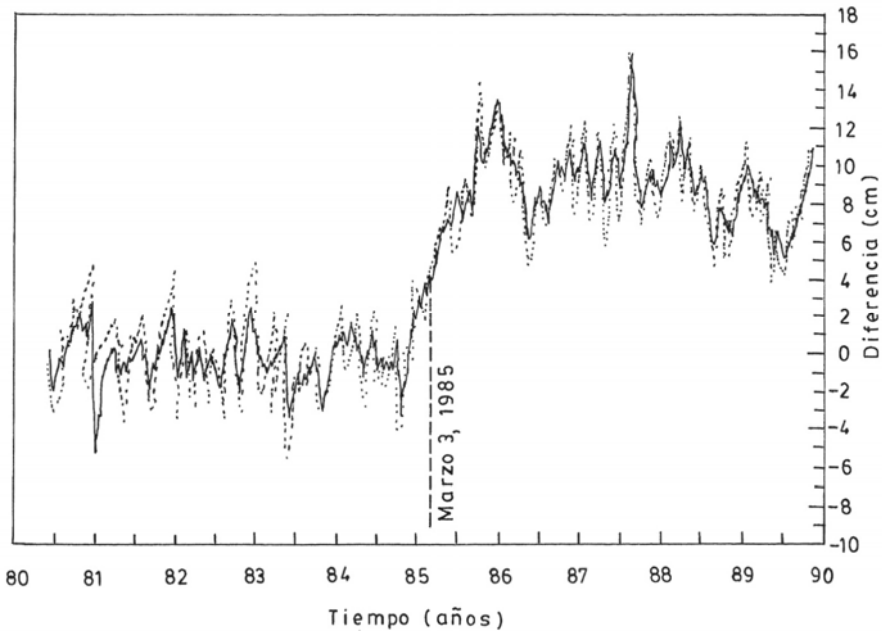


Figura 2. Diferencia de nivel del agua en los limnógrafos (línea punteada) y valores medios en 30 días (líneas continuas) en el lago Rapel. La línea vertical muestra la fecha en que ocurrió el terremoto principal (Barrientos, 1997).

El análisis realizado por Barrientos (1997), indica características de la inclinación del lago que dependen del tiempo. Estas características son las siguientes:

a) hay una oscilación semejante alrededor de la línea base de aproximadamente 3cm la que también corresponde a la desviación estándar de los promedios diarios, b) no se observaron cambios en la diferencia en los limnógrafos en el tiempo que transcurrió el terremoto, por lo tanto el lago estaría ubicado en una región en que la inclinación “cosísmica” es nula. Esto es dificultoso para modelar independientemente como se mostrará más tarde, c) después del terremoto una diferencia progresivamente más grande en la inclinación comenzó a desarrollarse gradualmente como una función del tiempo.

Las diferencias positivas que se produjeron en el extremo noroeste del lago, se interpretan como alzamiento de borde con respecto al extremo sureste. El transiente de la inclinación se produce entre 8 y 10 meses, alcanzando una amplitud de 120mm aproximadamente, d) un ligero decaimiento de la señal de los limnógrafos la cual oscila en un periodo de un año, es observada. La posibilidad de la iniciación de la anomalía antes de la ocurrencia del terremoto merece un mayor análisis particularmente en el sentido de que ocurrieron una serie de precursores, dos semanas antes del terremoto principal (Barrientos, 1997).

Nivel del Mar

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) que mantiene las estaciones mareográficas en las costas chilenas proporciona sus registros entre los años 1965-1975 y 1982-1992. Estas observaciones presentan algunos patrones mostrados por las diferencias de nivel del lago. Todas las observaciones fueron referidas a un punto fijo en un afloramiento rocoso cercano a la costa de Valparaíso. Según Barrientos (1997) se pueden reconocer tres situaciones diferentes en la señal (Figura 3).

- periodo pre-sísmico con un valor de 33cm con una desviación media de 10cm,
- un periodo post-sísmico del orden de 10 meses de duración en el cual el nivel del mar se encuentra a 82cm esto es casi 50cm sobre el nivel pre-sísmico y
- se observa un régimen estable el cual indica una suave disminución del nivel del mar relativo a la costa o que la costa se mueve con signo opuesto a aquel que fue observado en estado cosísmico.

Como conclusión, Barrientos (1997) observa una correlación entre las señales de los limnógrafos del lago Rapel y los cambios de nivel en Valparaíso. La Figura 4 registra esta correlación con una superposición de las señales.

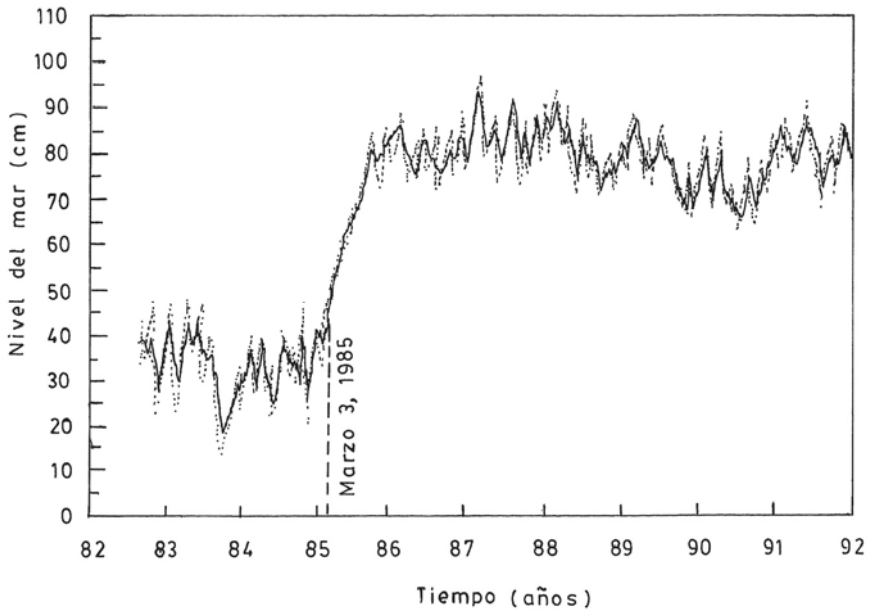


Figura 3. Valores diarios del nivel medio del mar en Valparaíso (líneas punteadas) y promedios de 30 días (líneas continuas). La línea vertical muestra la fecha en la cual ocurrió el terremoto principal (Barrientos, 1997).

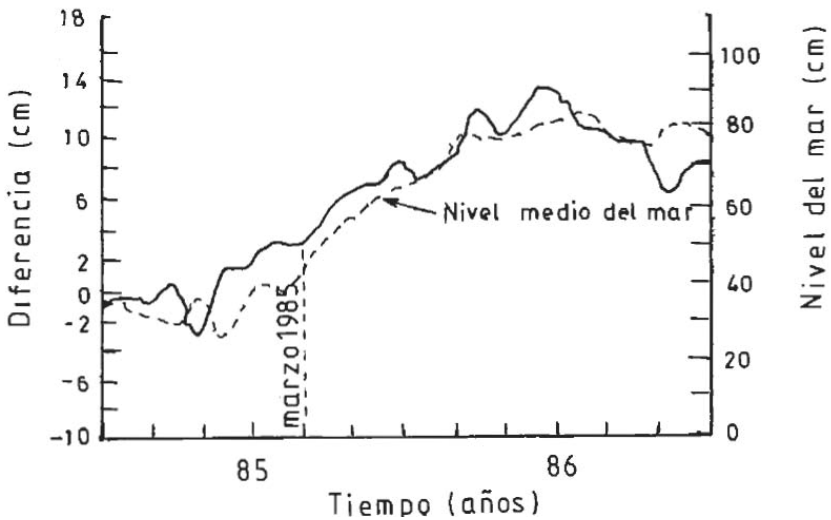


Figura 4. Vista ampliada de 2 años de registros en el lago Rapel y nivel medio del mar (Barrientos, 1997).

En el sector de Las Cruces, lugar costino donde se ubica una estación del Instituto de Investigaciones Marinas se observó una masiva muerte de organismos intermareales asociados al cambio del nivel del mar después del terremoto del 3 de marzo de 1985 (Castilla, 1988). Posteriormente las áreas afectadas fueron invadidas por nuevas especies. El sollevamiento promedio en la costa de dicha área fue estimado en 0.33m. Su extensión podría expandirse hacia el norte y sur de la estación experimental en alrededor de 15 a 20km.

Nivelaciones

Campañas de nivelaciones realizadas por el Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM) entre San Antonio y Casablanca (Línea de nivelación 2F) en los años 1981, 1985 y cuatro meses después de ocurrido el terremoto, muestran un alzamiento de 0.5m en la costa, cerca de la ciudad de San Antonio y una subsidencia de aproximadamente 10cm al interior del continente, a una distancia de 60km hacia el este de la ciudad de Casablanca. Éste último sector aparece como el punto 0, donde no se producen deformaciones. Es decir, de los alzamientos de la costa pasan a subsidencias al interior del territorio. Las líneas de nivelación corresponden a nivelaciones de 1er orden de $3l^{1/2}$ mm en la cual l es distancia acumulativa desde un origen arbitrario, usualmente uno de los extremos de la línea Bonford (1971).

Posteriormente en mayo del 2002 se realizó una nueva campaña de nivelación en la misma línea (2F) con los mismos estándares de las medidas anteriores. Los resultados muestran un descenso de las alturas del orden de 12cm en la costa entre San Antonio y Algarrobo. A partir de esta ciudad los valores comienzan a disminuir hasta alcanzar valores entre 2 y 3cm en la ciudad de Casablanca respecto a los valores de la nivelación realizada posterior al terremoto de 1985. Las variaciones de altura en esta última campaña indican una evolución de la deformación durante aproximadamente 15 años. La Figura 5 muestra las variaciones de alturas registradas en los años 1985 y 2002.

Observaciones de gravedad

Las medidas de gravedad fueron realizadas mediante dos gravímetros Lacoste Romberg modelo G. La base estable de referencia fue la estación ubicada en Cerillos, Santiago. (IGSN 44030K), véase Figura 1. El proceso de la información de gravedad toma en cuenta las diferencias individuales entre las observaciones y sus correspondientes amarres, obteniéndose un set de diferencias que tienen una desviación estándar de 15mGal. En el ajuste de los datos se utilizó el Software de ajuste de redes gravimétricas de McConnell *et al.*, 1977.

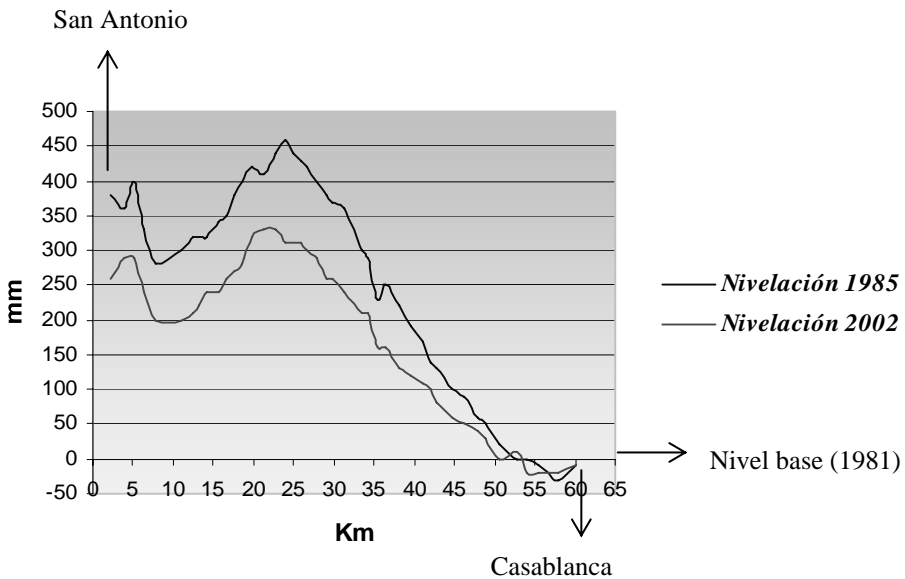


Figura 5. Variación de altura registrada en los años 1985 y 2002, tomando como referencia el año 1981 respecto al terremoto de marzo de 1985.

Observaciones gravimétricas realizadas cada 5 años entre San Antonio y Casablanca fueron en los años 1982-1983, abril 1985, diciembre de 1990, noviembre 1995 y mayo del 2002, (Araneda, Avendaño, 1991). Las variaciones de gravedad calculadas y las variaciones de altura están estrechamente correlacionadas. En efecto el método de reducciones de las observaciones gravimétricas a cambios de elevación está basado en la minimización de errores bajo los procedimientos de mínimos cuadrados. El factor de escala para transformar diferencias de gravedad a cambios de elevación fue similar al inverso de la corrección de aire libre (0.3086mgal/m). Este valor fue usado para deducir las observaciones post-sísmicas para los periodos correspondientes. Estos valores van revelando una subsidencia sistemática del levantamiento cosísmico en la región. La Figura 6 muestra la secuencia de las medidas de gravedad realizadas en el tiempo muestran un aumento de la gravedad con el tiempo. Las medidas realizadas en el año 2002 prácticamente tienen una variación muy pequeña con respecto a la campaña anterior del año 1995.

Conclusiones

Diez años de medidas continuas del nivel del mar en Valparaíso y de la inclinación del Lago Rapel, 17 años de medidas gravimétricas precisas cada 5 años en el tramo

San Antonio-Casablanca y dos campañas de nivelación posterior al terremoto de 1985, han permitido mostrar la evolución de la deformación entre San Antonio y Casablanca en función del tiempo. Estas observaciones pueden proporcionar antecedentes adicionales, que en su justa medida, pueden utilizarse para determinar la zona de ruptura de un evento sísmico.

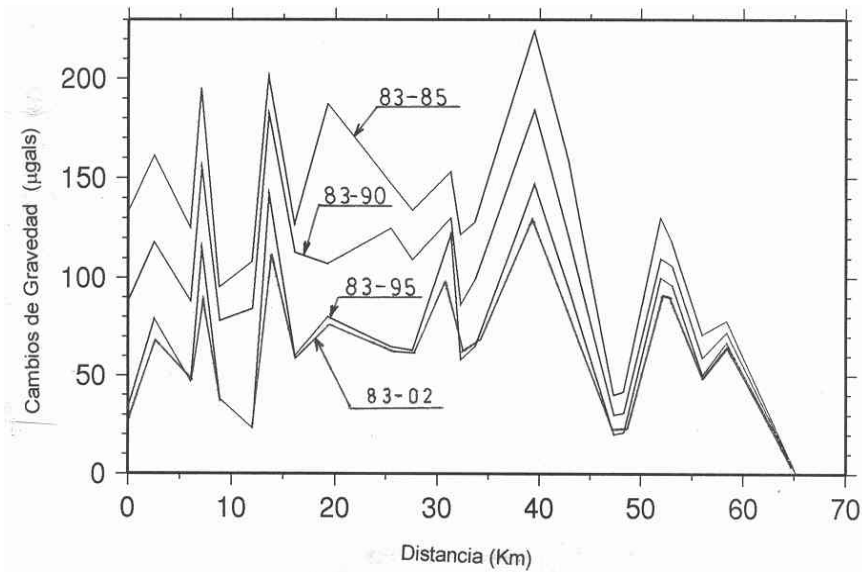


Figura 6. Variación de gravedad en el tiempo.

Las variaciones de gravedad calculadas asociadas a deformaciones muestran una tendencia bien marcada que se correlaciona de buena forma con las nivelaciones de 1er orden realizadas por el IGM.

La correlación de la información de nivelación, gravedad y mareas obtenidas en el tiempo nos permiten conocer variables físicas que pueden ayudar a entender mejor el proceso sísmico del terremoto del 3 de marzo de 1985, además de poder realizar comparaciones con las deformaciones observadas en los terremotos históricos en la región, véase Tabla 1.

Otro fenómeno importante digno de comentar del terremoto de marzo de 1985 es su comportamiento postsísmico el cual se acerca a un proceso de acomodo ya que la deformación producida por el terremoto vuelve casi a su estado inicial (antes del terremoto). Este conocimiento nos permite postular que éste sismo es especial ya que normalmente los grandes sismos producen deformaciones permanentes o combinación de levantamiento y hundimiento de la estructura cortical. Lo ideal sería conocer cambios físicos superficiales que se producen antes de un evento

sísmico como nivel freático, sismicidad, variaciones de altura y coordenadas (GPS), gravedad, resistividad, magnetismo, estudio de deformaciones mediante satélite que se producen antes de un evento sísmico, los cuales se producen en un lapso de tiempo muy pequeño difícil de cuantificar.

Tabla 1

<i>Terremoto</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Intensidad media en Santiago</i>	<i>Deformación Costera (m)</i>
1822	8.5	VII - VIII	1.2 – 0.9 estimaciones Graham-Darwin
1906	8.2	VIII	0.4 - 0.8 estimaciones Lomnitz 0.2 - 0.5 nivelación-gravedad IGM,
1985	7.8	VII	Araneda M., Avendaño M.S.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al señor Carlos Mendoza por mejorar el manuscrito, al Instituto Geográfico Militar por su contribución al desarrollo del trabajo en terreno, así como a la Empresa SEGMI por la colaboración en el proceso de la información y al señor Rolando Barozzi.

Referencias

Araneda M., Avendaño M. S. y Kausel E., 1989, “Determinación de los parámetros del terremoto del 3 de Marzo de 1985 a partir de la distribución de deformaciones superficiales”, 5a Jornada Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 1, pp. 303-310.

Araneda M. and Avendaño M. S., 1991, *Gravity variations in Central Chile*, in Torge W. Ed. Recent Geodetic and gravimetric research Latin America, pp. 176-183, Springer Verlag, Berlin.

Barrientos S., 1988, “Slip distribution of the 1985 Central Chile earthquake”, *Tectonophysics* 145, pp. 225-241.

Barrientos S., 1997, *Central Chile: An example of quasi-static crustal behavior, the island Arc* 6, pp. 281-287.

Bonford G., 1971, *Geodesy*. Oxford University Press, London.

Castilla J., 1988, “Earthquake-Caused coast uplift and its on a effects on rocky intertidal help communities”, *Science* 242, pp. 440-442.

Comte D., Eisemberg A., Lorca E., Pardo M., Ponce L., Saragoni R., Singh S. K. and Suarez G., 1986, “The 1985 Chile Central earthquake: A repeat of previous great earthquake in the region”, *Science* 233, pp. 449-453.

- Christensen D. and Ruff, L., 1896, "Rupture process of the March 3, 1985 Chilean earthquake", *Geophysical Research Letters* 13, pp. 721-724.
- Choy G. and Dewey J., 1988, "Process of an extended earthquake sequence: Teleseismic analysis of the Chilean earthquake of March 3, 1985", *J. Geophys. Res.* 93, pp. 1103-1118.
- Darwin C., 1851, *Geological observation on coral reefs, volcanic islands and on South America. Being the geologist of the voyage of Beagle, under the command of Captain Fitz Roy R.N. during the years 1832-1836*, London, 768 p.
- Graham M., 1924, "An account of some effects of the late earthquake in Chile", *Trans. Geol. Soc.*, London, 2nd. Serv., 1, pp. 43-415.
- Kausel E., 1986, *Proceso sísmico, parámetros focales y replicas del sismo del 3 de marzo, 1985*, El sismo del 3 de marzo de 1985, Editado por Acero Comercial S.A., pp. 31-42.
- Kelleher J., 1972, "Rupture zones of large South American Earthquakes and some predictions", *J. Geophys. Res.* 77, pp. 2097-2103.
- Lambert A., Bower D., 1991, "Constraints on the usefulness of gravimetry for detecting precursory crustal deformation", *Tectonophysics*, 193, pp. 369-375.
- Lomnitz C., 1971, "Grandes terremotos y tsunamis en Chile durante el periodo 1535-1955", *Geofísica Panamericana*, vol. 1, pp. 151-178.
- McConnell K., Winter J. and Geller F., 1977, "Red Latinoamericana de normalización de gravedad 1977 (RELANG77)", *Herat Physics Branch*, Ottawa, Canada.
- Nishenko S., 1985, "Seismic potential for large and great interplate earthquakes along the Chilean and southern Peruvian margin of South America: A quantitative reappraisal", *J. Geophys. Res.* 90, pp. 3589-3615.

Análisis de la predicción de precipitaciones mediante correlaciones canónicas en el NE de Argentina

Omar V. Müller*
Norberto O. García**

Abstract

The forecast of the climate variability is of vital importance for the economy of an agricultural and livestock zone like Northeast of Argentina. Numerous research studies demonstrate that the extreme variation of precipitation in South America, like precipitation excess and droughts, are related to El Niño or La Niña events. Other works show the influence of the Atlantic temperatures on the variation of precipitation in some South American regions.

The goal of the present work is the application and evaluation of the predictive capacity of a statistical method of long-term forecast of precipitation over northeastern Argentina, based on the sea surface temperature over south Pacific Ocean and the south Atlantic Ocean. The method consists of the canonical correlation analysis of empirical orthogonal functions of the fields of sea surface temperatures and precipitation. Then, an analysis of real possibilities of the statistical prediction over the zone of interest is performed through the forecast of humid, normal and dry periods.

The correlations show that the best results are obtained for spring and summer. In particular, the prediction of wet periods stands out when Pacific Ocean temperatures are used, due to their general link to the occurrence of an El Niño event in the previous months. Dry summers can be adequately forecast using the Atlantic Ocean temperatures. That is, the statistical prediction is useful only for certain seasons of the year. Nevertheless, for these seasons, the method can estimate the conditions with 5-7 months in advance.

Key words: *Statistical Prediction, Principal Components, Canonical Correlations, Seasonal Forecast, Teleconnection.*

* Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, correo electrónico: omuller@atmos.umd.edu

** Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina, correo electrónico: ngarcia@unl.edu.ar

Resumen

La previsión de la variabilidad climática es de vital importancia para la economía de una zona agrícola-ganadera como la región del Nordeste de Argentina. Numerosas investigaciones demuestran que las variaciones extremas de precipitación en Sudamérica, tales como excesos de precipitación y sequías, están relacionadas a eventos El Niño o La Niña. Otros trabajos muestran la influencia de las temperaturas del Atlántico en las variaciones de precipitación en algunas regiones de Sudamérica.

El objetivo del presente trabajo es la aplicación y evaluación de la capacidad predictiva de un método estadístico de pronóstico de precipitaciones a largo plazo sobre el Nordeste de Argentina, a partir de las temperaturas de superficie del océano Pacífico Sur y el océano Atlántico Sur. El método consiste en el análisis de correlaciones canónicas de funciones ortogonales empíricas de los campos de temperaturas de superficie del mar y precipitación. Luego, se realiza un análisis de las posibilidades ciertas de la predicción estadística en la zona de interés, mediante el estudio de los pronósticos para periodos húmedos, normales y secos.

Las correlaciones muestran que los mejores resultados se obtienen para primavera y verano. Particularmente, se destaca la predicción de periodos húmedos cuando se utilizan las temperaturas del océano Pacífico, debido a que en general están asociados a la ocurrencia de un evento El Niño en los meses previos. Los veranos secos tienen un pronóstico adecuado utilizando las temperaturas del océano Atlántico. Es decir, la predicción estadística resulta útil sólo para ciertas estaciones del año. No obstante, en dichas estaciones el método logra estimar las condiciones con 5 a 7 meses de antelación.

Palabras claves: *Predicción estadística, componentes principales, correlaciones canónicas, pronóstico estacional, teleconexión.*

Introducción

La región sudeste de Sudamérica es una de las más importantes de América del Sur desde el punto de vista económico y social, principalmente con un fuerte flujo de productos agropecuarios, y una alta integración entre los países que la conforman. La ocurrencia de sequías e inundaciones es un problema serio y recurrente en esta región. Por lo tanto, la previsión de variaciones climáticas es esencial para la vida y economía de la región. Contar con un sistema de pronóstico estacional, que logre una correcta estimación de variaciones de precipitación (por ejemplo, sequías o excesos de humedad), resulta fundamental en la toma de decisiones para el manejo de recursos socioeconómicos y la mitigación de los impactos provocados por dichos eventos.

Algunas investigaciones (Ropelewski y Halpert 1986, 1989; Barnston y Ropelewski, 1992), marcan una relación entre el El Niño/Oscilación Sur (ENSO, del inglés *El Niño/Southern Oscillation*) y la variabilidad de precipitación en diferentes regiones alrededor del mundo, pero fundamentalmente en zonas de Sudamérica. Particularmente, se encontró teleconexión entre fases extremas del índice de oscilación sur y el sudeste de Sudamérica (Berry y otros, 2002; Ropelewski y Halpert, 1987). Otros trabajos (Yoon y Zeng, 2009; Diaz y otros, 1998) muestran la teleconexión existente entre el océano Atlántico y las anomalías de precipitación observadas en diferentes áreas de Sudamérica. Como se desprende de los trabajos mencionados, las teleconexiones se verifican para algunas estaciones del año y para algunas regiones en particular.

Este trabajo se enfoca en la aplicación y evaluación de la capacidad de pronóstico de un método estadístico de pronósticos de precipitaciones a largo plazo en la región Nordeste de Argentina (NEA). Para tal fin, se utiliza una variable macroclimática como la temperatura de superficie de los océanos Pacífico y Atlántico Sur y la precipitación observada en la zona de interés. El método se basa en un filtrado de datos mediante funciones ortogonales empíricas (EOF, del inglés *Empirical Orthogonal Functions*) y un posterior análisis de correlaciones canónicas (CCA, del inglés *Canonical Correlation Analysis*) para identificar secuencias de patrones de comportamiento en ambos conjuntos multivariados (Repelli y Nobre, 2004). Luego, se seleccionan aquellas correlaciones que se consideran relevantes y se las evalúa en periodos húmedos, normales y secos.

Datos y métodos

Descripción de los datos

Para la aplicación del método de pronóstico basado en correlaciones canónicas, se utiliza un campo predictor denominado SST, que contiene valores mensuales de temperaturas de superficie del mar con un espaciado de grilla de 2° en latitud y longitud, para el periodo 1951-2002. El conjunto de datos comprende la región delimitada por los 30°N a 40°S y 150°E a 16°E, considerando los 70°O como línea divisoria entre el océano Pacífico y el Atlántico (Figura 1a). Al utilizar este dominio se tiene representación de áreas oceánicas de relevancia en la modulación de precipitaciones en Sudamérica tales como la zona de convergencia intertropical (ITCZ, del inglés *Intertropical Convergence Zone*), la zona de convergencia del Pacífico Sur (SPCZ, del inglés *South Pacific Convergence Zone*) y la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ, del inglés *South Atlantic Convergence Zone*). Los datos se

obtuvieron de la serie global mensual reconstruida extendida ERSST v2 (Smith y Reynolds, 2004).

El campo predictando denominado PRE, contiene los valores mensuales de precipitación para el mismo periodo en la región comprendida entre los 25.25°S a 34.75°S y 64.25°O a 52.75°O, correspondientes al NE de Argentina, Uruguay, parte del sur de Brasil y sur de Paraguay (Figura 1b). Los datos se extrajeron de la serie global CRU TS 2.1 (Mitchell y otros, 2003) que tiene una resolución de 0.5° en latitud y longitud.

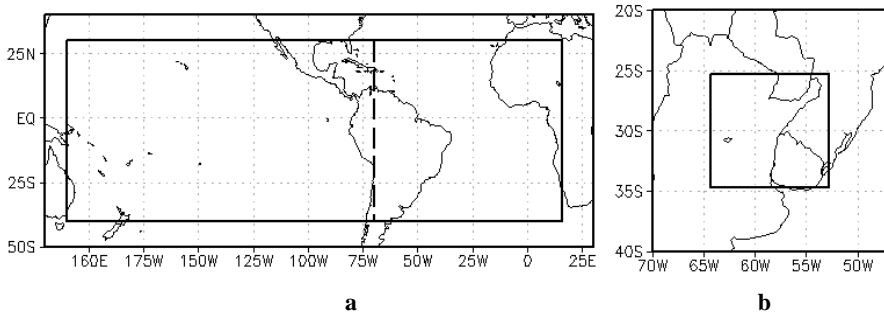


Figura 1. Ubicación geográfica de la región utilizada como: a) campo predictor (SST), b) campo predictando (PRE).

En ambos casos los datos se dividen en dos periodos. El periodo comprendido entre 1951 y 1980, denominado periodo de *entrenamiento*, se utiliza para estructurar o parametrizar el modelo; y el periodo que va de 1981 a 2002, llamado periodo de *prueba*, se retiene para evaluar el modelo y comprobar su nivel de confianza.

Descripción general del método

El método propuesto consta tres etapas fundamentales:

- La primera etapa realiza el filtrado de los campos de SST y PRE mediante EOF. Se calculan las anomalías eliminando el ciclo anual y se estandarizan, se computan las funciones ortogonales de los campos en estudio, y se truncan reteniendo la cantidad de modos tal que la varianza explicada sea mayor o igual a un porcentaje de varianza fijado arbitrariamente. Así, se obtiene una descripción compacta de la variabilidad espacial y temporal de series de datos en términos de funciones ortogonales o *modos* estadísticos.
- En la etapa dos se aplica CCA, correlacionando cada trimestre de PRE con los trimestres anteriores de SST utilizando diferentes retardos o desfases (lags)

sin superposición temporal entre predictor y predictando. Por ejemplo como se muestra en la Figura 2, el trimestre JJA se correlaciona con los periodos MAM, FMA, ..., JAS que lo anteceden (retardo de 3, 4, ... y 11 meses respectivamente). Obtenidos los resultados, se retienen aquellas correlaciones que superen umbrales predeterminados.

- En la última etapa, se evalúa el modelo en el periodo que se separó para *prueba*. Es decir, se hacen las predicciones para aquellas correlaciones que se seleccionaron en el paso anterior y se calcula el error de predicción. Con estos resultados se interpretan las correlaciones estudiadas, determinando cuáles se pueden considerar como válidas.

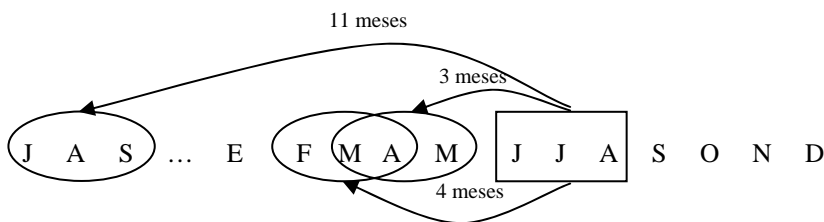


Figura 2. Ejemplo de relacion temporal entre predictando y predictores. Un trimestre de PRE (JJA) se correlaciona con los nueve trimestres que lo anteceden de SST (MAM, FMA, ..., JAS).

Filtrado mediante EOF

El análisis EOF o de componentes principales (PCA, del inglés *Principal Component Analysis*) reduce un conjunto de datos con gran número de variables a un conjunto de datos con pocas variables llamadas funciones ortogonales o componentes principales. Estas nuevas variables son combinaciones lineales de las originales, y son elegidas de manera que representen la mayor fracción posible de variabilidad contenida en los datos originales. Además, este método evita que el modelo sobrestime información de los campos, dificultando el pronóstico cuando estos varíen. Es decir, se filtra el ruido de baja intensidad.

Usualmente, la mayor varianza de las series de tiempo espacialmente distribuidas se mantiene en las primeras funciones ortogonales retenidas. Luego, el cómputo de CCA, que implica la inversión de matrices y solución del problema de autovalores resulta simple y rápido. El análisis EOF está ampliamente desarrollado en la bibliografía (von Storch y Navarra, 1993; Wilks, 2006) y no será discutido en este artículo.

Este proceso se aplica sobre las anomalías de ambos campos, predictor¹ y predictando. Cada campo contiene las series de tiempo de la variable para todos los puntos de grilla que cubren cada dominio. Dado que no interesa retener el ciclo anual de la variable, porque concentra la mayor variabilidad en el primer modo, se trabaja con las anomalías estandarizadas de cada campo excluyendo el ciclo anual. Las anomalías se calculan utilizando el ciclo anual medio para el periodo 1971-2000 y normalizando con el desvío estándar (del ciclo anual medio) para el mismo periodo. Luego, se realiza el análisis usando la matriz de covarianza que tiene la ventaja de identificar o aislar las variaciones más fuertes en un conjunto de datos (Yu y otros, 1997).

Existen diferentes criterios para determinar cuantos *modos* deben ser retenidos, pero no hay un consenso generalizado sobre el más adecuado. En este trabajo se utiliza un criterio subjetivo pero comúnmente usado que consiste en retener las componentes principales o *modos* EOFs que explican una fracción suficiente de la varianza del campo original (Wilks, 2006). En particular se retienen los *modos* que representen al menos el 70% de la variabilidad del campo correspondiente.

Predicción mediante CCA

Una vez filtrados los campos predictor y predictando según PCA, los modos retenidos se usan como entrada al CCA. Este método es usado para encontrar una combinación lineal de variables en dos conjuntos de datos que optimizan la correlación temporal (Del Sole y Chang, 2003). En el caso de estudio, los campos ya filtrados se representan con S y P correspondientes a SST y PRE respectivamente del periodo de *entrenamiento*.

Existen numerosos trabajos con la descripción del método (von Storch y Zwiers, 1999; Wilks, 2006). A continuación se explica el método según el desarrollo planteado por Venegas 2001. El enfoque elegido detalla el procedimiento en forma matricial, de manera tal que facilita la comprensión y la programación del procedimiento resulta directa.

Dadas las matrices de datos S y P de dimensiones $N \times K_S$ y $N \times K_P$ respectivamente, donde N es el número de pasos de tiempo y K_S y K_P el número de *modos* retenidos en el análisis EOF para cada campo, se forman las matrices de covarianza según

$$C_{SS} = S^T S, \quad C_{PP} = P^T P, \quad C_{SP} = S^T P \quad [1]$$

¹ Por simplicidad y a los fines de generalizar los conceptos se habla de un campo predictor. Pero en la práctica se trabaja con tres campos predictores: uno con las SSTs del Atlántico, otro con las SSTs del Pacífico y otro con las SSTs de los dos océanos.

Luego se forma la matriz Q_S como combinación de las tres,

$$Q_S = C_{SS}^{-1}C_{SP}C_{PP}^{-1}C_{SP}^T \tag{2}$$

resultando Q_S de dimensión $K_S \times K_S$. Se determina el conjunto de vectores canónicos U_S y U_P que optimizan la correlación entre S y P mediante la ecuación del problema de autovectores y autovalores

$$Q_S U_S = U_S R \tag{3}$$

$$U_P = C_{PP}^{-1}C_{SP}^T U_S \tag{4}$$

donde U_S es de dimensión $K_S \times K_S$, U_P de $K_P \times K_S$ y R es la matriz de correlaciones canónicas que se obtiene de ordenar los autovalores y autovectores en orden descendente de autovalores

$$R = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \rho_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \rho_{K_S} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Los coeficientes de correlación canónica temporales (CCC, del inglés *Canonical Correlation Coefficients*) g_S^k y g_P^k , con $k = 1 \dots K$, son las columnas de las matrices G_S y G_P derivadas de

$$G_S = S U_S \tag{6}$$

$$G_P = P U_P \tag{7}$$

donde G_S de dimensión $N \times K_S$.

Finalmente, si se calcula G_S con los valores del campo predictor filtrado correspondientes al periodo de *prueba*, se puede escribir la ecuación de predicción en el espacio canónico como

$$\tilde{G}_P = G_S R \tag{8}$$

y obtener un campo comprimido de precipitación pronosticada antitransformando \tilde{G}_P con U_P

$$\tilde{P} = \tilde{G}_p (U_p^{-1})^T \quad [9]$$

siendo \tilde{P} de dimensión $N \times K_p$. Es decir, calculados y ordenados los autovectores en U_p a partir de los campos separados para el *entrenamiento*, se computa G_s con la ecuación (6) utilizando las SSTs para el periodo de *prueba* y se estima el campo de temperaturas para el periodo de *prueba* con la ecuación (9).

Hasta aquí se tiene un campo de anomalías de precipitación pero comprimido, dado que el CCA se realizó con los campos filtrados. Para obtener el campo de precipitaciones pronosticadas \tilde{Z} de dimensiones originales, esto es, de $N \times M$ donde N son los pasos de tiempo y M los puntos de grilla se descomprime con

$$\tilde{Z} = \tilde{P} E_p^T \quad [10]$$

donde E_p es la matriz reducida de autovectores de dimensión $M \times K_p$ que se obtiene al realizar el análisis EOF.

Evaluación de predicciones

La evaluación de una predicción en un determinado periodo, se utiliza para corroborar la capacidad del pronóstico realizado sobre la variable de interés, en comparación con el valor observado en dicho periodo. Se debe tener en cuenta que en cualquier modelo, su eventual buen grado de ajuste respecto a periodos históricos no garantiza una buena capacidad predictiva respecto al futuro. Una hipótesis implícita en cualquier método de predicción, es que el valor observado de la variable de interés, se obtiene como suma de un patrón y un término aleatorio, admitiendo que aún cuando se logre identificar el modelo adecuado es habitual que exista cierto desvío entre el valor predicho y el observado. El objetivo de un método de previsión es minimizar tal desviación.

Como se explicó en la sección anterior, una vez aplicado CCA se obtiene el campo de anomalías pronosticado con la ecuación [10]. A este campo se le aplica el proceso inverso al cálculo de anomalías explicado en la sección *Filtrado mediante EOF*. Es decir, se desnormaliza multiplicando por el desvío estándar y sumando el ciclo anual para cada estación.

Asumiendo que O es el campo de precipitaciones observado y Z el campo pronosticado, ambos evaluados en los M puntos de grilla del dominio y T pasos de tiempo, se calcula el error porcentual absoluto medio para un mes determinado t_i con $i = 1, 2, \dots, T$ del periodo de *prueba* a partir de

$$\varepsilon = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \frac{o_m(t_i) - z_m(t_i)}{\mu_m(t_j)} \right| \times 100 \tag{11}$$

donde $m = 1, 2, \dots, M$ indica el punto de grilla, t_j con $j = 1, 2, \dots, 12$ indica el mes en el ciclo anual correspondiente al mes t_i y $\mu_m(t_j)$ es el valor medio de precipitaciones en el punto de grilla m para el mes t_j del ciclo anual.

Este error está expresado en términos de porcentaje y tiene la virtud de relativizar las magnitudes al normalizar con μ , evitando así inconvenientes con cambios de escala que podrían generarse, por ejemplo, si se consideran las anomalías.

Marco experimental

Diseño de los experimentos

Como se mencionó anteriormente, se busca evaluar un método de pronóstico de anomalías de precipitación para la región NE de Argentina, en base a las SSTs del Pacífico y el Atlántico. Los datos del periodo 1951-1980 (360 meses) se retienen para analizar las correlaciones en lo que se conoce como etapa de *entrenamiento*, quedando el periodo 1981-2002 conocido como etapa de *prueba* para la evaluación de las correlaciones seleccionadas.

Para los experimentos se utilizan tres campos de SSTs diferentes, que varían de acuerdo al dominio que cubren. El campo denominado S_A de dimensión 360×1043 contiene los datos del océano Atlántico, el campo S_P de dimensión 360×2426 cubre el océano Pacífico y S_{AP} de dimensión 360×3469 contiene las anomalías de temperatura del Pacífico y el Atlántico en su conjunto. Por otro lado el campo de precipitaciones P es de 360 meses \times 477 puntos de grilla en el NEA. Notar que las dimensiones mencionadas corresponden a pasos de tiempo \times puntos de grilla para la etapa de *entrenamiento*.

Con estas matrices se hace el análisis EOF reteniendo los modos que representen más del 70% de la variabilidad de cada conjunto de datos y luego se buscan las mejores correlaciones entre los distintos trimestres de SST y PRE mediante el análisis de CCA. De la totalidad de los resultados, se exponen sólo aquellos que hayan obtenido los mínimos errores y que se consideren relevantes. Es decir, se seleccionan las teleconexiones de importancia y que tienen sentido físico. Luego, se utilizan estas correlaciones con los parámetros que ajustan el modelo para evaluar con los datos de la etapa de *prueba*. Aquí, se calculan los errores y se analizan las teleconexiones seleccionadas para periodos con diferentes condiciones de precipitación observada en la región de pronosis: exceso de precipitación,

sequía o condiciones de precipitación normal. Este análisis permite determinar bajo que condiciones el modelo utilizado resulta útil en la región de interés y cual es el nivel de confianza del método. Vale destacar que se realizaron correlaciones con datos bimestrales y mensuales de SST y PRE, pero los resultados fueron de baja calidad por lo que se descarta su desarrollo.

Resultados

Realizada la totalidad de las correlaciones se seleccionan aquellas que obtienen los mejores valores de correlación y los menores errores de predicción en el periodo de *prueba*. Es decir, aquellas correlaciones en donde los primeros dos autovalores de la matriz de correlación superan un umbral: $\rho_1 > u_1$ y $\rho_2 > u_2$. Los umbrales u_1 y u_2 se determinan empíricamente. La Tabla 1 muestra las correlaciones seleccionadas para cada campo de SST (S_A , S_P y S_{AP}), los modos retenidos en el análisis de EOF y el error promedio para dicha correlación en todos los años de *prueba*.

Tabla 1
Correlaciones seleccionadas

<i>Océanos Pacífico y Atlántico ($\rho_1 > 0.89$, $\rho_2 > 0.84$)</i>					
<i>Predictor</i>	<i>Modos</i>	<i>Predictando</i>	<i>Modos</i>	<i>Retardo (meses)</i>	<i>Error (%)</i>
OND	13	SON	5	11	32.2
DEF	13	SON	5	9	30.5
ASO	13	EFM	5	5	29.4
<i>Océano Atlántico ($\rho_1 > 0.84$, $\rho_2 > 0.80$)</i>					
<i>Predictor</i>	<i>Modos</i>	<i>Predictando</i>	<i>Modos</i>	<i>Retardo (meses)</i>	<i>Error (%)</i>
FMA	7	DEF	5	10	24.2
MAM	7	DEF	5	9	23.4
AMJ	7	DEF	5	8	23.7
<i>Océano Pacífico ($\rho_1 > 0.80$, $\rho_2 > 0.75$)</i>					
<i>Predictor</i>	<i>Modos</i>	<i>Predictando</i>	<i>Modos</i>	<i>Retardo (meses)</i>	<i>Error (%)</i>
NDE	9	SON	5	10	33.1
DEF	9	SON	5	9	33.3
EFM	9	SON	5	8	33.8
MJJ	9	DEF	5	7	32.7
JJA	9	DEF	5	6	29.0
JJA	9	NDE	5	5	28.9

Como se observa existen algunos trimestres de PRE que tienen buena correlación con trimestres sucesivos de SST. Esto puede indicar que periodos más largos que un trimestre de temperaturas del mar condicionan los valores de precipitación para una estación determinada. Por ejemplo, la precipitación en primavera² tiene buena correlación con los trimestres anteriores de OND y DEF de temperaturas del Pacífico y el Atlántico. Esto significa que las temperaturas del mar entre octubre y febrero influyen en las precipitaciones ocurridas durante la primavera del NEA. De las correlaciones con las temperaturas del Pacífico, se observa un comportamiento similar, donde las temperaturas de noviembre a marzo modulan la precipitación en primavera. Otra estación que registra buenas correlaciones es el verano (DEF). Por ejemplo, las temperaturas de febrero a junio del Atlántico sirven para pronosticar DEF.

Para el caso del Pacífico, la tabla muestra una situación ambigua. Por un lado las temperaturas de mayo a agosto se muestran aptas para pronosticar DEF, y por otro lado las temperaturas de junio, julio y agosto sirven para pronosticar NDE. En las pruebas siguientes se tratará de identificar si sólo una de las dos opciones es válida o si en realidad la ambigüedad no es tal y las temperaturas de mayo a agosto influyen sobre las precipitaciones del periodo completo, desde noviembre a febrero.

En las Tablas 2 y 3 se muestran los errores obtenidos (en %) para las correlaciones seleccionadas. En la última fila de estas tablas se muestra el promedio de errores μ para todos los años. Notar que el año que figura en la primera columna corresponde al mes central del trimestre de precipitaciones en el NEA. Por ejemplo en la relación OND-SON de la Tabla 2 el año 1982 de la segunda fila se refiere al trimestre SON. Es decir las precipitaciones de SON de 1982 en el NEA son pronosticadas con las SSTs del trimestre OND del año anterior (1981). Esto explica la falta de valores en algunas relaciones del año 1981 en los casos que las SSTs no pertenezcan a ese año, sino al anterior 1980, cuyos datos están fuera del periodo de prueba.

De la Tabla 2 se destaca el pronóstico de precipitaciones de verano (DEF) a partir de las temperaturas de febrero a junio del Atlántico. En muchos años estas correlaciones tienen un error inferior al 25%, inclusive algunas menores al 20% como 1982, 1991, 1992, 1995, 2000 y 2001. Cuando se combinan las temperaturas de los dos océanos se observa en general errores de mayor magnitud, aunque se destaca la predicción de lluvias de primavera (SON) para los años 1984, 1989, 1992 y 1996. Por otro lado la previsión de lluvias para EFM tiene errores por debajo del 20% en los años 1982, 1983, 1985, 1987, 1995 y 1997.

² Primavera considerando las estaciones en el Hemisferio Sur.

Tabla 2
Errores de predicción en el periodo de prueba

Año	<i>Pacífico y Atlántico-NEA</i>			<i>Atlántico-NEA</i>		
	<i>OND-SON</i>	<i>DEF-SON</i>	<i>ASO-EFM</i>	<i>FMA-DEF</i>	<i>MAM-DEF</i>	<i>AMJ-DEF</i>
1981	—	41.6	—	—	—	—
1982	37.5	37.2	17.0	13.3	16.9	15.5
1983	28.1	27.4	19.7	24.7	24.4	23.8
1984	25.0	25.2	35.2	39.7	42.0	41.0
1985	27.1	37.4	19.3	26.4	22.7	22.3
1986	28.2	29.5	22.2	21.5	15.6	15.8
1987	31.4	27.3	17.2	21.9	19.2	27.3
1988	33.4	22.3	35.2	22.5	19.0	19.6
1989	22.8	24.9	36.7	32.5	27.0	19.6
1990	30.2	21.6	33.8	19.3	21.1	23.9
1991	26.5	31.1	35.1	17.0	18.7	18.8
1992	21.8	18.2	36.5	19.0	19.6	20.0
1993	26.0	26.1	32.7	17.8	19.8	20.6
1994	30.2	16.4	36.9	38.6	36.1	29.6
1995	30.0	30.8	17.8	14.9	19.6	19.3
1996	18.4	20.9	38.8	15.2	14.3	18.9
1997	41.9	42.2	12.4	14.9	15.0	17.1
1998	34.3	22.3	29.2	47.2	52.1	54.5
1999	53.7	38.2	34.7	29.3	25.9	27.7
2000	37.3	38.7	32.7	17.9	17.0	17.7
2001	61.3	44.4	32.2	16.7	17.8	15.9
2002	30.7	48.0	43.1	37.0	27.6	28.4
μ	32.2	30.5	29.4	24.2	23.4	23.7

En la Tabla 3 se observa que la predicción de primavera (SON) con los datos de noviembre a marzo del Pacífico tiene en general errores mayores a 25%. La mejor previsión de verano la logra la última correlación (JJA-NDE) con los años 1981, 1986, 1988 y 1998 por debajo del 20% de error de predicción y varios años por debajo de 25% de error.

Seleccionadas y analizadas las correlaciones de mejor desempeño, se eligen estaciones de años particulares con diferentes características de precipitación en la región del NEA, con el fin de graficar los mapas de precipitación observada y pronosticada y analizar el comportamiento del método ante la ocurrencia de eventos de distinta característica. Particularmente se eligen periodos de primavera y verano que es donde se encontraron las mejores correlaciones SST-PRE. En base a las anomalías de precipitación que se observan en la Figura 3 y a la experiencia de

ocurrencia de eventos extremos en la región se eligen los siguientes periodos: SON de 1993 (exceso de lluvia), SON de 1994 (precipitación normal) y SON de 1988 (sequía); DEF de 1983 (precipitación en exceso), DEF de 1992 (régimen de lluvias normales) y DEF del 2000 (déficit de precipitación). A continuación se analiza el comportamiento de la predicción durante las estaciones mencionadas mediante mapas de precipitación.

Tabla 3
Errores de predicción en el periodo de prueba

<i>Pacífico-NEA</i>						
<i>Año</i>	<i>NDE-SON</i>	<i>DEF-SON</i>	<i>EFM-SON</i>	<i>MJJ-DEF</i>	<i>JJA-DEF</i>	<i>JJA-NDE</i>
1981	—	29.3	28.4	—	—	19.3
1982	41.9	46.4	38.6	28.4	25.3	30.9
1983	21.8	27.9	48.4	22.4	22.9	44.1
1984	31.9	23.2	20.3	35.8	34.1	28.7
1985	30.3	28.6	30.5	53.8	50.1	25.0
1986	42.0	50.4	45.9	13.3	19.4	15.7
1987	20.8	26.8	29.0	15.8	22.9	22.9
1988	35.0	24.9	21.0	35.8	29.6	17.8
1989	24.2	43.4	37.0	65.1	54.7	22.9
1990	29.2	28.4	27.5	20.9	22.6	29.1
1991	33.3	28.2	22.7	22.5	23.5	20.9
1992	27.0	21.8	30.2	32.9	19.6	28.3
1993	26.3	24.2	25.3	27.9	19.2	28.5
1994	25.9	16.3	16.1	32.6	23.6	25.1
1995	28.5	27.0	23.2	29.9	14.1	21.6
1996	20.5	22.8	23.9	31.1	25.7	25.4
1997	42.9	34.2	29.4	22.0	19.4	43.9
1998	20.5	20.9	33.0	38.7	29.4	17.8
1999	50.1	38.1	31.3	70.5	53.9	38.2
2000	28.0	39.1	45.8	35.6	37.3	44.2
2001	59.3	62.5	68.4	28.5	33.0	21.8
2002	55.6	67.4	67.8	23.6	26.3	64.9
μ	33.1	33.3	33.8	32.7	28.9	29.0

Pronóstico de primavera

Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los pronósticos obtenidos para primaveras de diferente comportamiento en cuanto a lluvias a partir de las SSTs del Pacífico y del Pacífico y el Atlántico en su conjunto.

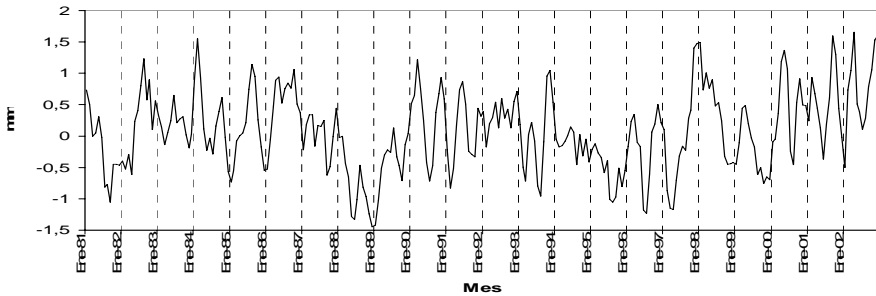


Figura 3. Anomalías estandarizadas de precipitación mensual durante el periodo de prueba en la región del NEA.

La predicción para el año 1993 (Figura 4) logra identificar el máximo ocurrido en la parte del dominio correspondiente al sur de Brasil, con centro en 29°S, 54°O. Los dos pronósticos tienen una disminución gradual de las lluvias hacia el oeste de la región. Esta característica también se reproduce en las observaciones, pero con una distribución más irregular de las isolíneas. Además de la similitud del patrón de precipitaciones, los valores pronosticados se asemejan a lo observado. Para el año 1994 (Figura 5) el pronóstico a partir de temperaturas del Pacífico reproduce con eficiencia las formas y valores de precipitación observados. El pronóstico con temperaturas de los dos océanos produce una sobreestimación de lluvias sobre el Este. Por último las predicciones para la primavera de 1988 (Figura 6) son muy similares entre si y logran estimar el patrón de comportamiento de las lluvias pero tienen diferencias de precipitación acumulada para el trimestre que varían entre 75 y 150mm para todo el dominio.

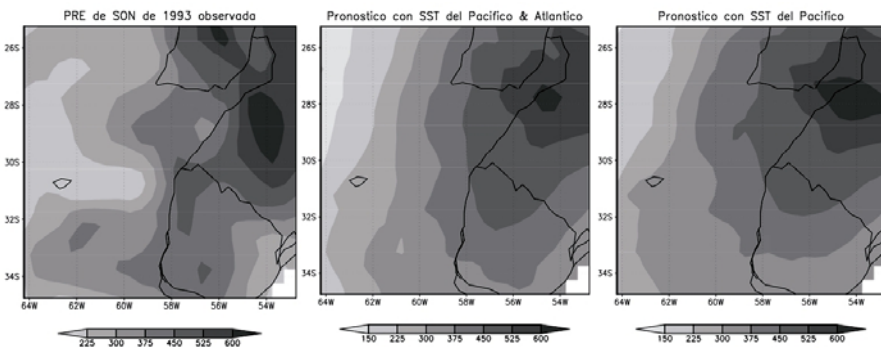


Figura 4. Precipitación observada y pronósticos para SON de 1993. Trimestre con lluvias intensas por encima de los valores medios de la estación.

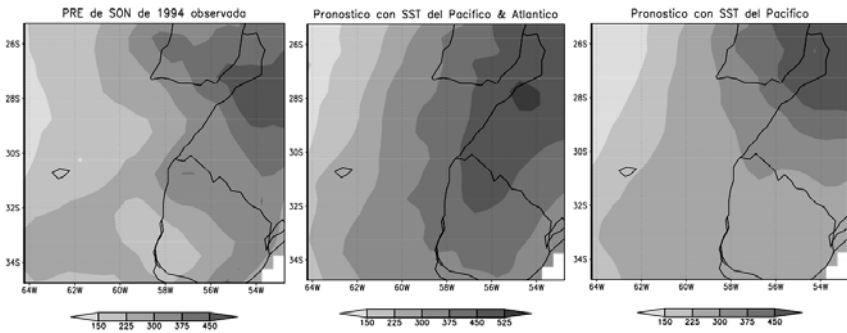


Figura 5. Precipitación observada y pronósticos para SON de 1994. Periodo con registro de precipitaciones normales.

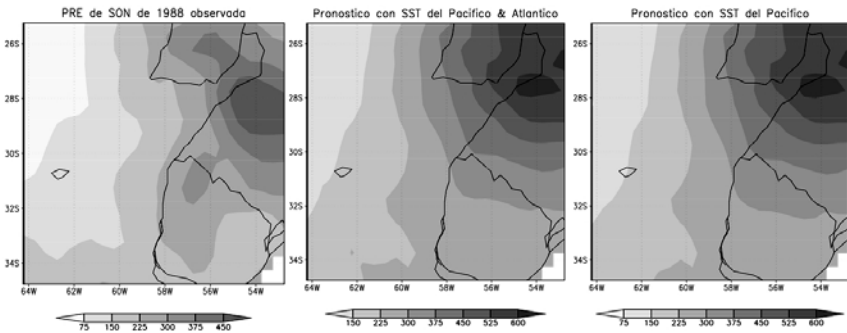


Figura 6. Precipitación observada y pronósticos para SON de 1988. Estación con una marcada sequía al NO de la región.

Pronóstico de verano

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran los pronósticos obtenidos para veranos con distintas condiciones de precipitación a partir de las SSTs del Atlántico y las del Pacífico.

El verano de 1983 registró intensas precipitaciones al NE del dominio debido a la ocurrencia de un evento El Niño en el Pacífico ecuatorial desde comienzos de 1982 a mediados de 1983. Es por esto que al utilizar las temperaturas del Pacífico el pronóstico se asemeja mejor a lo ocurrido, con lluvias intensas al NE del dominio y con mínimas hacia el sur de Uruguay (Figura 7). Los pronósticos para 1992 de la Figura 8 muestran pocas variaciones en todo el dominio, hecho que contrasta con lo observado, que presenta precipitaciones máximas sobre el NE que disminuyen gradualmente hacia el Oeste y el Sur. El déficit de precipitaciones del verano del 2000 (Figura 9) es mejor representado cuando se utiliza el Atlántico, donde se refleja correctamente la sequía ocurrida en Uruguay.

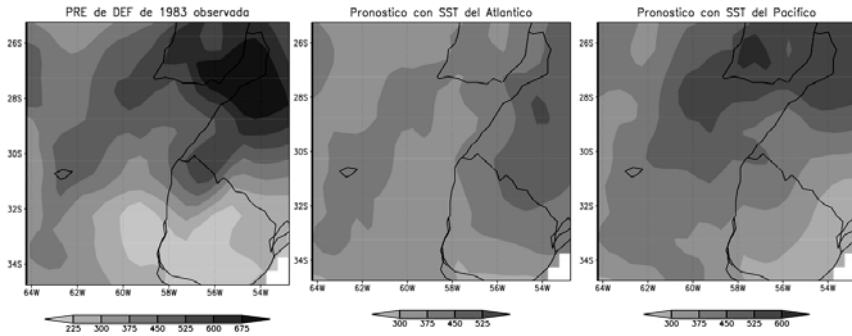


Figura 7. Precipitación observada y pronósticos para DEF de 1983. Este verano se caracterizó por un exceso de precipitaciones en el NEA y sur de Brasil que produjeron inundaciones en la ciudad de Santa Fe (Argentina) por desborde del río Paraná.

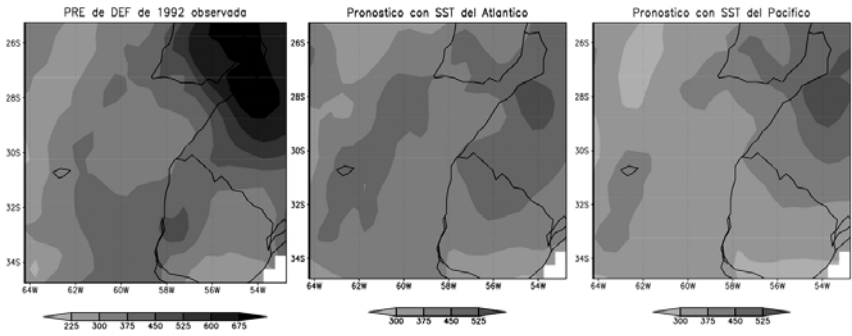


Figura 8. Precipitación observada y pronósticos para DEF de 1992. Trimestre con un régimen de precipitaciones normales para verano.

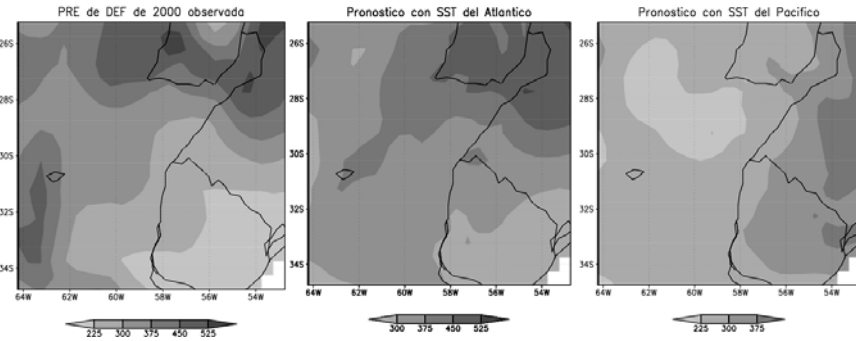


Figura 9. Precipitación observada y pronósticos para DEF del 2000. Periodo seco.

Conclusiones

El trabajo presenta un método para la predicción estacional de precipitaciones sobre la región Nordeste de Argentina basado en herramientas estadísticas como EOF y CCA. Para los pronósticos se utilizaron las SSTs de los océanos Atlántico y Pacífico Sur que rodean Sudamérica y se analizó que influencia tiene cada uno sobre la región de interés.

De acuerdo a los valores de correlación y al análisis de los resultados, el modelo logra predicciones razonables, con un error que oscila el 25%, para las estaciones de primavera y verano del Hemisferio Sur. Particularmente se encontró buena correlación para la primavera usando las SSTs de octubre a febrero del Pacífico y el Atlántico y de noviembre a marzo utilizando sólo las temperaturas del Pacífico. Por su parte, el verano puede ser estimado con las SSTs de febrero a junio del Atlántico o de mayo a julio del Pacífico.

Según se analizó en las figuras, los periodos húmedos de DEF de 1983 y SON de 1993 son bien pronosticados con las temperaturas del océano Pacífico, que también sirvió como predictor de primaveras con precipitación media como la de 1994. Respecto a periodos secos, el Atlántico funciona como predictor de veranos secos como en el año 2000. La primavera seca de 1988 no fue correctamente pronosticada.

El trabajo demuestra que se puede tener una estimación de ambas estaciones con un error probable de 25% con 5 a 7 meses de antelación mediante un modelo de escaso costo computacional. Esto constituye una herramienta importante en una región netamente agrícola-ganadera.

En futuros trabajos se seguirá investigando éstas y otras técnicas de predicción, que demuestran cierta potencialidad como una herramienta útil en el pronóstico de precipitaciones a largo plazo; teniendo en cuenta que la región en estudio carece de trabajos en tal sentido.

Agradecimientos

Se agradece las sugerencias a los anónimos revisores que hicieron posible la mejora del borrador original. Este trabajo fue solventado por ANCYT-Universidad Nacional del Litoral, Argentina gracias al proyecto PICTO-UNL 07-13219.

Referencias

Barnston A. G. y Ropelewski C. F., 1992, "Prediction of ENSO Episodes Using Canonical Correlation Analysis", *Journal of Climate*, 5(11), 1316-1345.

- Berry G. J., Ghietto M. A. y García N., 2002, "The Influence of ENSO in the Flows of the Upper Paraná River of South America over the Past 100 Years", *Journal of Hydrometeorology*, 3(1), 57-65.
- Diaz A. F., Studzinski C. D. y Mechoso C. R., 1998, "Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans", *Journal of Climate*, 11, 251-271.
- Del Sole T. y Chang P., 2003, "Predictable Component Analysis, Canonical Correlation Analysis, and Autoregressive Models", *Journal of the Atmospheric Sciences*, 60(2), 409-416.
- Mitchell T. D., Carter T., Jones P., Hulme M. y New M., 2003, "A Comprehensive Set of Climate Scenarios for Europe and the Globe", *Tyndall Centre Working Paper* 55.
- Repelli C. y Nobre P., 2004, "Statistical Prediction of Sea-Surface Temperature over the Tropical Atlantic", *International Journal of Climatology* 24(1), 45-55.
- Ropelewski C. F. y Halpert M. S., 1986, "North American Precipitation and Temperature Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO)", *Monthly Weather Review* 114, 2352-2362.
- , 1987, "Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation", *Monthly Weather Review* 115, 1606-1626.
- , 1989, "Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation", *Journal of Climate* 2, 268-284.
- Smith T. M. y Reynolds R. W., 2004, "Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997)", *Journal of Climate* 17, 2466-2477.
- Venegas S. A., 2001, "Statistical Methods for Signal Detection in Climate", *Report #2 of DCESS*. University of Copenhagen, Denmark.
- von Storch H. y Navarra A., 1993, "Chapter 13: Spatial Patterns: EOFs and CCA", *Analysis of Climate Variability*, Ed. Springer, 227-257.
- von Storch H. y Zwiers F., 1999, "Chapter 14: Canonical Correlation Analysis", *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press, 293-315.
- Wilks D. S., 2006, "Chapter 11: Principal Component (EOF) Analysis. Chapter 12: Canonical Correlation Analysis (CCA)", *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences 2° Edition*, Academic Press, 463-508.
- Yoon J-H y Zeng N., 2009, "An Atlantic Influence on Amazon Rainfall", *Climate Dynamics* 34, 249-264.
- Yu Z., Chu P. y Schroeder T., 1997, "Predictable Skills of Seasonal to Annual Rainfall Variations in the U.S. Affiliated Pacific Islands: Canonical Correlation Analysis and Multivariate Principal Component Regression Approaches", *Journal of Climate* 10(10), 2586-2599.

Análisis Morfotectónico de la Isla Puerto Rico, Caribe

Mario Octavio Cotilla Rodríguez*
Diego Córdoba Barba*

Abstract

Puerto Rico is a relatively small sub aerial exposure of the Greater Antilles Arc. New morphotectonic analyses indicate that Puerto Rico is an emergent and tectonically active macroblock at the northeast edge of the Caribbean-North American plate boundary. The delimited macroblock is asymmetric from the morphotectonic point of view, and consists of a northern mesoblock and a southern mesoblock. The northern mesoblock is larger and more tectonically active. The northern and southern mesoblocks include a total of 18 blocks, 31 microblocks and 55 nanoblocks. Ten major lineaments and 83 lineament intersections, 12 of which are the principal intersections, are identified within the northern and southern mesoblocks. The principal intersections are the most tectonically active part of the studied area, and indicate fault segmentation, block rotation and low seismic activity. All the quantitative and qualitative information and cartographic materials are on a GIS.

Key words: *Caribbean, morfotectonics, Puerto Rico.*

Resumen

Puerto Rico, la menor en cuanto a superficie territorial de las islas del arco de las Antillas Mayores, es un macrobloque emergido y activo del extremo nordeste de la zona límite de placas litosféricas Caribe-Norteamérica, por la metodología morfotectónica aplicada. El macrobloque delimitado es asimétrico desde el punto de vista morfotectónico y en su taxonomía incluye dos mesobloques, Septentrional y Meridional. El mesobloque Septentrional es el mayor y donde la actividad resulta ser significativamente más importante. Estas dos unidades territoriales incluyen un total de 18 bloques, 31 microbloques y 55 nanobloques. Entre las estructuras delimitadas se distingue un conjunto de 10 morfoalineamientos principales y un total de 83 intersecciones, pero sólo 12 de ellas se clasifican como intersecciones principales. Estas últimas son las áreas más activas del territorio y justifican la segmentación de

* Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica 1, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.

las fallas, la rotación de las estructuras y la actividad sísmica de baja energía. Toda la información, cuantitativa y cualitativa, y los esquemas y mapas obtenidos están en un SIG.

Palabras clave: *Caribe, morfotectónica, Puerto Rico.*

Introducción

Las investigaciones realizadas en el campo morfotectónico con la metodología de Rantsman (1979) en los últimos años han estado dirigidas al Caribe Norte (Figura 1A), concretamente a sus islas. En este sentido están los siguientes resultados de: 1) la parte occidental de Cuba (Díaz, 1985), 2) la parte oriental de Cuba (Hernández *et al.*, 1990), 3) La Española (Cotilla *et al.*, 2007, 1997), 4) Cuba (González *et al.*, 2003), 5) Jamaica (Cotilla y Córdoba, 2009). Así que sólo resta en esa relación Puerto Rico [PR] y éste resulta ser ahora nuestro objetivo (Figura 1B). Además, con todo este terreno recorrido es posible realizar una comparación, breve y objetiva, de las características morfotectónicas de las distintas zonas estudiadas.

Se puede asegurar que los métodos estructuro-morfoestructurales permiten determinar el carácter diferenciado de la evolución neotectónica de las morfoestructuras de un territorio y del desarrollo heterogéneo de sus complejos morfoestructurales, hasta la determinación en el relieve, de los elementos estructuro-tectónicos y de las deformaciones de los niveles geomorfológicos (incluidas las superficies de planación). De esa forma es factible delimitar tres importantes conjuntos bajo un prisma morfoestructural: 1) las unidades territoriales [UT] o unidades morfoestructurales, 2) los elementos lineales o alineamientos (morfoalineamientos), que son los límites principales de las UT, 3) las intersecciones de esos alineamientos. Evidentemente, todos ellos están interrelacionados y jerárquicamente organizados.

Alekseevskaya *et al.* (1977) demostraron que el conocimiento morfoestructural es muy importante para el estudio de muchos problemas geofísicos y de hecho Cotilla y Córdoba (2003) lo comprobaron en Galicia. También con el análisis morfoestructural se pueden elaborar criterios interdisciplinarios para la determinación de las zonas de mayor probabilidad de ocurrencia de terremotos fuertes (Bhatia *et al.*, 1992; Chigariov, 1977; Gorshkov *et al.*, 2009, 2004; Krestnikov, 1979; Krestnikov *et al.*, 1992; Liu *et al.*, 1999; Zhidkov *et al.*, 1975). Así se ha puesto de manifiesto la existencia del sistema morfoestructura —movimientos tectónicos recientes— sísmicidad (Dumitrashko y Lilienberg, 1954; Gorielov *et al.*, 1973) y definido la estructura general de una investigación morfoestructural (Cotilla *et al.*, 1997). Sin embargo, éste no es el objetivo del trabajo, ya que esas zonas sismoactivas principales están, para el caso de PR, en la zona marítima (Clinton *et al.*, 2006; Cotilla *et al.*, 1997A).

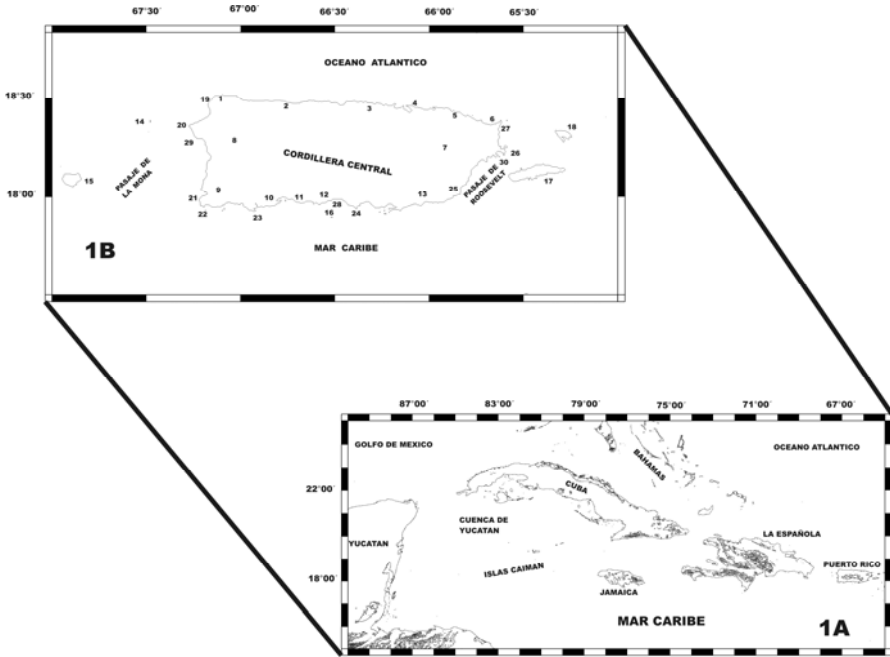


Figura 1A. Esquema de las Antillas Mayores.

Aparecen las islas: 1= Cuba, 2= Jamaica, 3= La Española, 4= Puerto Rico

Figura 1B. Puerto Rico.

Aparecen las: A) localidades (1= Aguadilla, 2= Arecibo, 3= Bayamón, 4= San Juan, 5= Carolina, 6= Fajardo, 7= Caguas, 8= Mayagüez, 9= Guánica, 10= Guayanilla, 11= Playa de Ponce, 12= Ponce, 13= Guayama); B) islas (14= Desecheo, 15= La Mona, 16= Caja de Muertos, 17= Vieques, 18= Culebra); C) puntas (19= Borinquen, 20= Higüero, 21= Melones, 22= Jagüey, 23= Brea, 24= Petrona, 25= Quebrada Honda, 26= Puerca, 27= Gorda, 28= Carenero, 29= Cadena, 30= Algodones).

La actualidad y la validez de las investigaciones morfotectónicas está, con este enfoque, sustentada y demostrada con los siguientes resultados: Alekseevskaya *et al.* (1977), Arzovsky y Hadzievsky (1970), Assinovskaya y Solovyev (1994), Bhatia *et al.* (1992), Cisternas *et al.* (1985), Cotilla y Córdoba (2009, 2009a, 2004, 2004a, 2003), Cotilla *et al.* (2007, 2004), Gatinsky y Rundquist (2004), Gorshkov *et al.* (2009, 2004, 2000), Guerasimov (1973, 1946), Guerasimov y Rantsman (1973), Gvishiani *et al.* (1987), Hernández *et al.* (1990), Rantsman (1979, 1961), y Schenkova *et al.* (1995). Es importante indicar que en ninguno de estos trabajos se ha pretendido encontrar elementos de la dinámica de placas y de la evolución geotectónica regional. Por lo que tampoco ése será objetivo en el presente trabajo.

PR (Figura 1B) es un archipiélago que incluye a las siguientes islas: Caja de Muertos, Culebra, Desecheo, Mona, PR, y Vieques; aunque se le conoce al conjunto como isla de PR por ser la mayor, y así nos referiremos aquí. Las características físico-geográficas de PR pueden localizarse en Abbad (1970), y Picó (1975). En este sentido es posible conocer que PR es una isla del nordeste del Caribe y uno de los cuatro componentes del arco de las Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, La Española, y PR) (Figura 1A). Su superficie territorial, para una Figura rectangular en el sentido latitudinal, es de 9,104 km². Ella tiene una longitud de ~178km y un ancho de ~64km. Su relieve se caracteriza por ser de tipo montañoso, que ocupa ~40% de su superficie. Las elevaciones más importantes están en la Cordillera Central (Cerro de la Punta con 1,338m y Monte Jayuya con 1,310m). El resto de la superficie son 35% de alturas y 25% de llanuras. La línea de costa tiene 501km de longitud y poca sinuosidad. Su localización espacial es al este de la República Dominicana (parte oriental de La Española) y al oeste de las Islas Vírgenes, en los 18°15'N y 66°30'O.

Geología y tectónica

Datos sobre la geología y la tectónica de PR se encuentran en los siguientes trabajos: Berkey (1915), Bunce y Fahlquist (1962), Burke *et al.* (1984), Briggs y Akers (1965), Byrne *et al.* (1985), Calais *et al.* (2002), Case y Holcombe (1980), Case *et al.* (1984), Deng y Sykes (1995), Dolan *et al.* (1998), Dixon *et al.* (1998), Horsfield (1975), Jansma *et al.* (2000); Kaye (1959), Ladd *et al.* (1990), Larne y Ryan (1990), Larue (1994), Lewis y Drapper (1990), Mann y Burke (1984), Mann *et al.* (2002, 1995, 1984a), Masson y Scanlon (1991), Meyerhoff (1933), Mitchell (1954), Molnar y Sykes (1969), Monroe (1980, 1980a, 1976), Moussa *et al.* (1987), Müller *et al.* (2000), Rona (1980), Schwab *et al.* (1991), Speed y Larue (1991), Stein *et al.* (1988), Sykes *et al.* (1982), Taber (1922), van Gestel *et al.* (1999, 1998), Westbrook *et al.* (1973), y Zapp *et al.* (1948).

PR, desde el punto de vista tectónico, está ubicada en la placa del Caribe (Figura 2A), concretamente en el extremo nortoriental. En su entorno hay dos importantes fosas oceánicas al Norte la homónima (-8,340m) que la separa del Océano Atlántico y al Sur la fosa de Muertos (~-5,600m), en el Mar Caribe. La primera tiene una edad aproximada de 100Ma, y también se caracteriza por altos valores negativos de anomalías de aire libre de la gravedad (-380mGal). En la fosa de Muertos hay una ligera subducción de la corteza oceánica de la cuenca de Venezuela bajo la región La Española-PR. En el arco de las Antillas Menores, al este de PR, se ha determinado un nítido perfil de subducción (Westbrook *et al.*, 1973). Al norte de PR está la placa de Norteamérica que también subduce, pero en la fosa de PR.

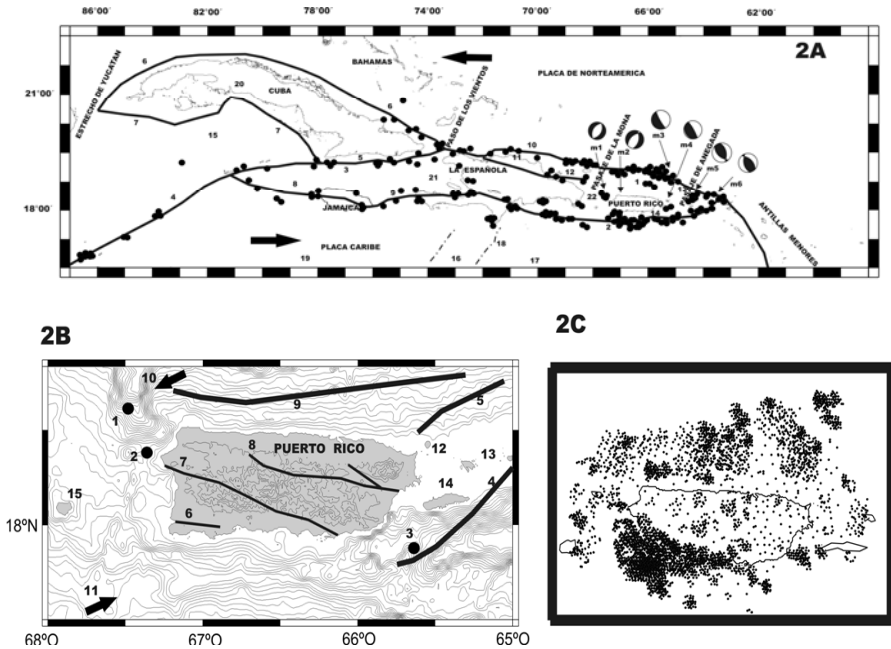


Figura 2A. Esquema tectónico del Caribe.

Aparecen: A) fosas (1= Puerto Rico, 2= Muertos, 3= Oriente); B) fallas [líneas negras gruesas] (4= Swan, 5= Oriente, 6= Nortecubana, 7= Surcubana, 8= Walton, 9= Enriquillo - Plantain Garden, 10= Norte de Haití, 11= Septentrional, 12= Sur de la Bahía de Samaná, 13= Frente de la Fosa de Puerto Rico, 14= Frente de la Fosa de Muertos); C) cuencas (15= Yucatán, 16= Colombia, 17= Venezuela); D) crestas y elevados (18= Beata, 19= Nicaragua); E) microplacas (20= Cubana, 21= Gonave, 22= La Española - Puerto Rico); F) epicentros de terremotos [círculos negros]; G) mecanismos focales [m1]; H) flechas gruesas negras [sentido del desplazamiento de las placas].

Figura 2B. Esquema del contexto geodinámico de Puerto Rico.

Aparecen: A) epicentros de terremotos [círculos negros] (1= 1943 [M7.5], 2= 1918 [M7.3], 3= 1867 [M7.3]); B) Fallas [líneas negras] (4= Depresión de Anegada, 5= Zona Sísmica del Sombrero, 6= Lajas, 7= Gran Zona de falla del sureste, 8= Gran Zona de falla del Norte, 9= Zona de fallas 19°N); Vectores de desplazamiento (según Jansma *et al.*, 2000) [flechas negras] (10= 2.4 mm/año, 11= 16.9 mm/año); Islas (12= Cayo Hicacos - Farallones, 13= Culebra, 14= Vieques, 15= Mona).

Figura 2C. Sismicidad de Puerto Rico.

A partir de los datos de la Red Sísmica de Puerto Rico (01.1986 – 03.2006).

Concretamente, los datos de Jansma *et al.* (2000), a partir de medidas con GPS, para el movimiento del segmento PR - Islas Vírgenes de la placa del Caribe relativo a la placa de Norteamérica es de dirección N70°E con una velocidad de 16.9mm/año (Figura 2B). Masson y Scanlon (1991) han determinado que en la fosa de PR la parte sur de la corteza oceánica de la placa de Norteamérica está fuertemente deformada y hundida en sistemas de horts y graben. Esto demuestra que aunque el movimiento es fundamentalmente de tipo lateral izquierdo existe una ligera componente de subducción.

De otra parte, la Figura 3 de Masson y Scanlon (1991) ilustra muy bien el contexto tectónico de PR, donde se diferencian seis provincias marinas. Un poco más al Oeste, en La Española, los datos muestran que esta última tiene un movimiento de dirección N80°E y una velocidad de 17mm/año respecto a la placa de Norteamérica. Es decir, que existe una apreciable diferencia cinemática en segmentos litosféricos adyacentes. Esta diferencia se puede explicar a partir del muy distinto frente de interacción Norte, la Plataforma de Bahamas y la fosa de PR, respectivamente. De forma similar Cotilla *et al.* (1991) argumentaron las diferencias de las partes septentrionales de Cuba Central y Cuba Oriental para justificar los límites de los macrobloques.

En el Caribe se han propuesto diversos modelos tectónicos, pero los más significativos resultan ser los que emplean estructuras de microplacas y bloques (Byrne *et al.*, 1985; Jansma *et al.*, 2000; Levchenko y Riabujin, 1971; Mann *et al.*, 1995; Masson y Scanlon, 1991; Ushakov *et al.*, 1979). Así están las microplacas Cubana, Gonave y La Española - PR (Figura 2A). También se ha considerado que La Española y PR están en bloques diferentes, pero su límite es ambiguo hasta el momento, aunque se sitúa en el Pasaje de la Mona. No obstante, PR puede entenderse como una entidad tectónica diferenciada del contexto Norte caribeño (Figura 2B). Concretamente, al norte de PR, en la fosa homónima, se determina con mucha precisión un proceso de subducción oblicua de la placa de Norteamérica hacia la placa del Caribe (focos sísmicos de $h > 150\text{km}$). Mientras que al sur, en la fosa de Muertos hay una subducción débil-incipiente (o relicta) de la corteza oceánica de la cuenca de Venezuela bajo la antes mencionada microplaca. Está determinado que el nivel de actividad sísmica es diferente en ambos frentes, siendo más activo el Norte, donde colisionan las placas del Caribe y de Norteamérica.

Puerto Rico y las Islas Vírgenes están situadas en un arco de islas del Cretácico – Terciario Temprano. Ellas están cubiertas por una plataforma carbonatada del Oligoceno Tardío que fue depositada de forma horizontal y en aguas poco profundas; pero que en la actualidad tiene una inclinación al Norte de 4° aproximadamente, y alcanza profundidades de 4,000m en una extensión lineal de unos 200km. Esta plataforma tiene dos particularidades: 1) la parte septentrional

tiene grandes áreas de derrumbamientos y deslizamientos en dirección a la fosa (zona tectónicamente inestable). Sin embargo, en la zona insular emergida de PR se eleva hasta unos 140m, donde tiene un definido perfil en escalera; 2) la segunda particularidad es la diferenciación lateral hacia el Este (Islas Vírgenes) y al Oeste (La Española). En las Islas Vírgenes, la plataforma es aproximadamente horizontal y está muy cercana a la superficie del mar; mientras que hacia La Española está muy fallada y deformada, que es el área más activa del sector Norte caribeño.

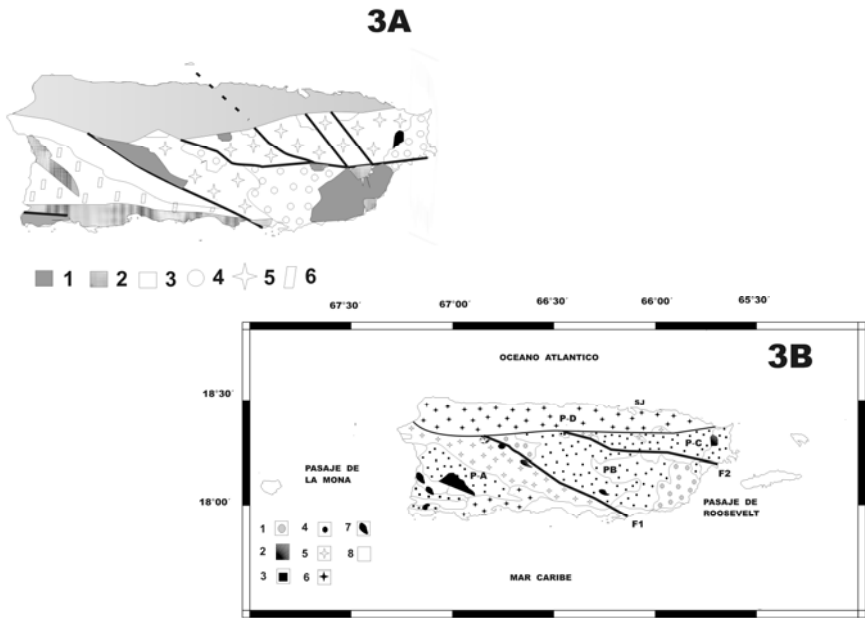


Figura 3A. Esquema geológico de Puerto Rico.

Aparecen: 1) rocas intrusivas del Cretácico sin diferenciar, 2) rocas y sedimentos post-Eoceno, 3) rocas ígneas y sedimentarias del Eoceno, 4) rocas estratificadas del Cretácico Inferior, 5) rocas estratificadas del Cretácico Superior, 6) rocas del Cretácico sin diferenciar. Las líneas negras corresponden a fallas.

Figura 3B. Esquema de las Provincias Tectónicas de Puerto Rico (de acuerdo con Briggs y Akers, 1965).

Aparecen: 1) las provincias: P-A= Ignea del suroeste, P-B= Ignea central, P-C= Ignea del nordeste, P-D= Terciario Medio y rocas sedimentarias; 2) las fallas (líneas negras gruesas [F1, F2]); 3) SJ= localidad de San Juan; 4) litología: 1= Intrusitas (Cretácico), 2= Intrusitas (Terciario Temprano), 3= Rocas estratificadas (Cretácico Superior), 4= Rocas estratificadas (Cretácico Inferior), 5= Rocas estratificadas (Eoceno), 6= Rocas sedimentarias (Terciario Medio – Reciente), 7= Serpentinitas y metabasitas, 8= Sedimentos (Reciente).

Es posible sostener que desde el Eoceno PR y las Islas Vírgenes están sometidas a un desplazamiento lateral izquierdo por la movilidad de las placas de Norteamérica y del Caribe. Esas islas están en una zona de complejas deformaciones tectónicas de aproximadamente 300km de ancho. En ella hay elementos de tipo extensivo, como fosas oceánicas y depresiones marinas, y elementos compresivos, como cadenas de montañas submarinas. La mencionada movilidad de las placas es aún difícil de comprender completamente, ya que hay acomodación del desplazamiento lateral izquierdo en la zona del Norte con la fosa de PR y en la zona del Sur con la subducción en la fosa de Muertos. Además, entre PR y las Islas Vírgenes se determina un movimiento extensional en el Pasaje de Anegada, que se ha considerado como una estructura de tipo *pull-apart*. Así este segmento litosférico activo está enmarcado en la denominada zona límite de placas [ZLP] Caribe-Norteamérica con una densidad de terremotos muy elevada y con la posibilidad de generar tsunamis.

El mapa geológico de PR incluye distintos tipos de rocas y algunas de sus principales estructuras de fallas. Así, en el esquema que se presenta en la Figura 3A aparecen en la parte central del territorio (3/4 partes del total de la superficie) rocas del Cretácico al Eoceno de los tipos: volcánicas, plutónicas (cuarcitas y granodioríticas), y metamórficas (serpentinitas), ígneas y sedimentarias. En ese sector se localiza la mayor cantidad de fallas, principalmente normales y transcurrentes. Pero todas ellas de dimensiones mucho menores que las estructuras disyuntivas marinas ya comentadas. Es en el sector medio insular donde está emplazada la Cordillera Central. Mientras que en las partes del Norte y del Sur, colindantes con la línea de costa, aparecen en sucesión unas bandas latitudinales estrechas e irregulares, la mayor parte de las veces en forma discontinua, de rocas del Mioceno al Cuaternario. Destacándose en la parte suroccidental los sistemas de terrazas con las calizas de la Formación Ponce, mientras que al Norte predomina, en su parte occidental, la Formación Quebradillas, también de calizas. De otra parte, la sucesión de Formaciones calcáreas del Mioceno está mejor definida y conservada en el segmento septentrional de la isla. Entre ellas están: 1) los Miembros: Guajataca, Río Indio y Montebello; 2) las Formaciones: Arenas Quebradas, Cibao, Guanajibo, Aguada y Ayamón. Todos los valles fluviales está rellenos de depósitos aluviales de diversa granulometría y espesor. Desde aproximadamente la mitad septentrional costera y hacia el Este hay grandes áreas de depósitos de playas y ciénagas.

Una interpretación inicial y somera del mapa geológico, permite sostener que PR es una estructura emergida del arco nortecaribeño, que tiene su núcleo de rocas antiguas sometido a movimientos de ascensos diferenciales. Destacándose en ese sector, varios conjuntos aislados de superficies de cimas (o superficies de planación) deformadas que configuran un sistema de escalera, que empalman a su

alrededor, en niveles altimétricos inferiores, con las rocas más jóvenes y menos deformadas. Esto se corresponde con un modelo de evolución en bloques descrito por Krestnikov (1987) y Jain (1980).

Los especialistas Briggs y Akers (1965) sostienen que PR tiene cuatro grandes zonas o provincias tectónicas: 1) Ignea del suroeste, 2) Ignea central, 3) Ignea del nordeste; 4) Terciario Medio y rocas sedimentarias jóvenes (Figura 3B). Las tres primeras zonas tienen una definida direccionalidad al NO, y la cuarta está localizada en la parte septentrional y costera, con Figura rectangular, donde aparecen muy bien desarrolladas las terrazas marinas. Los límites entre esas zonas no están siempre bien definidos ni son continuos. En general, las estructuras disyuntivas en la zona insular emergida nunca son extensas. En otras palabras, PR está compuesta de rocas volcánicas y plutónicas del Cretácico y del Eoceno, que están cubiertas por calizas del Oligoceno y depósitos aluviales recientes. En ese marco o fundamento se desarrolla el relieve, en el que Masson y Scanlon (1991) determinaron indicadores de la actividad reciente del movimiento de las placas. Posteriormente, Hernández *et al.* (2002) realizaron un estudio del relieve costero y submarino de las islas PR y Culebra, donde confirman que hay un sistema de fracturas direccionales que son producto de la colisión de las placas inmediatas.

Sismicidad

Las características de la sismicidad de PR y su entorno se localizan principalmente en: Asencio (1980), Clinton *et al.* (2006), Díaz Hernández (1985), Dolan *et al.* (1998), Dudleye y LeeMin (1998), Fielding y Taber (1919), Grindlay *et al.* (2005), Kafka y Weiden (1979), Kelleher *et al.* (1973), Lander y Locknidge (1989), McCann (2000), McCann y Pennigton (1990), McCann y Sykes (1984), Pacheco y Sykes (1992), Panagiotopoulos (1995), Prentice *et al.* (2000), Prentice y Mann (2005), Reid y Taber (1919), Reyes (1977), Rubio (1982), Shepherd y Lynch (1992), Sykes y Seeber (1985), Sykes y Ewing (1965), United States Geological Survey (2009), y United States Geological Survey Catalog (1984-1988).

Sobre esa base se puede decir que PR está en las inmediaciones de la ZLP del nordeste Caribe-Norteamérica (Figura 2A). En ella la sismicidad es destacada y se conocen tanto terremotos históricos como del periodo instrumental (Tabla 1), incluso algunos de ellos con tsunamis asociados. A muchos de los terremotos, todos en las zona marítima, ha sido factible determinarles un mecanismo focal. Y dada su inmediata cercanía a las Islas Vírgenes y La Española, los eventos sísmicos fuertes de esas zonas también afectan a PR como se indica en la Tabla 2. De acuerdo con esas fuentes antes relacionadas, en PR y su entorno inmediato, los datos por intervalo temporal de la ocurrencia de terremotos fuertes muestran lo siguiente: 1615-1787= 5, 1824-1890= 16, 1902-1987= 18. Esto da una proporción de años /

terremotos fuertes de: $172 / 5 = 34.4$, $66 / 16 = 4.1$ y $85 / 18 = 4.7$, respectivamente. Es decir, que con el transcurso del tiempo se ha prestado más atención a los terremotos y esto, evidentemente está relacionado con el poblamiento y las inversiones en infraestructuras. Además, se puede asegurar que PR está sujeta a un peligro mayor por tsunamis que cualquier otra zona del Caribe; sin embargo, los terremotos más fuertes se han producido históricamente en las inmediaciones de Haití y del norte de la República Dominicana.

Tabla 1
Terremotos más significativos y fuertes de Puerto Rico

<i>Nº</i>	<i>Fecha</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Localidad</i>	<i>Tsunami</i>
1	1670	8.0	San Germán	-
2	02.05.1787	8.0	Fosa de Puerto Rico	-
3	18.11.1867	7.3	Pasaje de Anegada	SI
4	11.10.1918	7.3	Pasaje de la Mona-Aguadilla	SI

Tabla 2
Terremotos de las Islas La Española y Vírgenes que han afectado a Puerto Rico

<i>Nº</i>	<i>Fecha</i>	<i>Isla</i>
1	08.09.1615	(M~8.0) La Española
2	20.04.1824	Santo Tomás
3	18.11.1867	Santo Tomás-Santa Cruz
4	17.09.1869	Santo Tomás
5	28.07.1943	Pasaje de la Mona
6	04.08.1946	(M~7.8) La Española

Empleando los datos del periodo 01.1986-03.2006 de la Red Sísmica Nacional se observa que el mapa de PR y su entorno inmediato están cubiertos prácticamente por epicentros (~15,000) (Figura 2C). En el mapa predominan focos sísmicos con profundidades inferiores a 120km en la parte central. Esta significativa densidad epicentral se debe, principalmente, al importante número de estaciones sísmicas de la red de PR, que se diferencia en mucho del resto del arco caribeño, en cuanto a cantidad de equipos, calidad y eficiencia. También se identifica, muy bien, una zona con la mayor agrupación epicentral, todos superficiales, localizada en la parte sur-suroeste de PR. No obstante, la mayor cantidad de terremotos está en la zona septentrional, específicamente en las inmediaciones de la fosa de PR. Así, parece que se confirman las propuestas de Cotilla *et al.* (1977A) en cuanto a los potenciales sísmicos del Caribe Norte y que las principales estructuras sismogénicas son de tipo marino. También está determinada, con gran fiabilidad, la diferencia de la aceleración pico de la gravedad en PR. Así hay en ella dos partes o zonas, occidental y centro-oriental, con valores respectivos de 2.4-3.2 y 1.6-2.4m/s².

Morfotectónica

Materiales y métodos

Toda la metodología morfotectónica y ejemplos de su aplicación aparecen en los trabajos citados en la Introducción del norte del Caribe, y también en Cotilla y Córdoba (2004, 2003), y Cotilla *et al.* (2007, 2004). No obstante, aquí se presenta un resumen de la metodología que facilita al lector la comprensión del trabajo. Además, con la metodología que los autores han aplicado en Cuba, La Española, la Península Ibérica y Jamaica se ha comprobado que el control tectónico puede ser ejercido de dos formas, no necesariamente excluyentes, en el desarrollo de los sistemas fluviales: 1) tectónica activa (fallas y basculamiento del terreno), 2) tectónica pasiva (control estructural).

Se puede asegurar que los criterios y los principios de la clasificación morfoestructural son numerosos y diversos. Ellos permiten el análisis e interpretación: 1) de mapas topográficos a escala: a) grande (1:50,000-1:100,000) y de las fotos aéreas, b) escala media y pequeña (1:500,000-1:1,000,000) y de las imágenes y fotos satelitarias; 2) de mapas batimétricos; 3) morfométrica del relieve (a partir de la confección de los mapas o esquemas: hipsométrico, de cotas máximas y cotas mínimas, disección vertical y horizontal, ángulos de pendientes (medios y máximos), intensidad potencial de la erosión fluvial, mofoisohipsas, isobasitas, diferencia de isobasitas, etc. (Jain, 1980; Nikolaev, 1982); 4) de los elementos lineales del relieve a diferentes escalas (dirección y magnitud); 5) de la red hidrográfica (ríos, divisorias y cuencas); 6) de las características geológicas, tectónicas y geofísicas (incluyendo la sismicidad). Cotilla *et al.* (1991) recomienda emplear además los métodos: a) Fluviales (Cox, 1994; Filosofov, 1960; Hack, 1973; Korzhuev, 1979; Merritts y Herterbergs, 1994; Sherve, 1966; Strahler, 1957) {A) El coeficiente de sinuosidad, K_s (relación entre la medida recta y la medida curva de los elementos lineales del relieve [ríos, divisorias de agua, etc.]); B) El factor de cambio significativo de pendiente en las cuencas y los ríos, FC_{cf} ; C) El índice de simetría/asimetría de las cuencas fluviales por sus divisorias y por el curso fluvial, IS_{cf} / IAS_{cf} ; D) El índice de la forma y orientación de las cuencas, IF_{cf} / IO_{cf} ; 5) El factor de cambio espectral de las cuencas F_{ccc} }; b) Hipsométrico-Fluviales {A) La intensidad potencial de la erosión fluvial, $IPEF$; B) El índice de altitud / número de intersecciones de ríos, I_{ai} ; C) El índice de orientación / longitud de río, I_{oi} ; D) El vector de asimetría de la cuenca de drenaje ($T=Da / Dd$); E) El índice del gradiente de la corriente principal [$SL=(\Delta H / \Delta L) L$]}. Aquí se determina no sólo el gradiente de los movimientos neotectónicos verticales y la influencia de los procesos exógenos (Cotilla *et al.*, 1997; Hernández *et al.*, 1990), sino que también es factible distinguir las tres categorías principales y jerarquizadas del relieve considerados en la metodología morfotectónica: 1) Unidades Territoriales (bloques de distinto rango); 2) Zonas limítrofes entre

ellas (morfoalineamientos); 3) Lugares de interacción entre los morfoalineamientos (intersecciones).

Todo el conjunto de métodos se ha implementado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Cotilla y Córdoba, 2003). Este sistema se ha probado en las investigaciones realizadas por los autores en Cuba, España, Jamaica y La Española.

Resultados

Mapas y esquemas

Los resultados principales del trabajo están agrupados fundamentalmente en dos conjuntos de mapas y esquemas: 1) Geomorfológicos: corrientes fluviales y sus divisorias principales, cuencas fluviales, hipsométrico, pendientes medias, disección vertical, disección horizontal, intensidad potencial de la erosión fluvial, morfoisohipsas, superficies básicas, superficies de cimas, alineaciones del relieve, y fracturación; 2) Morfoestructurales: unidades territoriales, zonas de alineamientos e intersecciones principales. Todos estos materiales ayudan, junto con los índices geomórficos, en la determinación de la influencia de la litología y las formas del relieve con las afectaciones tectónicas y climáticas. Ellos son una herramienta sencilla y útil, pero sobre todo de rápida aplicación, de la Geomorfología Tectónica. En particular, los índices geomórficos se pueden obtener a partir de mapas topográficos y fotos aéreas, además con trabajos de campo.

Concretamente, los mapas hipsométrico y de intensidad potencial de la erosión fluvial indican que PR tiene un relieve con estructura de bloques. Mientras que los mapas de pendientes medias y de disección vertical y disección horizontal, además de confirmar lo anterior, muestran que el relieve es más enérgico en la parte central y sur de la isla, y que los contrastes altimétricos más significativos se encuentran en los límites de los bloques. Además, el conjunto de estos métodos demuestra que hay asimetría transversal del relieve y que en él predominan los alineamientos del NE, NO y E-O.

Además, dada la poca dimensión superficial de la isla de PR se ha determinado, en las tres generalizaciones realizadas de morfoisohipsas, la existencia de: 1) un macrobloque a partir de los 10m de altitud; 2) un bloque central con valor altimétrico desde los 500m y que se corresponde prácticamente con la Cordillera Central; 3) cinco bloques de 700m y 900m; y 4) diversas fracturas del relieve, todas de poca extensión. Los límites del macrobloque están en la parte marina y comprenden a zonas activas regionales, donde se generan los terremotos más importantes de la región. Ninguna de estas grandes fallas cruza el territorio de PR, como son los casos de Jamaica y La Española.

El mapa de cantidad de alineaciones y fracturas (Figura 4A) muestra la diferenciación del relieve y la tendencia en dirección de las zonas al E-O (Figuras 4D y 4E) y NE (Figuras 4F y 4G). En específico, las áreas de mayores valores están localizadas en dos zonas del: 1) Oeste (en el extremo Oeste-suroeste de la Cordillera Central, coincidiendo con las Montañas de Uroyan donde hay una gran cantidad de desprendimientos de bloques) (Figura 4B), 2) Este (al nordeste de la Cordillera Central, coincidiendo con la Sierra de Luquillo). Concretamente, en el norte de la Cordillera Central hemos determinado: 1) una falla entre Maricao e Indiera Alta. Esta zona coincide con la rama SO de la cuenca N2 (Río Grande de Añasco) y se observan en las deformaciones transversales a dos afluentes (Río Guaba y Río Prieto) de dirección S-N. Además, desvía todas las alineaciones fluviales N-S de la cuenca N1 (Río Guanajibo), y en particular a su vertiente norte (en Sabana Grande); 2) cortes en varias pequeñas fallas de dirección N-S que alteran la DPPO en el norte de Susúa; 3) una falla E-O que modifica el curso del río Loco en su mitad inicial (cuenca S10); 4) en varios afloramientos en Indiera Alta se han cartografiado dos familias de fallas (108° SE - 286° NO y 116° SE- 294° NO) subordinadas a la falla principal de dirección E-O (Figura 4C).

El resultado del estudio detallado de las fracturas en las rocas de los bloques de PR aparece en la Tabla 3. De esta Tabla 3 es factible colegir que el fracturamiento es diverso, y que predominan las direcciones NE, NO y E-O. Mientras que las Figuras 5A, 5B y 5C muestran las direcciones medias determinadas en las cuencas fluviales, los microbloques y los nanobloques, respectivamente. En todos los casos prevalecen las tres direcciones antes indicadas. Además, al comentar sobre la Figura 4A se mostró la existencia de dos zonas de máximos valores de la fracturación, y ahora se añade que éstas se corresponden con dos pares de bloques. Estos bloques están vinculados con los extremos occidental y oriental de la Cordillera Central y con áreas de importantes valores de ascensos neotectónicos (Figura 5D) donde hay predominio de valles fluviales encajados y saltos de agua, no vinculados con la litología.

De otra parte, la configuración de las dos islas inmediatas al este de la isla de PR, Vieques y Culebra es totalmente diferente. La isla de Vieques tiene forma rectangular estrecha y compacta con un ligero arco convexo al Norte, mientras que la Culebra es prácticamente cuadrada y está fragmentada en al menos tres cayos o islotes. Además, las direcciones principales del fracturamiento en ellas también son diferentes; así en Vieques es predominantemente del NE y en Culebra del NO. Todo esto puede confirmar la tendencia a un desplazamiento antihorario de la región propuesto por Masson y Scalón (1991).

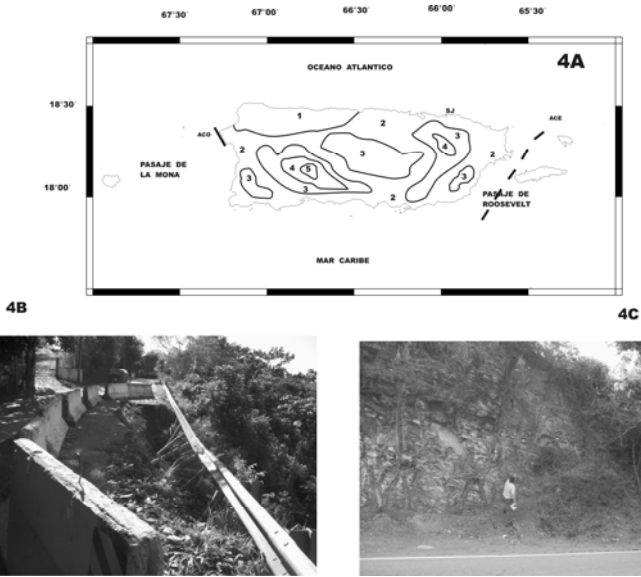


Figura 4A. Mapa de cantidad de alineamientos de Puerto Rico
 Cálculos para las zonas de alineamientos de $L > 2 \text{ km/km}^2$: $1 = [0-4) < 2 = (4-8) < 3 = (8-11) < 4 = (11-15) < 5 = (>15)$.

Figura 4B. Foto de desprendimientos en la localidad de Maricao (adyacente al río Guaba, afluente del río Grande de Añasco = cuenca N2).

Figura 4C. Ejemplo de lugar de mediciones en la localidad de Indiera Alta.



4F



4E



4G

Figura 4D. Alineación E-O entre Río Grande y Fajardo (NE de Puerto Rico).

Figura 4E. Alineación E-O en Jayuya, norte de la Cordillera Central.

Figura 4F. Escarpe en Caguas.

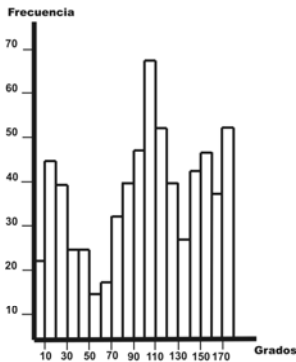
Figura 4G. Escarpe en Indiera Alta, Cordillera Central.

Tabla 3
Fracturas en los bloques

<i>Bloque</i>	<i>Longitud de fracturas</i>		
	≥ 2 km	≥ 5 km	≥ 10 km
B1	0° - 10° = 20	0° - 10° = 11	0° - 10° = 5
	40° - 50° = 11	40° - 50° = 2	80° - 90° = 2
	70° - 80° = 10	70° - 80° = 3	
	80° - 90° = 10	80° - 90° = 5	
B2	70° - 80° = 30	70° - 80° = 10	70° - 80° = 3
	80° - 90° = 25	80° - 90° = 7	80° - 90° = 3
	90° - 100° = 25	90° - 100° = 5	90° - 100° = 1
	110° - 120° = 10		
B3	70° - 80° = 6	70° - 80° = 3	70° - 80° = 1
	80° - 90° = 6	80° - 90° = 2	
B4	0° - 10° = 5	0° - 10° = 1	80° - 90° = 2
	70° - 80° = 10	70° - 80° = 5	
	80° - 90° = 10	80° - 90° = 6	
	90° - 100° = 8	90° - 100° = 8	
	170° - 180° = 5	170° - 180° = 1	
B5	0° - 10° = 6	0° - 10° = 1	70° - 80° = 2
	70° - 80° = 11	70° - 80° = 6	
	80° - 90° = 9	80° - 90° = 3	
	90° - 100° = 7	90° - 100° = 1	
	170° - 180° = 5	170° - 180° = 1	
B6	0° - 10° = 10	0° - 10° = 2	70° - 80° = 1
	70° - 80° = 15	70° - 80° = 3	80° - 90° = 6
	80° - 90° = 20	80° - 90° = 15	
	90° - 100° = 12	90° - 100° = 2	
	170° - 180° = 8	170° - 180° = 1	
B7	0° - 10° = 2	0° - 10° = 1	
	70° - 80° = 4		
	80° - 90° = 2		
B8	0° - 10° = 15	0° - 10° = 4	0° - 10° = 1
	60° - 70° = 8	70° - 80° = 7	70° - 80° = 3
	70° - 80° = 15	80° - 90° = 3	
	80° - 90° = 12	90° - 100° = 2	
	90° - 100° = 11	160° - 170° = 3	
	160° - 170° = 5		
B9	170° - 180° = 7		
	0° - 10° = 13	0° - 10° = 4	70° - 80° = 2
	60° - 70° = 7	60° - 70° = 7	
	70° - 80° = 16	70° - 80° = 8	
	80° - 90° = 16	80° - 90° = 3	
	170° - 180° = 7		

Continuación Tabla 3

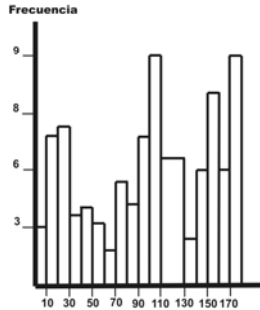
Bloque	Longitud de fracturas		
	≥ 2 km	≥ 5 km	≥ 10 km
B10	0° - 10° = 5 70° - 80° = 13 80° - 90° = 10 90° - 100° = 10	70° - 80° = 5 80° - 90° = 2	70° - 80° = 1
B11	70° - 80° = 3 80° - 90° = 5 90° - 100° = 2	80° - 90° = 2	
B12	0° - 10° = 10 10° - 20° = 5 60° - 70° = 6 70° - 80° = 3 80° - 90° = 10 90° - 100° = 7 170° - 180° = 5	0° - 10° = 1 70° - 80° = 1 80° - 90° = 3	
B13	0° - 10° = 7 10° - 20° = 3 80° - 90° = 10 90° - 100° = 10 170° - 180° = 3	0° - 10° = 1 80° - 90° = 1 90° - 100° = 2	
B14	0° - 10° = 5 10° - 20° = 5 70° - 80° = 10 80° - 90° = 11 90° - 100° = 5 170° - 180° = 2	70° - 80° = 3 80° - 90° = 3 170° - 180° = 1	
B15	0° - 10° = 3 60° - 70° = 10 70° - 80° = 16 80° - 90° = 15 90° - 100° = 11	60° - 70° = 3 70° - 80° = 4 80° - 90° = 4 90° - 100° = 2	70° - 80° = 2 90° - 100° = 2
B16	0° - 10° = 5 10° - 20° = 3 80° - 90° = 1 100° - 110° = 1 110° - 120° = 3	0° - 10° = 2 10° - 20° = 1	0° - 10° = 1
B17	0° - 10° = 20 10° - 20° = 10 80° - 90° = 11 90° - 100° = 15 100° - 110° = 12 170° - 180° = 7	0° - 10° = 4 90° - 100° = 7 100° - 110° = 2 170° - 180° = 1	0° - 10° = 2 90° - 100° = 1 100° - 110° = 1
B18	0° - 10° = 5 70° - 80° = 3 80° - 90° = 7 90° - 100° = 3 170° - 180° = 2	70° - 80° = 1 80° - 90° = 2	70° - 80° = 1 80° - 90° = 1



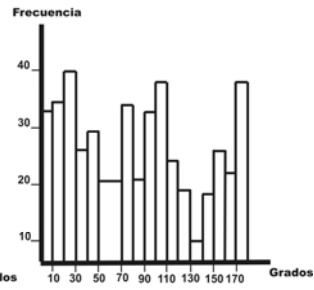
5A



5D



5B



5C

Figura 5A. Histograma de las direcciones de las cuencas fluviales.

Figura 5B. Histograma de las direcciones de los microbloques.

Figura 5C. Histograma de las direcciones de los nanobloques.

Figura 5D. Sector de un río encajado (valle en forma V) en Barranquitas (dirección E-O).

Red fluvial

La red fluvial de PR se caracteriza por dos cuencas principales: septentrional y meridional (Figura 6A). En las Tablas 4 y 5 están los datos obtenidos para las 33 cuencas fluviales (16 septentrionales y 17 meridionales) de un total de 48. Las cuencas no analizadas son de dimensiones muy pequeñas. Del estudio resulta que los ríos de 5° y 6° orden están sólo en la vertiente norte, siendo el de 6°, el Grande de Loiza. La Tabla 6 contiene las cantidades de cuencas principales por vertiente para las tres categorías mayores. En ella se ve que el mayor número de cuencas corresponde a las de 2° orden, lo cual resulta una anomalía, en la estructura jerárquica del método y que puede interpretarse por la importante actividad neotectónica más joven. Las direcciones predominantes del escurrimiento están la Tabla 7, prevaleciendo, con diferencia, las direcciones N-S y E-O. Esta última dirección coincide con la estructura regional del Caribe Norte; y que también hemos determinado,

como se expuso antes, en el estudio de las fracturas. En la Tabla 8 están los porcentajes de relaciones de bifurcación anómalas, sobresaliendo el orden 2-3 como el más numeroso. Este orden representa a las estructuras más jóvenes, las cuales predominan en la zona septentrional. Las cantidades de sectores anómalos por cuenca (septentrional y meridional) aparecen en la Tabla 9. Resulta de ella que hay una cantidad muy superior de sectores anómalos de los ríos en la parte septentrional.

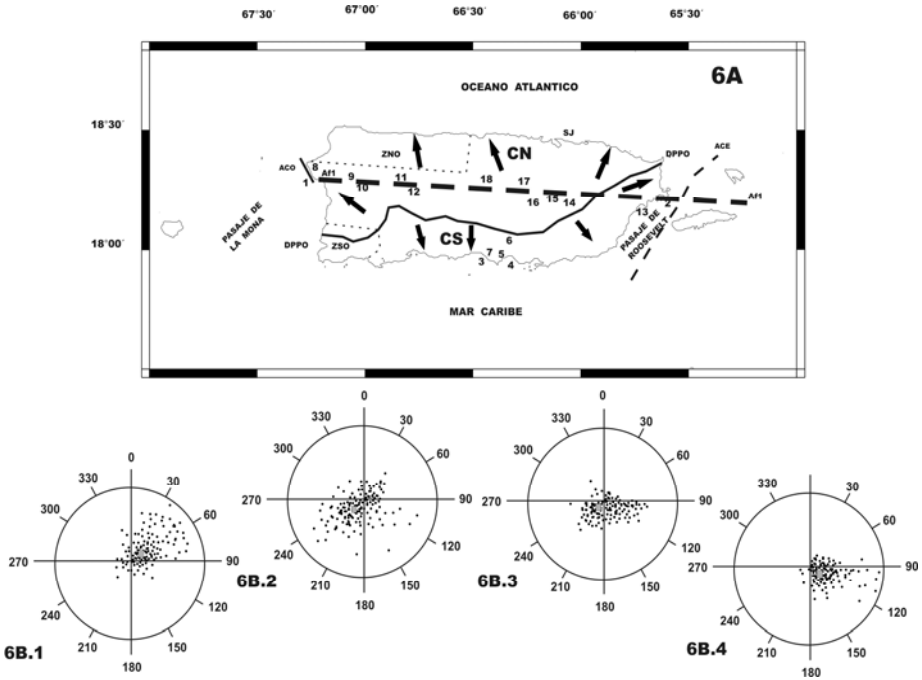


Figura 6A. Mapa de las Divisorias Principales de Agua de Puerto Rico. Aparecen: A) la Divisoria Principal de Primer Orden [DPPPO] (línea negra); B) las vertientes (cuencas) septentrional [CN] y meridional [CS]; C) el alineamiento fluvial 1 [Af1]; D) las zonas sin escurrimiento organizado [Z-NO, Z-SO]; E) las direcciones promedio del escurrimiento superficial (flechas negras); las localidades: 1= Punta Cadena, 2= Punta Algodones, 3= Punta Carenero, 4= Bahía Rincón, 5= Salinas, 6= Sabana Llana, 7= Boca Chica, 8= Córcega, 9= La Cadena de San Francisco, 10= Cerro Gordo, 11= Lares, 12= Perchas, 13= Punta Lima, 14= Juncos, 15= Cabuyas, 16= Aguas Buenas, 17= Naranjito, 18= Cerro Purrón.

Figura 6B. Diagramas polares de las cuencas: B.1= N2 (Río Grande de Añasco), B.2= N1 (Guanajibo), B.3= S11 (Yauco), B.4= S20 (Majada - Jajones) (Véase Tabla 4). El rango de magnitud es de 0 (en el centro) a 1 (en el extremo exterior). El cuadrado de color gris es el valor medio del vector.

Tabla 4
Ríos por cuenca

<i>Cuenca</i>			<i>Orde máximo del río</i>	<i>Asimetría del río Principal</i>
<i>Sigla</i>	<i>Localización</i>	<i>Nombre</i>		
CN1	Septentrional	Guanajibo	5	Si
CN2	Septentrional	Grande de Añasco	4	Si
CN3	Septentrional	Grande de Arecibo	5	No
CN4	Septentrional	Grande de Manatí	5	Si
CN5	Septentrional	Grande de la Plata	5	Si
CN6	Septentrional	Grande de Loiza	6	Si
CN7	Septentrional	Espíritu Santo	4	No
CN8	Septentrional	Mameyes	3	Si
Cn1	Septentrional	Llagues	-	Si
Cn2	Septentrional	Grande	-	Si
Cn3	Septentrional	Guayabo	-	Si
Cn4	Septentrional	Culebrinas	4	No
Cn6	Septentrional	Guajataca	3	Si
Cn7	Septentrional	Camuy	3	No
Cn9	Septentrional	Bayamón	4	Si
Cn10	Septentrional	Puerto Nuevo	-	Si
CS10	Meridional	Loco	3	Si
CS11	Meridional	Yauco	4	Si
CS12	Meridional	Guayanilla	3	Si
CS13	Meridional	Macana	-	Si
CS14	Meridional	Tallaboá	4	Si
CS15	Meridional	Matilde	4	Si
CS16	Meridional	Portugués	4	No
CS18	Meridional	Jacaguas	4	Si
CS19	Meridional	Coamo	4	Si
CS20	Meridional	Majada-Jajones	4	Si
CS22	Meridional	Grande Patillas	-	Si
CS23	Meridional	Guayanés	4	Si
CS24	Meridional	Humacao	3	No
CS25	Meridional	Antón Ruiz	3	Si
CS26	Meridional	Blanco	3	Si
Cs1	Meridional	Descalbrao	-	Si
Cs6	Merdional	Maunabo	-	Si

Nota: C= Cuenca; n, N= Septentrional; s, S= Meridional; CN, CS= delimitada por la Divisoria Principal de Primer Orden [DPPO] y Divisoria Principal de Segundo Orden [DPSO]; Cn, Cs= delimitada por DDPO, DPSO y Divisoria Principal de Tercer Orden [DPTO].

Tabla 5
Datos de las cuencas

<i>Parámetros</i>	<i>Cuencas Meridionales</i>						
	<i>S10</i>	<i>S11</i>	<i>S12</i>	<i>S14</i>	<i>S15</i>	<i>S16</i>	<i>S18</i>
Orden	3	4	3	4	4	4	4
Vertiente	S	S	S	S	S	S	S
Dirección predominante	N-S	SSE	N-S	N-S	SSE	SSE	SO
Dirección principal del drenaje superficial	N-S	NO-SE	N-S	N-S	N-S	N-S	SO
Altitud máxima de la cuenca (m)	640	660	815	840	600	870	650
Índice de Gavelius	0.5	0.21	0.23	0.31	0.27	0.31	0.36
Área (km ²)	39.6	64.8	28.8	28.8	37.8	38.4	48.6
Pendiente media de la cuenca (m/km)	30.1	37.7	72.5	60.1	34.0	34.2	32.0
Longitud del río principal (km)	30.0	36.1	24.4	21.6	18.0	28.3	31.0
Coefficiente de sinuosidad	0.83	0.91	0.76	0.76	0.96	0.68	0.85
Pendiente media del río principal (m/km)	27.08	36.54	69.44	57.69	33.33	33.01	30.31
Valles de tipo V	3	2	5	5	4	5	4
Vallles de tipo U	2	2	4	5	4	3	4
Sectores anómalos	2	4	3	4	1	3	2
Terrazas fluviales	5	6	6	6	6	5	5
Cascadas	2	3	3	4	3	4	4
Conos y abanicos	5	7	7	10	8	7	4

<i>Parámetros</i>	<i>Cuencas Meridionales</i>					
	<i>S19</i>	<i>S20</i>	<i>S23</i>	<i>S24</i>	<i>S25</i>	<i>S26</i>
Orden	4	4	4	3	3	3
Vertiente	S	S	S	S	S	S
Dirección predominante	SO	SO	O-E	O-E	O-E	SE
Dirección principal del drenaje superficial	SO	SO	SE	SE	O-E	SE
Altitud máxima de la cuenca (m)	730	300	630	310	180	800
Índice de Gavelius	0.43	0.39	0.6	0.52	0.25	0.25
Área (km ²)	57.2	39.5	55.7	30.5	25.8	29.7
Pendiente media de la cuenca (m/km)	27.7	42.1	23.3	16.7	18.2	57.3
Longitud del río principal (km)	24.1	13.2	27.4	16.79	11.0	14.4
Coefficiente de sinuosidad	0.88	0.87	0.76	0.61	0.85	0.65
Pendiente media del río principal (m/km)	25.0	39.06	20.83	14.89	16.67	55.56
Valles de tipo V	5	3	1	1	2	2
Vallles de tipo U	4	3	3	3	3	2
Sectores anómalos	5	2	2	2	1	2
Terrazas fluviales	5	5	4	3	4	4
Cascadas	3	3	2	2	3	2
Conos y abanicos	5	4	3	2	2	2

Continuación Tabla 5

<i>Parámetros</i>	<i>Cuencas Septentrionales</i>					
	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	<i>N6</i>
Orden	5	4	5	5	5	6
Vertiente	N	N	N	N	N	N
Dirección predominante	E-ONO	SE-O	S-N	S-N	S-N	S-N
Dirección principal del drenaje superficial	E-O	E-O	SE-NO	SE-NO	SE-NO	SO-NE
Altitud máxima de la cuenca (m)	550	890	1.338	1.200	730	1,075
Índice de Gavelius	0.82	0.61	0.72	0.8	0.6	0.85
Área (km ²)	132.2	192.4	180.2	364.8	240.0	230.0
Pendiente media de la cuenca (m/km)	19.2	23.3	36.1	35.2	19.0	15.2
Longitud del río principal (km)	31.2	.5	52.9	41.0	97.0	65.0
Coefficiente de sinuosidad	0.97	0.89	0.85	0.84	0.8	0.8
Pendiente media del río principal (m/km)	17.63	21.32	34.57	33.33	17.18	13.48

<i>Parámetros</i>	<i>Cuencas Septentrionales</i>					
	<i>N1</i>	<i>N2</i>	<i>N3</i>	<i>N4</i>	<i>N5</i>	<i>N6</i>
Valles de tipo V	18	14	17	23	9	19
Vallles de tipo U	8	9	16	16	16	15
Sectores anómalos	6	7	12	10	15	10
Terrazas fluviales	8	8	9	9	8	9
Cascadas	6	7	7	7	7	7
Conos y abanicos	10	12	15	17	10	14

<i>Parámetros</i>	<i>Cuencas Septentrionales</i>					
	<i>N7</i>	<i>N8</i>	<i>N4</i>	<i>n6</i>	<i>n7</i>	<i>n9</i>
Orden	4	3	4	3	3	4
Vertiente	N	N	N	N	N	N
Dirección predominante	S-N	S-N	SE-ONO	SSE-NNO	S-N	S-N
Dirección principal del drenaje superficial	SO-NE	S-N	E-O	SE-NO	S-N	SO-NE
Altitud máxima de la cuenca (m)	750	1.065	450	450	460	510
Índice de Gavelius	0.88	0.55	0.52	0.48	0.47	0.5
Área (km ²)	52.1	12.0	132.0	81.6	130.0	115.2
Pendiente media de la cuenca (m/km)	21.1	90.3	15.1	17.4	22.2	17.4
Longitud del río principal (km)	38.4	19.5	54.4	41.0	40.5	31.2
Coefficiente de sinuosidad	0.81	0.9	0.97	0.9	0.99	0.95
Pendiente media del río principal (m/km)	19.53	88.75	13.89	16.3	20.36	16.35
Valles de tipo V	8	3	5	5	7	12
Vallles de tipo U	10	4	7	7	8	8
Sectores anómalos	2	2	5	5	4	5
Terrazas fluviales	4	4	3	5	4	4
Cascadas	2	2	1	3	3	4
Conos y abanicos	3	2	5	3	3	5

Tabla 6
Cuencas a partir de las divisorias principales de agua

<i>Categoría</i>	<i>Septentrional</i>	<i>Meridional</i>	Σ
1	1	1	2
2	10	26	36
3	11	9	20

Tabla 7
Dirección predominante de la red fluvial

<i>Dirección</i>	<i>Cantidad</i>
N-S	320
E-O	225
ENE-OSE	95
ESE-ONO	87
NNE-SSO	160
NNO-SSE	143

Tabla 8
Relaciones de bifurcación anómalas

<i>Rb</i>	<i>%</i>
1-2	38
2-3	48
3-4	39

Tabla 9
Sectores anómalos de los ríos por cuencas

<i>Cuenca Meridional</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Cuenca Septentrional</i>	<i>Cantidad</i>
CS10	1	CN1	4
CS11	2	CN2	5
CS12	1	CN3	6
CS14	2	CN4	10
CS16	3	CN5	10
CS18	4	CN6	15
CS19	3	Cn4	2
CS20	2	Cn6	3
CS24	2	Cn8	5
Cs6	1		
Cs12	2		
Total	23	Total	60

Nota: La notación se corresponde con la Tabla 4.

La inmensa mayoría de los ríos tiene su nacimiento en la Cordillera Central y ellos son mucho más largos en la porción Norte que en la Sur (Figura 6A). En consecuencia las cuencas septentrionales son siempre de mayor área. En el mapa se ilustra la existencia de una sola Divisoria Principal de Aguas de Primer Orden [DPPO] con longitud de 206.4km y $K_s=0.79$. Su dirección predominante es E-O, aunque desde el meridiano 66° toma la dirección SO-NE. A partir de esta DPPO se conforma el conjunto de cuencas fluviales. Destacamos que: 1) el relieve es más enérgico al norte de la DPPO; 2) el área de las cuencas es mucho mayor en la parte septentrional que en la meridional, lo cual se corresponde con el mayor orden de los ríos; 3) la DPPO está más alejada de la costa septentrional (~ 36 km) que de la meridional (~ 15 km); 4) la DPPO tiene cinco segmentos de oeste a este: a) O-E (Punta Carenero - cuenca del río Loco); b) N-S (el más corto. Parte oeste del río Loco); c) O-E (el segundo en longitud. Norte de la cuenca del río Loco - norte de la cuenca del río Jacaguas); d) NO-SE (norte de la cuenca del río Jacaguas - cuenca S21); e) SO-NE (cuenca S21 - Cabezas de San Juan), que coincide con la dirección del Pasaje de Roosevelt; 5) los ríos n6 (Guajataca) y n7 (Camuy) prácticamente no tienen afluentes, debido a la litología kárstica por la que discurren. Eso mismo se aprecia en los tramos medios y finales de los ríos N3 (Grande de Arecibo) y N4 (Grande Manatí); 6) las cuencas fluviales delimitadas se distinguen por sus Figuras aproximadamente rectangulares; 7) el 96.2% de los ríos estudiados tiene asimetría lateral con respecto a las divisorias de las cuencas. Esto se justifica por la influencia litológica y de las fallas (Tabla 4). Más adelante se retomará este punto; 8) los alineamientos fluviales son predominantemente de dirección E-O entre Punta Cadena y Punta Algodones ($\sim 18^\circ 17' N$) y que se puede extender al norte de las Islas Vieques. Esto involucra a los ríos Guajataca, Limón, Manatí, Bayamón, Gurabo y Blanco. Esta regularidad está determinada al norte de la alineación O-E de la DPPO sobre la Cordillera Central, y se corresponde con el borde norte de cuatro bloques, y que hemos denominado alineación fluvial I [Af1] (Figura 6A). A este alineamiento fluvial nos referiremos con más detalle posteriormente; 9) en la vertiente septentrional hemos determinado que al menos hay cuatro ríos asociados a fallas: Guanajibo (CN1), Grande de Añasco (CN2), Culebrinas (Cn4) y Guajataca (Cn6), lo cual se corresponde con el resultado de las fracturas determinadas con las morfoisohipsas; 10) en las cuencas meridionales hay un conjunto de bruscas inflexiones de los ríos, que hemos asociado con fallas, luego de un exhaustivo trabajo de campo (Figura 6B). Así, en la cuenca Cs3, el río Jajome que tiene dirección SE-NO y corre paralelo a la DPPO en las coordenadas $\sim 66^\circ 10'$ en el sector del Cerro de la Tabla, sufre una brusca inflexión en su curso de 90° al SO para drenar sus aguas en el río Majada (~ 20 km de longitud, $K_s=1$), que desemboca en la Bahía de Rincón. Aquí se localiza una falla entre las localidades de Salinas - Sabana Llana y el propio río Jajome. Más al Oeste, en la cuenca CS19 el río Cuyón, de curso E-O, se inflexiona

80° al SSO para drenar en el río Coamo de valle tipo “U” (fondo plano) y, con $K_s=0.97$ en 20km de longitud, que desemboca en la Playa Santa Isabel. Ésta es otra combinación de fallas. La tendencia en cuanto a inflexiones en los cursos fluviales de las cuencas meridionales se aprecia hasta la cuenca CS18, donde el río Toa-Vaca (valle tipo “V”) se desvía en al menos dos segmentos paralelos y de dirección E-O para confluir en el río Jacaguas ($K_s=0.95$, longitud de 15km) y que drena en Boca Chica con dirección prácticamente N-S. Esta cuenca es asimétrica con valle tipo “U” y tiene un vector $T=0.18, 290^\circ$. A partir de esta última cuenca y hacia el Oeste el drenaje se organiza de forma inequívoca del Norte al Sur; mientras que al Este de la cuenca Cs3 (asimétrica con vector $T=0.16, 120^\circ$) el drenaje se torna al SE. Esto puede ilustrar la existencia de un movimiento rotacional de los bloques.

Tabla 10
Características del macrobloque Puerto Rico

<i>N°</i>	<i>Características</i>	<i>Datos</i>
1	Tipo de relieve	Montaña
2	Altitud máxima (m)	1,338
3	Mesobloques	2
	Bloques	18
	Microbloques	31
	Nanobloques	55
4	Disección vertical (m)	485
5	Levantamiento (m) por diferencia de isobasitas de orden:	
	2-3	20
	4-5	100
	2-5	210
6	Áreas de descenso (%)	12
7	Divisoria Principal	1
8	Anomalías fluviales	83
9	Forma de los valles fluviales (V / U)	182/166
10	Superficies de cimas	534
11	Fosas oceánicas	2
12	Área (km ²)	9,104
13	Pendiente media (‰)	11.5
14	Dirección principal del drenaje superficial	N-S
15	Cantidad máxima de terrazas marinas	6
16	Altitud máxima de las terrazas marinas (m)	140
17	Estructura principal	Bloques
18	Tipo principal de drenaje	Superficial
19	Drenaje superficial promedio (km/km ²)	40.2
20	Cantidad de fracturas de $L > 2\text{km/km}^2$	28.5
21	Dirección principal de la estructura	NO
22	Orden máximo del río	6
23	Densidad epicentral, $h=0-300\text{km}$ (1970-2004)	10.3
24	Nudos	83

La mencionada Afl (Figura 6A) es una extensa estructura lineal de la parte centro-septentrional de la isla de PR y con dirección E-O. Esta Afl se ha identificado a partir de inflexiones en la red fluvial (ríos, cuencas y divisorias de aguas), localización de depósitos de sedimentos aluviales y fluviales, conos de deyección, alineaciones fluviales, y contacto entre rocas. De hecho el primer segmento de la alineación incluye a las cuencas Cn2-Cn7 y CN3, todas ellas localizadas en zonas kársticas. Ese alineamiento está definido al norte de la DPPO y es aproximadamente paralelo a ella desde su extremo occidental hasta la coordenada de 66° O y tiene un $K_s=0.93$. Además, afecta diferentemente a todas las cuencas fluviales septentrionales. El trazo del alineamiento se puede identificar, de Oeste a Este, por las siguientes localidades: Córcega, la Cadena de San Francisco, Cerro Gordo, Perchas, San Sebastián, Lares, ríos Camuy y Tanamá, ríos Grande de Arecibo y Limón, río Manatí, Cerro Purrón, Naranjito, Aguas Buenas, Caguas, Juncos, Río Blanco, y Punta Lima. En su parte central el Afl (Río Limón - Caguas) coincide con un morfoalineamiento que tiene varias inflexiones, pero definida tendencia E-O. Un poco más al sur, a mitad de distancia con respecto a la DPPO, se identifican significativas alineaciones fluviales E-O (de hasta 20km de longitud), desvíos de cursos y saltos de agua, pero que no configuran una estructura lineal extensa como la mencionada Afl. Estas alineaciones se vinculan con las siguientes localidades: río Grande de Jayuya (CN3), Barranquitas y río de la Plata. Tales estructuras pueden interpretarse como el resultado de compresiones N-S y que pueden explicar el desvío al NO de las cuencas septentrionales (Cn6-Cn9 y CN3-CN5). El Afl se puede extender sin argumentos hasta el norte de la Isla de Vieques.

En particular el alineamiento gravimétrico identificado con el número 15 (longitud ~30km) (Figura 7), en el extremo SO de PR, se corresponde con: 1) las direcciones predominantes del Valle de Lajas y de un sector de la DPPO (entre Puerto Real y Sabana Grande); 2) las inflexiones cóncavas de tres cursos fluviales (río Loco=S10,=S11, Guayamilla=S12. Todos drenando de Norte a Sur); 3) dos áreas de actividad paleosísmica (Prentice y Mann, 2005; Prentice *et al.*, 2000).

También hemos determinado el K_s para la línea de costa de PR en cuatro segmentos: 1) costa norte: Punta Borinquen - Punta Gorda (0.85); 2) costa sur: Punta Melones - Punta Quebrada Honda (0.77); 3) costa Oeste: Punta Melones - Punta Borinquen (0.80); 4) costa Este: Punta Quebrada Honda - Punta Gorda (0.75). Estos valores indican que las fallas del NE (ejemplo: en Playa Santa Isabel y Salinas, en la costa sur) y NO (ejemplo: entorno a San Juan en la costa norte, entorno a Puerto Maunabo, en la costa sur) han afectado la regularidad latitudinal del macrobloque. De hecho la costa oriental manifiesta una extensa alineación al NE muy definida, que se puede prolongar hasta el oeste de la isla de Culebra (~55km), y que hemos denominado alineamiento de la costa este [ACE] (Figuras 4A, 6A). Esta alineación es paralela al Pasaje de Anegada (~375km) y a la DPPO en el tramo Campamento

Real - Punta Gorda. Otro alineamiento, mucho menos extenso (~15km), de la costa está en la parte Oeste [ACO], entre Punta Cadena y Punta Higüero, que tiene dirección NO (Figuras 4A, 6A).

Alineaciones gravimétricas

Las alineaciones del relieve superficial deben ser determinadas con métodos de gabinete como los anteriormente comentados, y complementadas, al menos, con estudios de la parte superior de la corteza, con el propósito de conocer otras características y su posible relación con fallas. En este sentido, se pueden emplear los resultados gravimétricos conocidos.

En nuestro caso, el resultado del análisis con métodos matemáticos (Pratt, 1978), aplicando transformaciones y filtros, al mapa gravimétrico de Bouguer se presenta en la Figura 7. Esto permite: 1) la delimitación 65 alineamientos en total; 2) la determinación de 24 alineamientos principales y 3 zonas de intersección principales; 3) la identificación de tres zonas gravimétricas (Z-A= suroeste, Z-B= centro-Este, Z-C= nordeste). Al respecto de los alineamientos principales hay un 63% de coincidencia con el método de morfoisohipsas. Para Jamaica y La Española los autores obtuvieron valores similares, 65% y 61%, respectivamente. De otra parte las zonas gravimétricas se ajustan, bastante bien, a las zonas tectónicas de Briggs y Akers (1965). Además, indicamos que el alineamiento gravimétrico 15, de dirección E-O y cercano a la costa suroeste de PR, entre las localidades de Boquerón y Guayama, y con longitud aproximada de 90km, tiene manifestaciones claras en el relieve superficial y en particular, otros autores (Prentice y Mann, 2005; Prentice *et al.*, 2000) encontraron evidencias de actividad paleosísmica en las inmediaciones del Valle de Lajas. Este alineamiento tiene una relación espacial con la similar orientación de la DPPO entre las localidades de Puerto Real y Salinas. Por lo que consideramos que su categoría estructural es de importancia.

Las Figuras 7.1 – 7.4 muestran, para cuatro áreas diferentes, las características litológicas y estructurales de igual número de alineaciones.

Se presentan otros cuatro casos de la aplicación del vector de asimetría de la cuenca de drenaje (T) como ejemplos del muestreo realizado a diez cuencas de PR (Figura 6B). Este vector tiene dos valores, uno adimensional y otro en grados de desvío respecto del centro geométrico de la cuenca. Aquí se ha calculado, en diferentes rangos segmentos (125), y aunque su obtención no permite afirmar, con toda certeza, la existencia del basculamiento del terreno, sí es eficiente en cuanto a indicar las áreas más probables; y lógicamente, justifican la presencia de fallas.

Dos de las cuencas seleccionadas corresponden al lado NO (N1 y N2) e igual cantidad al suroccidente (S11 y S20). La litología asociada a esas cuencas es: B.1= rocas volcánicas y sedimentarias del Cr; B.2= aluvios del Cuaternario; B.3 y B.4=

aluvios del Cuaternario y rocas volcánicas y sedimentarias del Cr. En ellas hemos determinado que: 1) el rango de vectores en las Figuras 6B.1 y 6B.4 es 0 – 0.8, mientras en las otras dos Figuras 6B.2 y 6B.3 es 0 – 0.7; 2) la concentración de vectores por cuadrante es: Figura 6B.1=NE, Figuras 7.2 y 6B.3=SO, y Figura 6B.4=SE; 3) los datos cuantitativos son: $T_{B,1}=0.2$ (60°), $T_{B,2}=0.28$ (215°), $T_{B,3}=0.24$ (190°) y $T_{B,4}=0.22$ (125°); 4) el vector promedio tiene un valor de 0.24 (148°), lo que implica una migración del sistema al SE.

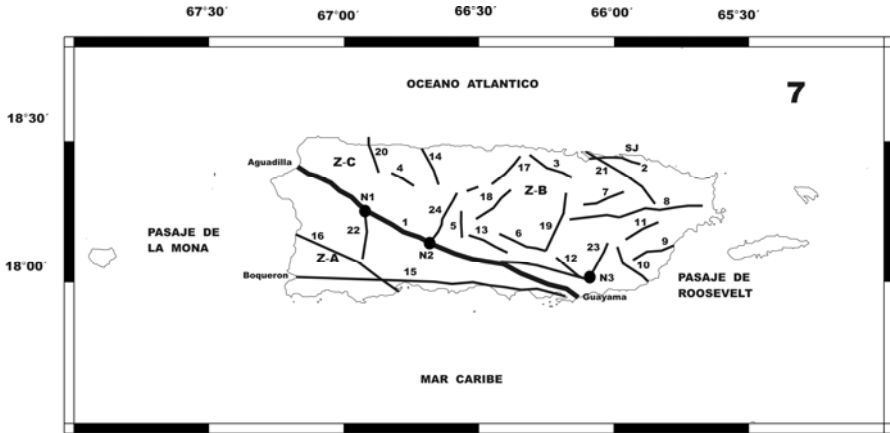


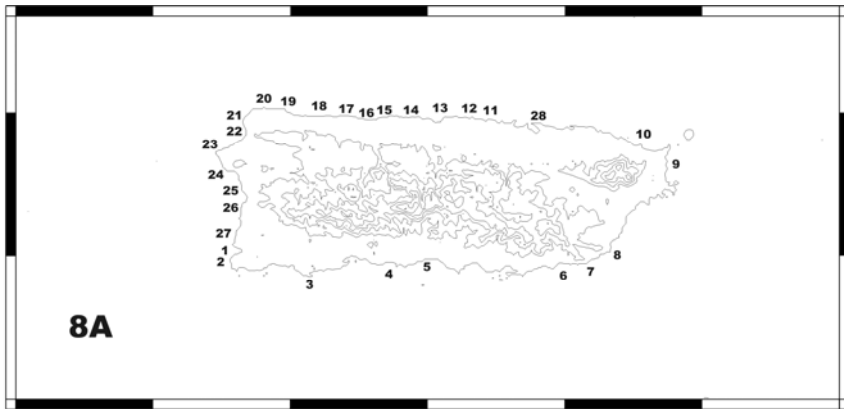
Figura 7. Esquema de los alineamientos, nudos y zonas del campo gravimétrico de Puerto Rico. Aparecen: A) los alineamientos principales [1] (línea negra); B) las intersecciones [N1] (círculo negro); C) las zonas [Z-A]; D) SJ= la localidad de San Juan.

- Figura 7.1.** Foto del segmento central del alineamiento 1 en las inmediaciones de Adjuntas.
- Figura 7.2.** Foto del extremo sureste del alineamiento 1 en las inmediaciones de Cuchilla de Panduras.
- Figura 7.3.** Foto de un escarpe del alineamiento 8 en las inmediaciones de Las Torres.
- Figura 7.4.** Foto del trazo este del alineamiento 15 en las inmediaciones de Tallaboa (oeste de Ponce).

Zonas kársticas

Se estudiaron sobre el terreno los sistemas de terrazas marinas en 28 puntos de PR (Figuras 8A y 8B). En este sentido y desplazándonos de Oeste a Este desde el extremo suroccidental, se dan las localidades con la cantidad de terrazas contabilizadas: 1) Playa Boquerón (3), 2) Punta Melones (3), 3) Frontón de la Brea (3), 4) Este de Tallaba (2), 5) Ponce (6), 6) Colonia Providencia (4), 7) Hacienda de San Isidro (5), 8) Punta Quebrada Honda (5), 9) Punta Fajardo (4), 10) Punta Gorda (4), 11) Punta La Bandera (3), 12) Punta Boca Juana (1), 13) Punta Puerto Nuevo (3), 14) Punta Cerro Gordo (4), 15) Punta Manatí (3), 16) Arecibo (5), 17) Punta Maracayo

(4), 18) Punta Peñón (4), 19) Quebradilla (4), 20) Punta Sardina (2), 21) Punta Jacinto (6), 22) Punta Borinquen (6), 23) Aguadilla (6), 24) Punta Gorda (6), 25) Punta Cadena (6), 26) Punta Algarrobo (5), 27) Punta Guanajibo (5), 28) Punta La Mela (3). Las terrazas están muy bien expresadas en el segmento noroesteccidental con un amplio desarrollo del lapiaz (karst) en las superficies inferiores (Figura 8B).



8B



8C



Figura 8A. Mapa de Puerto Rico con los puntos de estudio de terrazas marinas y zonas kársticas. Aparecen las localidades (1= Playa Boquerón, 2= Punta Melones, 3= Frontón de la Brea, 4= Tallaba, 5= Ponce, 6= Colonia Providencia, 7= Hacienda de San Isidro, 8= Punta Quebrada Honda, 9= Punta Fajardo, 10= Punta Gorda, 11= Punta Boca Juana, 12= Punta Puerto Nuevo, 13= Punta Cerro Gordo, 14= Punta Manatí, 15= Arecibo, 16= Punta Maracayo, 17= Punta Peñón, 18= Quebradilla, 19= Punta Sardina, 20= Punta Jacinto, 21= Punta Borinquen, 22= Aguadilla, 23= Punta Gorda, 24= Punta Cadena, 25= Punta Algarrobo, 26= Punta Guanajibo, 27= Punta La Mela, 28= San Juan).

Figura 8B. Foto de un sector de Puerto Rico con terrazas marinas.

Figura 8C. Foto de un ejemplo de un conjunto de estructuras kársticas elevadas y una depresión adyacente (Lago Guajataca).

Las zonas kársticas identificadas como ZNO y ZSO en la Figura 6A tiene unas formas del relieve elevadas típicas (mogotes, domos y cúpulas) con altitudes de hasta 450m y 300m, respectivamente (Figura 8C). En ella se han encontrado estructuras deprimidas como: nichos, cavernas y canales. También hay importantes alineaciones, en cuanto a extensión (~90km), con formas del relieve típicamente kársticas, como ejemplo la Figura 8D. En ella aparece un segmento del Valle de Lajas al suroeste de PR. Esta alineación se corresponde con la estructura comentada como alineamiento gravimétrico 15 (Figura 7). En la ZNO están la Cordillera Jai-coa y las Montañas Guarionex y entre ellas el Lago de Guajataca, y también vinculado con esta litología está el segmento litoral septentrional Arecibo - Punta La Bandera, que tiene aproximadamente 140km de longitud y conforma una banda regular de aproximadamente 5km de ancho con depósitos lacustres en un fondo calcáreo.



8D

Figura 8D. Vista desde el Sur al Norte de un sector del Valle de Lajas, SO de Puerto Rico.

La DPPO en el segmento Puerto Real-Cerro de los Bonelli de la parte suroccidental de la isla se extiende, en sentido latitudinal, sobre cimas calcáreas de la ZSO. Ella es el límite sur de la cuenca del río Guanajibo que drena al NO sobre un substrato calcáreo. Al sur del segmento mencionado se localiza una llanura carbonatada con ciénagas y lagunas (Rincón, Cartagena y de Guánica) dispuestas también en sentido latitudinal (Valle de Lajas). Destacan una serie de elevaciones como Cerro Mariquita-Sierra Bermeja (~300m de altitud) donde hay pequeñas superficies de planación y que contrastan con la uniformidad de la llanura.

Mapa morfotectónico

La Figura 9 contiene los resultados principales del estudio morfotectónico de PR. Este material muestra que el macrobloque tiene una Figura aproximadamente rectangular en el sentido latitudinal. Esta configuración está determinada por su localización espacio-temporal en el borde norte oriental de la placa Caribe y en inmediato contacto con la placa de Norteamérica dentro de la denominada ZLP. Las principa-

les características (24) del macrobloque PR están en la Tabla 10, y en la Figura 9 se representan: 1) los nueve alineamientos principales (Tabla 11); 2) las doce intersecciones principales (Tablas 12 y 13); 3) los dos mesobloques (Tabla 14); 4) los dieciocho bloques (Tablas 15 y 16); 5) el sentido del basculamiento promedio de los microbloques. Además, debido a la significativa actividad paleosísmica del alineamiento del Valle de Lajas, se incluye también en la Figura 9. Sin embargo, en la categorización de los elementos lineales aplicada a ese alineamiento es una estructura límite de microbloques y nanobloques.

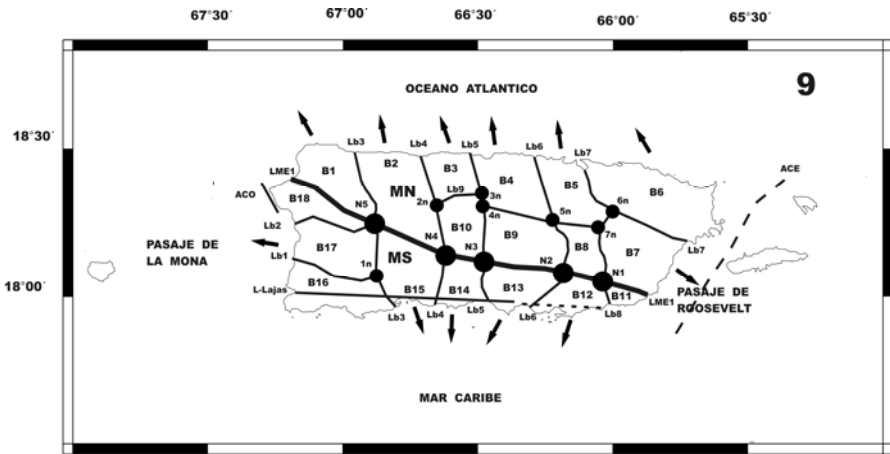


Figura 9. Esquema morfotectónico de Puerto Rico. Aparecen: A) los morfoalineamientos (líneas negras) de 3^{er} orden [LME1] y de 4^o orden [Lb1] (véase Tabla 11); B) las intersecciones (círculo negro) de 3^{er} orden [N1] y de 4^o orden [1n] (véase Tabla 12); C) los mesobloques: Septentrional [MN] y Meridional [MS]; D) los bloques [B1] (véase Tablas 16 y 17); E) el sentido del basculamiento estimado (flecha negra); F) los alineamientos: a) de la costa este [ACE] y de la costa oeste [ACO]; b) el alineamiento Lajas [L- Lajas, límite de nano y microbloques] (línea negra).

De otra parte, como se dijo anteriormente, el estudio realizado permite identificar un total de dos mesobloques (Septentrional y Meridional) y dieciocho bloques; pero también hay 18 microbloques y 32 nanobloques en la parte septentrional, y 13 microbloques y 23 nanobloques en la parte meridional. Se han determinado en los bloques septentrionales 356 superficies de cimas y en los meridionales 178. Esa misma proporción se da en cuanto a los tipos de cimas, planas 113 y 71 (0.63), y punteagudas 243 y 107 (0.44), respectivamente. Esto indica, sin margen a dudas, que la actividad neotectónica es mayor al Norte.

Tabla 11
Alineamientos principales (morfoalineamientos)

<i>Alineamientos / Orden</i>	<i>Dirección / Longitud (km) / Ks / Intersecciones</i>	<i>Localidades</i>
LME1 / 3	NO-SE / 150 / 0.81 / N1, N2, N3, N4, N5	Punta del Boquerón – Puerto Manuabo
Lb1 / 4	NO-SE / 37.2 / 0.90 / 1n	Punta Guanajibo – Sabana Grande
Lb2 / 4	O-E / 36.0 / 0.90 / N5	Añesco – Cerro La Torre
Lb3 / 4	NNO-SSE / 62.4 / 0.82 / N5, 1n	Quebradillas – Punta Ventana
Lb4 / 4	NNO-SSE / 54.0 / 0.91 / N4, 2n	Arecibo – Playa de Ponce
Lb5 / 4	NNO-SSE / 61.2 / 0.80 / N3, 3n, 4n	Punta Manatí – Velásquez
Lb6 / 4	N-S / 62.5 / 0.80 / N2, 5n	Punta Boca Juana – Salinas
Lb7 / 4	NNO-SE / 55.2 / 0.75 / 6n	Cataño – Playa de Naguabo
Lb8 / 4	N-S / 31.2 / 0.82 / N7, 7n	San Lorenzo – La Palma
Lb9 / 4	ONO-ESE / 76.8 / 0.67 / 2n, 3n, 4n, 5n, 7n	Montaña – San Lorenzo

Nota: Ks= coeficiente de sinuosidad.

Tabla 12
Resumen de las intersecciones principales

<i>Intersecciones / Orden / Composición</i>	<i>Denominación</i>	<i>Mesobloque</i>	<i>Bloques / Total</i>
N1 / 3 / LME1-Lb8	Campamento Real	Límite	B7, B8, B11, B12 / 4
N1 / 3 / LME1-Lb6	Las Tetas	Límite	B8, B9, B12, B13 / 4
N3 / 3 / LME1-Lb5	Cerro de las Cuevas	Límite	B9, B10, B13, B14 / 4
N4 / 3 / LME1-Lb4	Garaguao	Límite	B2, B10, B14, B15 / 4
N5 / 3 / Lb1-Lb3	Cerro La Torre	Límite	B1, B2, B15, B17, B18 / 5
1n / 4 / Lb4-Lb9	Yanco	Meridional	B15, B16, B17 / 3
2n / 4 / Lb5-Lb9	Montaña	Septentrional	B2, B3, B10 / 3
3n / 4 / Lb5-Lb9	Cerro Purrón	Septentrional	B3, B4, B10 / 3
4n / 4 / Lb5-Lb9	Cerro Purrón	Septentrional	B4, B9, B10 / 3
5n / 4 / Lb6-Lb9	Comerio	Septentrional	B4, B5, B8, B9 / 4
6n / 4 / Lb7-Lb8	Gurabo	Septentrional	B5, B6, B7 / 3
7n / 4 / Lb8-Lb9	San Lorenzo	Septentrional	B5, B7, B8 / 3

Tabla 13
Cantidad de nudos

<i>Orden</i>	<i>Cantidad</i>
2	5
3	7
4	25
5	46
Σ	83

Tabla 14
Composición de los mesobloques

<i>Mesobloque</i>	<i>Bloques</i>	<i>Microbloques</i>	<i>Nanobloques</i>	<i>Intersecciones</i>	<i>Valles (V/U)</i>
Septentrional	10	18	32	6	140/124
Meridional	8	13	23	1	42/ 42
Σ	18	31	55	7	182/166

Tabla 15
Careacterísticas de los bloques

<i>Bloques / Microbloques / Nanobloques</i>	<i>Localización / Puntos de control</i>	<i>Valles (V-U) / Superficies de cimas (Planas - Punteagudas) / Σ</i>
B1 / 2 / 3	Septentrional / 16	(0 - 5) / (25 - 0) / 25
B2 / 2 / 3	Septentrional / 18	(0 - 10) / (26 - 10) / 36
B3 / 1 / 2	Septentrional / 23	(0 - 4) / (23 - 38) / 61
B4 / 2 / 3	Septentrional / 19	(0 - 17) / (16 - 15) / 31
B5 / 2 / 4	Septentrional / 19	(4 - 16) / (10 - 19) / 29
B6 / 2 / 5	Septentrional / 15	(15 - 20) / (4 - 27) / 31
B7 / 2 / 5	Septentrional / 14	(18 - 10) / (4 - 25) / 29
B8 / 2 / 2	Septentrional / 10	(30 - 20) / (1 - 32) / 33
B9 / 2 / 3	Septentrional / 10	(35 - 12) / (2 - 34) / 36
B10 / 1 / 2	Septentrional / 11	(38 - 10) / (2 - 43) / 45
B11 / 1 / 2	Meridional / 9	(5 - 3) / (1 - 10) / 11
B12 / 1 / 2	Meridional / 10	(10 - 5) / (3 - 17) / 20
B13 / 2 / 2	Meridional / 15	(7 - 3) / (10 - 10) / 20
B14 / 2 / 3	Meridional / 12	(2 - 6) / (9 - 10) / 19
B15 / 2 / 4	Meridional / 20	(18 - 8) / (10 - 22) / 32
B16 / 1 / 2	Meridional / 11	(0 - 7) / (16 - 2) / 18
B17 / 2 / 5	Meridional / 10	(2 - 7) / (12 - 21) / 33
B18 / 2 / 3	Meridional / 10	(0 - 3) / (10 - 15) / 25
Σ 31 / 55	252	182

El límite entre los mesobloques Septentrional y Meridional es el alineamiento LME1 (Figura 9). Este morfoalineamiento de tercer orden y dirección NO-SE tiene una longitud de 150km con coeficiente de sinuosidad de 0.81. Esto significa que es una estructura lineal no poco afectada por deformaciones transversales, y que tiene las características de una falla activa. Es decir, no es una estructura continua (o extensa). Además, coincide con la falla que separa a las mencionadas Provincias Igneas del Suroeste y Central; y se corresponde, prácticamente, con la Gran Zona de Falla del Sur (Figura 3 de Masson y Scanlon, 1991). Mientras que la combinación de alineamientos Lb5 y Lb7 se corresponden con el límite entre las Provincias Igneas central y del nordeste. Se añade que los bloques B1, B3, B4 y la mayor parte del bloque B2 están en la provincia del Terciario Medio y de rocas sedimentarias jóvenes y los bloques B12-B18 están en la Provincia Ignea del suroeste. Además, el bloque B6 y la parte meridional del B5 se corresponden con la Provincia

Ignea del nordeste. Y la parte meridional del B2 y los bloques B7-B10 están en la Provincia Ignea Central. Estos últimos cuatro bloques están localizados entre las áreas de intersección de tercer orden (N1-N4) por su parte meridional, y entre las de cuarto orden (2n-5n y 7n) por su parte septentrional.

En la sección de Mapas y esquemas se dijo que la mayor densidad de fracturas se correspondía con dos pares de bloques. Estos bloques son los denominados como B2-B15 y B5-B8 (Figura 9). De esa forma y atendiendo a la dirección del drenaje en ellos y la disposición de los microbloques y nanobloques es posible concebir la posibilidad de rotaciones antihorarias, y un mayor nivel de actividad sísmica en este sector.

Al comparar los 24 alineamientos principales determinados por métodos matemáticos del campo gravimétrico (Figura 7) con los 10 morfoalineamientos principales del método morfotectónico (Figura 9) se obtiene una coincidencia del 48%. Esto se corresponde con lo obtenido para Jamaica (49%) y La Española (51%) por los autores. La coincidencia entre las alineaciones LME1 y el más extenso alineamiento (L1) determinado por el método matemático es del 78%. De otra parte, las 3 intersecciones gravimétricas (N1, N2, N3) se asocian con las correspondientes intersecciones morfotectónicas de 3^{er} orden (N5, N4 y N1), respectivamente. Es decir, que se confirma la presencia del LME1 y de tres áreas de intersección morfotectónica en otro resultado independiente.

Se ha visto que los dos mesobloques tienen una marcada diferenciación atendiendo a la Figura del valle fluvial (Tabla 14). Así el mesobloque Septentrional demuestra que es mucho más activo que el Meridional. La Tabla 17 contiene la cantidad de sectores de levantamientos más jóvenes (2°-3° orden) en los bloques. Con ella es posible añadir que predomina la actividad de los bloques septentrionales. Mientras que el porcentaje de bloques con diferente tendencia al levantamiento está en la Tabla 18. Consecuentemente, la parte septentrional del macrobloque PR es la más activa. Los sectores de levantamiento más recientes y más antiguos de los mesobloques se dan en la Tabla 19. Esto confirma lo expresado por Moussa *alii* (1987) en cuanto a que la parte septentrional de PR ha tenido fuertes movimientos verticales tectónicos desde el Plioceno.

Las cantidades de intersecciones en los bloques y el macrobloque aparecen en las Tablas 12 y 13, respectivamente; y como era de esperar, la cantidad de intersecciones morfotectónicas de mayor categoría es menor (12) que para categorías inferiores. Sin embargo, estas doce intersecciones deben ser los sitios más activos, pero a los que no es posible, por el momento, asociarles terremotos. Además, está determinado que los bloques: 1) intermedios B7-B10 tienen las cizalladuras de izquierda; 2) B8 y B12 tienen muchas y diversas cizallas del NE-SO; 3) B12-B14 tienen definida tendencia al descenso en la parte sur, mientras que en la parte norte de los bloques B3-B6 la tendencia es al levantamiento. Es decir, el relieve muestra la influencia de la interacción de las placas Caribe-Norteamérica.

Tabla 16
Descripción de los bloques

<i>Bloques / Denominación</i>	<i>Localidades</i>	<i>Hmáx (m)/ Alineamientos</i>
B1 / Aguadilla	Aguadilla, Centro Palmar, Cordillera Jalcoa, Isabela, Victoria, Moca, Ponce, Quebradillas,	Cordillera Jalcoa – 363 / Lb3, LME1
B2 / Camuy	Montañas Guarionex, Camuy, Hatillo, Alianza, Lechuga, Las Cunetas, Motojillo, Punta Brava, Bayaney, Cerro de la Torre, Cerro Roncador, Arecibo	620 / Lb3, Lb4, LME1
B3 / Montaña	Montaña, Florida, Montebello, Vigía, Caño Tiburones, Barcelonesa	Montaña – 417/ Lb4, Lb5, Lb9
B4 / Manatí	Colonia Combate, Vega Baja, Dorado, Manatí, Higuillar, Manatí, Higuillar, El Campamento, Los Puertos, El Alto, Punto Cubano, El Polvorín, Corozal, Vega Alta	Montañas de Orazal – 500 / Lb5, Lb6, Lb8, Lb9
B6 / San Juan	Río Grande, La Bayamesa, Cerro Gordo, Campo Rico, El Verde, Río Grande, El Toro, Sierra de Loquillo, El Yunque, El Mango, Quebrada Seca, Colonia Fortuna, Fajardo, Colonia El Banco, Luquillo, Dagua, San Juan, Certaino, Los Ranchos, Leprocomio, Carolina, Colonia Monserrate, Lorza Aldea, Colonia Santa Bárbara, Colonia Dolores	El Toro - 1,074 / Lb7
B7 / Humacao	Cuchilla de Panduras, Sierra de Cavey, Buena Vista, Humacao, Playa Guayacanes, Juncos, Las Piedras	Sierra de Guadarraya – 400 / Lb7, Lb8, LME1
B8 / Caguas	Las Piñas, Cayey, San Lorenzo, Cidra, Cerro de la Tabla, La Plaza, Comerío, La Rampla, Caguas	Cerro de la Tabla – 890 / Lb6, Lb8, Lb9, LME1
B9 / La Torrecilla	Matacanas, Cerro Pío, La Torrecilla, Bananquitas	La Torrecilla – 948 / Lb5, Lb6, Lb9, LME1
B10 / Villalba	Cerro de Punta, Cerro Morales, Cerro Magoyo, Cerro Gordo, Villalba	Cerro de Purita - 1,388 / Lb4, Lb5, Lb9, LME1
B11 / Sierra Guadarraya	Sierra Guadarraya, Hacienda, San Isidro, Patillas, Pico Lebrón	Cuchilla de Panduras – 516 / Lb8, LME1
B12 / Guayama	Guayama, Arroyo, Colonia, Algarrobo, Cuatro Callos, Las Palmas, Hacienda Mercedes, Coquí, Jobos, Vázquez Proyecto, Cerro de la Tabla, Colonia Fortuna	Cerro de la Tabla – 890 / Lb6, Lb8, LME1
B13 / Coamo	Santa Isabel, Jauca, Arenal, Velásquez, Baños de Coamo, Coamo, Rabo del Búey, Hacienda Esmeralda, Hacienda San José, Los Llanos	- / Lb5, Lb6, LME1

Continuación Tabla 16

<i>Bloques / Denominación</i>	<i>Localidades</i>	<i>Hmáx (m) / Alineamientos</i>
B14 / Pastillo	Boca Chia, Calzada, Cerro de las Cuevas, Arus, Pa-seillito, Pastillo, Cuatro Calles, Guayabal, Sabarietas, Playa de Ponce, Cerro el Gato, Coto Laurel	Cerro de las Cuevas – 638 / Lb4, Lb5, LME1
B15 / Ponce	Ponce, Peñuelas, Seboruco, Tallaboa, Pastillo Bajo, El Farom Guayanilla, Los Rábanos, Monte Membrillo, Adjuntas, Monte Membrillo, Monte Marqueno	Monte Membrillo - 1,000 / Lb3, Lb4, LME1
B16 / Cabo Rojo	Cerro de los Bonillo, La Pica, Cabo Rojo, Joyuda, Guánica, Ensenada, Palomas, Barinas, Parquera, Sierra Bermeja, Peñones de Melones, Boquerón, Cuatro Caminos, Guanaquilla, Monte Grande, San Germán	288 / Lb1, Lb3
B17 / Maya-güez	Mayagüez, Poblado Sábalos, Las Mesas, Las Vegas, Las Marías, Indiera Actta, Puente las Vegas	Indiora Alta – 925 / Lb1, Lb2, Lb3
B18 / Cadena San Fco.	Córcega, Aguada, Rincón, Cerro Gordo, Tablonal, Perchas, Cadena Sen Francisco, Coloso	Cerro Gordo – 270 / Lb2, Lb3, LME1

Datos de Puerto Rico y Jamaica

En la Tabla 20 se dan algunas características principales (16) de las dos islas menores del arco de las Antillas Mayores, Jamaica y PR. Aunque ellas son dos macrobloques morfotectónicos del norte de la placa Caribe, y cada una tiene una fosa oceánica asociada a su parte septentrional, su contexto geodinámico es diferente. Otra diferencia morfotectónica regional significativa respecto de las fosas más profundas, Oriente y PR, está en el gradiente neotectónico del relieve. Así, la fosa de Oriente (~-7,500m) tiene una relación directa y muy fuerte con el relieve del macrobloque de Cuba Oriental (1,974m). El desnivel es de aproximadamente 10km; mientras que eso no se presenta en el segmento de la ZLP de PR. De esta forma se puede comprender que los desplazamientos laterales de las dos grandes placas Caribe y Norteamérica tienen importantes componentes de movimiento vertical, directo e inverso, así como de rotación de los bloques o microplacas. Es decir, PR y su entorno se ajustan más a la rotación, mientras que en Cuba Oriental prevalecen los movimientos verticales.

Tabla 17
Sectores de levantamiento de 2°-3° orden en los bloques

<i>Bloques</i>	<i>Cantidad</i>
B9, B10, B15	20
B6, B7, B8	10
B5, B17	8
Σ	38

Tabla 18
Porcentaje de la actividad en los bloques por área

<i>Intensidad de levantamiento</i>	<i>Muy activo</i>	<i>Activo</i>	<i>Débil</i>
%	15	27	41

Tabla 19
Diferencia de isobasitas en los mesobloques [para distinguir la intensidad de los levantamientos (muy activo, activo y débil)]

<i>Diferencia de isobasitas</i>	<i>Mesobloques</i>	
	<i>Septentrional</i>	<i>Meridional</i>
2-3	13 %	2 %
4-5	18 %	9 %
Clasificación	Activo	Débil

Tabla 20
Características de los macrobloques Jamaica y Puerto Rico

<i>Características</i>	<i>Jamaica</i>	<i>Puerto Rico</i>
Área (km ²)	11,424	9,104
Longitud de costas (km)	800	501
Altitud máxima (m)	2,230	1,338
Altitud media (m)	725	650
Cantidad de Divisoria Principal de Primer Orden	1	1
Longitud de la DPPO (km)	300	206.4
Dirección predominante de la DPPO	E-O	E-O
Coefficiente de sinuosidad de la DPPO	0.69	0.79
Cantidad de cuencas fluviales (Septentrionales / Meridionales)	22 / 36	22 / 36
Orden máximo del río	7	6
Cantidad de sectores anómalos en los ríos	175 (90 %)	83 (61 %)
Cantidad de superficie de cimas	1,022	534
Cantidad de mesobloques / bloques / microbloques / nanobloques	2 / 11 / 29 / 65	2 / 18 / 31 / 55
Cantidad de intersecciones principales 3 ^{er} / 4 ^o orden	7 / 9	5 / 7
Dirección predominante del fracturamiento	NO	NE, NO, E-O
Magnitud del terremoto más fuerte	7.9	8.0

Apuntes finales y conclusiones

Se ha establecido, por primera vez, con la metódica morfotectónica que PR es un macrobloque emergido, asimétrico y activo dentro la ZLP del Caribe-Norteamérica. En el relieve de esta estructura de Figura rectangular, se identifican, con diversos métodos, los elementos de la interacción de las placas. El macrobloque está compuesto de 2 mesobloques, 18 bloques, 31 microbloques y 55 nanobloques. Hay un total de 10 zonas de alineamientos principales y 12 intersecciones, 5 de tercer orden y 7 de cuarto orden. Estas intersecciones tienen la mayor posibilidad de asociación de terremotos (de baja energía) y articular las rotaciones de las UT. Sin embargo, el mayor nivel de actividad sísmica, y con gran diferencia, está en la parte marina, en los límites externos del macrobloque.

Las características cuantitativas y cualitativas de las UT delimitadas en el macrobloque se recogen en un conjunto de tablas, a modo de ilustración de los métodos aplicados. Así, el macrobloque PR se diferencia muy bien, en cuanto a las características del relieve superficial (método de morfoisohipsas) y de la red fluvial. Para esta última aplicación hay dos grandes cuencas, una septentrional y otra meridional, que no se corresponde con las áreas de los mesobloques. El límite entre las dos cuencas es la DPPO que muestra en su trazo aproximadamente latitudinal la influencia de los movimientos de las placas tectónicas Caribe y Norteamérica, ya por su asimetría y valor del $K_s=0.79$. La cuenca septentrional es la más activa y la de mayor área, y en ella hay muchos sectores de levantamientos neotectónicos.

Como un resultado paralelo se presentan 16 características morfotectónicas de los macrobloques caribeños de Jamaica y PR. Así se comprende que es más activo el primer macrobloque. Además, se dan elementos para distinguir las muy diferentes características geodinámicas y neotectónicas de las fosas de PR y Oriente en su relación con los macrobloques de PR y Cuba Oriental, respectivamente. La fosa de PR es la más profunda de la región, pero la diferencia altimétrica entre la tierra emergida (macrobloque) y la depresión (fosa aldeaña) es significativamente superior en el sector de Cuba, con $\sim 10\text{km}$, en un gradiente del relieve muy fuerte. Es decir, que para ambos casos la interacción de las placas del Caribe y de Norteamérica, se resuelve fundamentalmente con desplazamiento lateral izquierdo de las placas; aunque existen importantes movimientos verticales, de tipo directo e inverso, y de rotación de sus bloques o microplacas.

Agradecimientos

El trabajo es una contribución de los proyectos REN2003-08520-C02-02, REN2002-1249E/RIES y CGL2005-25012-E. Un especial y sincero agradecimiento a los especialistas Christa von Hillebrandt y Paul Mann por la ayuda para los traba-

jos de campo. La becaria Diana Núñez Escribano preparó las bases cartográficas. Las tareas de laboratorio se realizaron en el Departamento de Geofísica y Meteorología, de la Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid.

Referencias

- Abbad F. I., 1970, *Historia geográfica civil y natural de la Isla de San Juan Bautista de Puerto Rico*, Editorial Unversitaria, Río Piedras.
- Alekseevskaya M., Gabrielov A., Gelfand I, Gvishiani A. y Rantsman E., 1977, "Formal morphostructural zoning in mountain territories", *J. Geophys.*, 43:227-233 (en inglés).
- Arsovsky M. y Hadzievsky D., 1970, "Correlation between neotectonics and the seismicity of Macedonia", *Tectonophysics*, 9:129-142 (en inglés).
- Asencio E., 1980, *Western Puerto Rico seismicity*, USGS OFR80-192, 135 pp. (en inglés).
- Assinovskaya B. A. y Solovyev S. L., 1994, "Definition and description of the sources zone of potencial earthquakes in the Barents Sea", *Physics of the Solid Earth*, 29(8):664-675 (en inglés).
- Bhathia S. C., Chetty T. R. K, Filomonov M., Gorshkov A., Rantsman E. y Rao M.N., 1992, *Identification of potential areas for the occurrence of strong earthquakes in Himalayan Arc region*, Proc. Indian Acad.Sci. Earth Planet. Ser., 101(4):369-385 (en inglés).
- Berkey C. P., 1915, *Geological reconnoissance of Puerto Rico*, Editorial Academia de Ciencias de Nueva York, New York (en inglés).
- Briggs R. P. y Akers J. P., 1965. "Hydrogeologic map of Puerto Rico and adjacent islands", *Hydrologic investigations, Atlas HA-197*, Editado por Geological Survey.
- Bunce E. T. y Fahlquist D. A., 1962, "Geophysical investigation of the Puerto Rico trench and outer ridge", *J. Geophys. Res.*, 67(10):3,955-3,972 (en inglés).
- Burke K., Cooper C., Dewey J. F., Mann P. y Pindell J. L., 1984, *Caribbean tectonics and relative plate motions*. Geological Society of America Memoir, 162:31-63 (en inglés).
- Byrne D. B., Suárez G. y McCann W. R., 1985, "Muertos trough subduction-microplate tectonics in the northern Caribbean?", *Nature*, 317:420-421 (en inglés).
- Calais E., Mazabraud Y., Mercier de Lèpinay B., Mann P., Mattioli G. y Jansma P., 2002, "Strain partitioning and fault slip rates in the NE Caribbean from GPS measurements", *Geoph. Res. Letters*, 29:18 (en inglés).

- Case J. E. y Holcombe T. L., 1980, "Tectonic map of Caribbean. U.S.", *Geol.Surv.Misc.Invest.Ser.*, Map I-1100 (scale 1:2,500,000).
- Case J. E., Holcombe T. L. y Martin R. G., 1984, "Map of geologic provinces in the Caribbean region", *Geol.Soc.Am. Memor.*, 162:1-31 (en inglés).
- Chigariov V. P., 1977, Aspectos teóricos y regionales del análisis morfoestructural. en *Compendio de la Sociedad Moscovita de Experimentadores de la Naturaleza*, Editorial de la Universidad de Moscú, 12, 85-95 (en ruso).
- Cisternas A., Godefroy P., Gvishiani A., Gorshkov A. I., Kosobokov V., Lambert M., Ranzman E., Sallantin J., Soldano H., Soloviev A. y Weber C., 1985, "A dual approach to recognition of earthquake prone areas in western Alps", *Annales Geophysicae*, 3(2):249-270 (en inglés).
- Clinton J. F., Cua G., Huérfano V., Hillebrandt-Andrade Ch. Von y Martínez Cruzado J., 2006, "The current state of seismic monitoring in Puerto Rico", *Seismological Research Letters*, 77(5):532-543 (en inglés).
- Cotilla M. O. y Córdoba D., 2003, "Caracterización morfotectónica de Galicia, España", *Revista Geofísica*, 58:5-56.
- , 2004, "Morphotectonics of the Iberian Peninsula", *Pure appl. geophys.*, 42(4):589-602 (en inglés).
- , 2004a, "Present geomorphological characteristics of Alboran islet and surroundings, Spain: a diagnosis", *Geogr.Fis.Dinam.Quat.*, 27:3-19 (en inglés).
- , 2009, "Morphostructural analysis of Jamaica", *Geotectonics*, 43(5):420-431 (en inglés).
- , 2009a, "Morfotectónica de Murcia, España", *Rev. Geográfica*, 146:77-110.
- Cotilla M. O., Córdoba D. y Calzadilla M., 2007, "Morphotectonic study of Hispaniola", *Geotectonics*, 41(5):368-391 (en inglés).
- Cotilla M. O., Córdoba D. y Herráiz M., 2004, "Main morphotectonic characteristics of Asturias, Spain", *Geofísica Internacional*, 44(1):65-101 (en inglés).
- Cotilla M. O., Díaz L., González D., Fundora M. y Pacheco M., 1997, "Estudio morfoestructural de La Española", *Revista Minería y Geología*, 14(3):3-88.
- Cotilla M. O., González E. C., Franzke H. J., Díaz J. L., Arteaga F. y Alvarez L., 1991, "Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000", *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 37 p.
- Cotilla M. O., Rubio M., Alvarez L. y Grünthal G., 1997a, "Potenciales sísmicos del sector Centro-Occidental del arco de Las Antillas Mayores", *Revista Geofísica*, 46:127-150.
- Cox R. T., 1994a, "Analysis of the drainage symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment", *Geol.Soc.Am.Bull.*, 106, 571-581 (en inglés).

- Deng J. y Sykes L. R., 1995, "Determination of Euler pole for contemporary relative motion of Caribbean and North American plates using slip vectors of intraplate earthquakes", *Tectonics*, 14:39-53 (en inglés).
- Díaz J. L., 1985, "Morfoestructura de Cuba occidental y su dinámica", Phd Thesis, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS, 200 pp. (en ruso).
- Díaz Hernández L. E., 1985, *Temblores y terremotos de Puerto Rico*, Ponce, Puerto Rico.
- Dixon T. H., Farina F., Demets Ch., Jansma P., Mann P. y Calais E., 1998, "Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation from decade of GPS observations", *J.Geophys.Res.*, 103(B7):15,157-15,182 (en inglés).
- Dolan J. F., Mullins H. T. y Wald D. J., 1998, "Active tectonics of north-central Caribbean: Oblique collision, strain partitioning and opposing subducted slabs. Special Paper", *Geol.Soc. of Am.*, 326:1-62 (en inglés).
- Dudley W. C. y Lee Min, 1998, *Tsunami*, 2nd ed. Honolulu, University of Hawaii Press (en inglés).
- Dumistrashko N. V. y Lilienberg D. A., 1954, "Utilización de los métodos geomorfológicos en las investigaciones sismotectónicas", en *Trudy Geofizika*, Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 25, 152 pp. (en ruso).
- Fielding H. y Taber S., 1919, "The Porto Rico earthquakes of October-November 1918", *Bull.Seism.Soc.Am.*, 9 (4):95-127 (en inglés).
- Filosofov V. P., 1960, *Short guide of morphometric methods to search tectonic structures*, Academy of Sciences of the URSS, Saratov, 45 p. (en ruso).
- Gatinsky Yu. G. y Rundquist D. V., 2004, "Geodynamics of Eurasia: Plate tectonics and block tectonics", *Geotectonics*, 38(1):1-16 (en inglés).
- González E., Cotilla M., Cañete C., Carral R., Díaz J. y Arteaga F., 2003, "Estudio morfoestructural de Cuba", *Geogr.Fís.Dinam.Quat.*, 26:49-69.
- Gorielov S. K., Kulmammedov M. y Kurbanov M., 1973, *Relación entre el relieve, las estructuras profundas y la sismicidad en Kopetdag*, Editorial Nauka, Moscú, 108 pp. (en ruso).
- Gorshkov A. I. y Soloviev A. A., 2009: Recognition of posible locations of future $M \geq 6.0$ earthquakes: the Mediterranean mountain belts, *Journal of Volcanology and Seismology*, 3(3):219-319 (en inglés).
- Gorshkov A. I., Panza G. F., Solov'Ev A. A. y Aoundia A., 2004, "Identification of seismogenic nodes in the Alps and Dinarides", *Bolletino della Societa Geologica Italiana*, 123:3-18 (en inglés).
- Gorshkov A. I., Kuznetsov I. V., Panza G. F. y Soloviev A. A., 2000, "Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria", *Pure appl.geophys.*, 157:79-95 (en inglés).

- Grindlay N. R., Hearne M. y Mann P., 2005, "High risk of tsunami in the northern Caribbean", *EOS, Trans.Amer.Geophys. Union*, 86(12):121-126 (en inglés).
- Guerasimov I. P., 1946, "Experiences on the geomorphological interpretation of the general scheme of geological structure of the URSS", *Phys.Geogr.Jour.*, 12:33-46 (en ruso).
- , 1973, "Dinamic correlation between recent crustal movements and the exogene processes", en *Recent Crustal Movements*. Academy of Sciences of the URSS, Esthonia (en ruso).
- Guerasimov I. P. y Rantsman E. Ya., 1973, "Morphostructures of mountain countries and the seismicity", *Geomorphology*, 1:3-13 (en ruso).
- Gvishiani A., Gorkhov A., Kosobokov V., Cisternas A., Philip H. y Weber C., 1987, "Identification of seismically dangerous zones in the Pyrenees", *Annales Geophysicae*, 87(06B):681-690 (en inglés).
- Hack J., 1973, "Stream profile analysis and stream gradient index", *U.S. Geol. Survey J. Res.*, 1:421-429 (en inglés).
- Hernández J. R., Seguinot J. y Reyes R., 2002, "Islas de Puerto Rico y de Culebra: regularidades geomorfológicas de su relieve costero y submarino", *Investigaciones Geográficas*, UNAM, 47:7-19.
- Hernández J. R., Lilienberg D. A. y González R., 1990, "Principales nudos morfoestructurales sismoactivos de Cuba Suroriental", Academia de Ciencias de Cuba, *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 17:67-77.
- Horsfield W. T., 1975, "Quaternary vertical movements in the Greater Antilles", *Geol.Soc.Am.Bull.*, 86:933-938 (en inglés).
- Jain V. E., 1980, *Geotectónica general*, Editorial Mir, Moscú, vols. 1 y 2.
- Jansma P. E., Mattioli G. S., López A., Demets A. Ch., Dixon T. H., Mann P. y Calais E., 2000, "Neotectonics of Puerto Rico and the Virgin Islands, northeastern California, from GPS geodesy", *Tectonics*, 19(6):1,021-1,037 (en inglés).
- Kafka A. L. y Weiden T. J., 1979, "The focal mechanisms and depths of small earthquakes as determined from Rayleigh wave radiation pattern", *Bull.Seismol.Soc.Am.*, 69:1,379-1,390 (en inglés).
- Kaye C. A., 1959, *Shoreline feature and Quaternary shoreline changes in Puerto Rico*, Editorial del Servicio Geológico Federal, Washington, D.C. (en inglés).
- Kelleher J., Sykes L. y Oliver J., 1973, "Possible criteria for predicting earthquake locations and their applications to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean", *J.Geophys.Res.*, 78:2,547-2,581 (en inglés).
- Korzhuev S. S., 1979, "Estudio del diseño general de la red fluvial", en *Análisis morfoestructural de los sistemas fluviales en la URSS*. Editorial Nauka, Moscú, 5-9 pp. (en ruso).

- Krestnikov T. P., 1987, "Geological aspects of earthquakes hazard", en *Proceedings of the UNDRO/USSR/UNESCO/UNDP/Training Seminar on Earthquake Prediction and Mitigation of Earthquake Losses*, URSS., 28 pp. (en inglés).
- Krestnikov V. N., Neresov I. L. y Shtange D. V., 1992, "Seismic zoning of the Pamir and Tien Shan areas", *Izvestiya Earth Physics*, 28(10):833-847 (en ruso).
- Ladd J., Holcombe J. L., Westbrook G. K. y Edgar N. J., 1990, *Caribbean marine geology: active margins of the plate boundary*, en *The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region (A decade of North American Geology)*. (Dengo, G. y Case, J. E., Eds.), Boulder, Colorado, Geological Society of America, 1990, 261-290 pp. (en inglés).
- Lander J. F. y Lockridge P. A., 1989, *United States Tsunamis (Including United States Possessions) 1690-1988*, Boulder: National Geophysical Data Center (en inglés).
- Larne D. K. y Ryan H. F., 1990, *Extensional tectonism in the Mona Passage, Puerto Rico and Hispaniola: A preliminary study*, *Trans. Caribbean Geol.Conf.*, 12:301-313 (en inglés).
- Larue D. K., 1994, *Puerto Rico and the Virgin Islands*, en *Caribbean geology: an introduction*. Edited by S. K. Donovan y T. A. Jackson, University of the West Indies Publisher's Association, Kingston (en inglés).
- Levchenko V. A. y Riabujin A. G., 1971, "Sobre la estructura en bloques del shelf septentrional de Cuba", *Geotectonics*, 5 (en ruso).
- Lewis J. y Drapper G., 1990, "Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean region. The Geology of North America, vol. H. The Caribbean Region", *The Geol.Soc. of Am.*, chapter 4:77-140, 1990 (en inglés).
- Liu Z., Zhao G. y Xu X., 1999, "Inferred seismic fault associated with the 1998, M=6.22 Zhanbei-Shanys earthquake, Hebei province, China", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89(2):550-554 (en inglés).
- Mann P. y Burke K., 1984, *Neotectonics of the Caribbean. Review of Geophysics and Space Physics*, 22(4):309-392 (en inglés).
- Mann P., Calais E., Ruegg J. C., DeMets C. y Jansma P. E., 2002, "Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations", *Tectonics*, 2(6) (en inglés).
- Mann P., Schubert C. y Burke K., 1984a, "Review of Caribbean neotectonics", en Dengo, G. y Case, J. E. (Eds.). *The Caribbean Region*. Bulder Colorado. Geological Society of America, *The Geology of North America*, vol. H, 307-338, 1984a (en inglés).
- Mann P., Taylor F. W., Lawrence E. y Teh-Lung K. U., 1995, "Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults. An example from the northeastern Caribbean plate margin", *Tectonophysics*, 246:1-69 (en inglés).

- Masson D. G. y Scanlon K. M., 1991, "The neotectonic setting of Puerto Rico", *Geol.Soc.Am.Bull.*, 103:144-154 (en inglés).
- McCann W. R., 2000, "Microearthquake data elucidate details of Caribbean subduction zone", *Geoph.Res.Letters*, 73(1):25-32 (en inglés).
- McCann W. R. y Pennigton W. D., 1990, "Seismicity large earthquakes and the margin of the Caribbean plate. The Geol. of North America, Vol. H. The Caribbean Region", *The Geol.Soc. of Am.*, chapter 4:291-305 (en inglés).
- McCann W. R. y Sykes L. R., 1984, "Subduction and aseismic ridges beneath the Caribbean Plate: implications for the tectonics and seismic potential of the northeastern Caribbean", *J.Geophys.Res.*, 89(6):4,493-4,519 (en inglés).
- Merritts D. y Herterbergs T., 1994, "Stream networks and long term surface uplift in the New Madrid seismic zone", *Nature*, 265:1,081-1,084 (en inglés).
- Meyerhoff H. A., 1933, *Geology of Puerto Rico. Editorial Universidad de Puerto Rico*, Río Piedras (en inglés).
- Mitchell R. C., 1954, *A survey of the Geology of Puerto Rico*, Editorial Estación Experimental Agrícola, Río Piedras, (en inglés).
- Molnar P. y Sykes L. R., 1969, "Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity", *Geol.Soc.Am.Bull.*, 80:1,639-1,684 (en inglés).
- Monroe W., 1976, *Some tropical landforms of Puerto Rico*, Editorial Servicio Geológico, Washington (en inglés).
- Monroe W., 1980, "Geology of the Middle Tertiary formations of Puerto Rico. U.S.", *Geological Survey Professional Paper*, P593, 93, (en inglés).
- Monroe W., 1980a, *The karst landform of Puerto Rico*, Editorial Servicio Geológico, Washington (en inglés).
- Morisawa M., 1985, *Rivers*. Longman, Londo and New York (en inglés).
- Moussa M. T., Seiglie G. A., Meyerhoff A. A. y Taner I., 1987, "The Quebradillas limestone (Miocene-Pliocene), northern Puerto Rico and tectonics of the northeastern Caribbean margin", *Geol.Soc.Am.Bull.*, 99(3):427-439 (en inglés).
- Müeller B., Reinecker J., Heidbach O. y Fuchs K., 2000, *The 2000 release of the World Stress Map* (available online at www.world-stress-map.org).
- Nikolaev N. I., 1982, *Neotectonic and its representation on the structure and relief of the URSS*, Geosgeoltejuzdat, Esthonia, 392 pp. (en ruso).
- Osborn G. y du Toit C., 1991, "Lateral plantation of river as a geomorphic agent", *Geomorphology*, 4:249-260 (en inglés).
- Pacheco J. F. y Sykes L. R., 1992, "Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989", *Bull.Seismol.Soc.Am.*, 82:1,306-1,349 (en ruso).
- Panagiotopoulos D. G., 1995, "Long-term earthquake prediction in Central America and Caribbean Sea based on the times and magnitude-predictable model", *Bull.Seism.Soc.Am.*, 85(4):1,190-1,201 (en inglés).

- Picó R., 1975, *Nueva Geografía de Puerto Rico: física y económica*, Editorial Universidad de Puerto Rico, San Juan.
- Pratt W. K., 1978, *Digital image processing*, A Willey - Interscience Publication, John Willey y Sons. New York, 749 pp. (en inglés).
- Prentice C. S., Mann P. y Burr G., 2000, *Prehistoric earthquakes associated with a Late Quaternary fault in the Lajas Valley, southwestern Puerto Rico*, Eos, Transactions of the American Geophysical Union, 81, F1182 (abstract) (en inglés).
- Prentice C. S. y Mann P., 2005, "Paleoseismic study of the South Lajas fault: First documentation of an onshore Holocene fault in Puerto Rico", in *Active Tectonics and Seismic Hazards of Puerto Rico, the Virgin Islands, and Offshore Areas*, ed. P. Mann, Geological Society of America Special Paper 385, pp. 215-222 (en inglés).
- Rantsman E. Ya., 1961, "Modern and recent tectonics of seismic regions of Middle Asia according to geomorphological data", en *Recent crustal movements and methods of studying them*, Moscú, 135-149 pp. (en ruso).
- , 1979, *Sites of earthquakes and morphostructures of mountain countries*, Editorial Nauka, Moscú, 171 p. (en inglés).
- Reid H. F. y Taber S., 1919, *The Porto Rico Earthquake of 1918: With descriptions of earlier earthquakes*, Report of the earthquake investigation commission, United States House of Representatives Document No. 269, Government Printing Office, Washington D.C. (en inglés).
- Reyes L., 1977, "Sismicidad y riesgo sísmico de La Española, Jamaica y Puerto Rico", *Boletín del IMME*, XV:59-60.
- Rona P. A., 1980, *The central North Atlantic Ocean basin and continental margin: Geology, geophysics, geochemistry and resources including the Trans-Atlantic geotransverse (TAG)*, Miami, Florida, NOAA Environmental Research Laboratories, Report 99 (en inglés).
- Rubio M., 1982, "Ocurrencia de tsunamis en el Caribe", *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2:170-180 (1982).
- Schenkova Z., Schenck V., Pospissil C. y Kottnauer P., 1995, "Seismogeological pattern of transition area between the eastern Alps and the western Carpathians", *Tectonophysics*, 248:235-245 (en inglés).
- Schwab W. C., Danforth W. W., Scalon K. M. y Masson D. G., 1991, "A giant submarine slope failure on the northern insular slope of Puerto Rico", *Mar. Geol.*, 96:237-246 (en inglés).
- Shepherd J. B. y Lynch L. L., 1992, "An earthquake catalogue for the Caribbean Part I, the instrumental period 1502-1900", Informe en la Reunión del Comité Ejecutivo del Programa Latinoamericano y del Caribe de Vulnerabilidad Sísmica, 59 p.

- Sherve R. L., 1966, "Statistical law of stream numbers", *J. Geology*, 74:17-37 (en inglés).
- Speed R. C. y Larue D. K., 1991, "Extension and transtension in the plate boundary zone of the northeastern Caribbean", *Geoph.Res.Lett.*, 18(3):573-576 (en inglés).
- Stein S., Demets C., Gordon R. G., Brodholt J., Argus D., Engeln J. F., Lundgren P., Stein C., Weins D. S. y Woods D. F., 1988, "A test of alternative Caribbean plate relative motion models", *J.Geophys.Res.*, 93:3,041-3,050 (en inglés).
- Strahler A. N., 1957, "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *A.Geophys. Union Trans.*, 38(6):913-920 (en inglés).
- Sykes L. R. y Seeber L., 1985, "Great earthquakes and great asperities, San Andreas fault, southern California", *Geology*, 13:835-838 (en inglés).
- Sykes L. R. y Ewing M., 1965, "The seismicity of the Caribbean region", *J.Geophys.Res.*, 70(20):5,065-5,074 (en inglés).
- Sykes L. R., McCann W. R. y Kafka A. L., 1982, "Motion of Caribbean plate during last 7 million yr and implications for earlier Cenozoic movements", *J.Geophys.Res.*, 87:10,656-10,676 (en inglés).
- Taber S., 1922, "The great fault troughs of the Antilles", *J.Geol.*, 30:89-114 (en inglés).
- United States Geological Survey, 1988, *Catalog of first motion focal mechanisms 1984-1988*, Open File Rep., 86-520 A.
- , 2009, Puerto Rico and the Virgin Islands earthquake information. <http://earthquake.usgs.gov/regional/world/index>.
- Ushakov S. A., Avgaev A. I., Galushkin Yu. I. y Dubikin E. P., 1979, "Destrucción de la isostasia de la litósfera de la región del Caribe y análisis geodinámico de su naturaleza", en *Tectónica y geodinámica de la región del Caribe*, Editorial Nauka, 63-77 pp., Moscú (en ruso).
- Van Gestel J. P., Mann P., Grindlay N. R. y Dolan J. F., 1999, "Three-phase tectonic evolution of the northern margin of Puerto Rico as inferred from an integration of seismic reflection, well and outcrop data", *Marine Geology*, 161(2-4):259-288 (en inglés).
- Van Gestel J. P., Mann P., Dolan J. F. y Grindlay N. R., 1998, "Structure and tectonics of the Upper Cenozoic Puerto Rico-Virgin Islands carbonate platform as determined from seismic reflection studies", *J.Geophys.Res.*, 103(12):30,505-30,530 (en inglés).
- Westbrook G. K., Boot H. P. y Peacock J. H., 1973, "Lesser Antilles subduction zone in the vicinity of Barbados", *Nature Physical Science*, 244:118-120 (en inglés).

- Zapp A. D., Bergquist H. R., Thomas C. R. y Berquist H. R., 1948, "Tertiary geology of the coastal plains of Puerto Rico", en *Oil and gas investigations map OM-0085*, 52-54 pp., USGS.
- Zhidkov M. P., Rotvain I. M. y Sadowskiy A. M., 1975, *Forecast of the more probable sites occurrence of strongest earthquakes, IV*, Papers of Seismology, 8:53-70 (en ruso).

INFORMES TÉCNICOS

Estimación de la precipitación mensual por un método de *downscaling* en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina

Laura Brandizi^{*, **}
Mario Sequeira^{*}
Sandra Fernández^{*}
Juan Carlos Labraga^{**}

Abstract

This work is part of an integrated study of the principal factors for the seasonal variation in the hydrologic resources of the Pampa Region, Argentina, and the development of advanced climate forecast methods. Its objective is to evaluate the capacity of a statistical procedure designed to estimate the local monthly rainfall from atmospheric data over each site and its interactions with the surface. The purpose of this research is to develop a reliable method for forecasting local rainfall anomalies of seasonal scale from climate forecast results based on a general circulation model for the atmosphere.

Key words: *Downscaling, Rainfall Anomalies, Pampa Region.*

Resumen

Este trabajo es parte de un estudio integral sobre los principales factores de la variación estacional de los recursos hídricos en la Región Pampeana, Argentina, y el desarrollo de métodos avanzados de pronóstico climático. Su objetivo es evaluar la capacidad de un procedimiento estadístico diseñado para estimar la lluvia mensual local a partir de datos del estado de la atmósfera sobre cada sitio y de sus interacciones con la superficie. El propósito de esta investigación es desarrollar un método confiable para pronosticar las anomalías locales de la lluvia de escala estacional a partir de resultados de un pronóstico climático basado en un modelo de la circulación general de la atmósfera.

* Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, CP. 8000, Argentina, correo electrónico: laurabrandizi@gmail.com

** Centro Nacional Patagónico, CONICET, Puerto Madryn, U9120ACD, Argentina.

Palabras claves: *regionalización del clima, anomalías de lluvia, Región Pampeana.*

Introducción

Una de las principales cuencas del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, es la cuenca alta del Río Sauce Grande, que cubre una superficie de 1,620km², hasta el embalse del Dique Paso de las Piedras. Las precipitaciones capturadas por la cuenca alimentan el embalse mencionado, cuyo lago suministra agua potable a una población de 350,000 habitantes distribuidos en la ciudad de Bahía Blanca y su zona de influencia (Figura 1). El impacto de las variaciones de la lluvia puede ser ejemplificado por las siguientes situaciones extremas. La lluvia del 9 de noviembre de 2002 originó un pico de más de 1,000m³/seg. El efecto regulador del embalse permitió atemperar los daños potenciales aguas abajo al descargar por su vertedero un caudal máximo de 455m³/s (Schefer, 2004). Actualmente, esta región se encuentra transitando una prolongada sequía que comenzó en el año 2005. Por lo tanto, el abastecimiento de agua y la producción agrícola-ganadera, sostén de la economía de la región, se encuentran severamente afectados por el déficit de precipitación de los últimos años.

Es de fundamental importancia contar con métodos de pronósticos de lluvia en periodos de uno a más meses, a fin de estimar la disponibilidad a corto y mediano plazo del recurso hídrico. Actualmente, las variaciones climáticas de la lluvia son pronosticadas a escala regional, mediante modelos globales de la circulación general de la atmósfera, sin embargo la resolución espacial de estos modelos (500km aproximadamente) no es suficiente para estimar la precipitación media sobre una cuenca con las dimensiones de la del Río Sauce Grande. No obstante, los métodos estadísticos de regionalización climática (*downscaling*) permiten estimar la lluvia y otras variables localmente a partir de datos del estado de la atmósfera sobre el sitio y su interacción con las características particulares de la superficie (topografía, vegetación, etc.), que afectan la distribución espacial y temporal de la lluvia (von Storch, 1999).

En dos localidades de la región estudiada se dispone de series de observaciones de lluvia suficientemente extensas como para calibrar un modelo estadístico de *downscaling*; éstas son Bahía Blanca (Latitud 38°53'S, Longitud 62°16'O, Altitud 60msnm, Distancia a la costa 8km) y Las Águilas (Latitud 38°15'S, Longitud 61°31'O, Altitud 350msnm, Distancia a la costa 90km); ésta última se encuentra ubicada en la cuenca alta del Río Sauce Grande a 100km al noreste de la ciudad de Bahía Blanca (Figura 1).

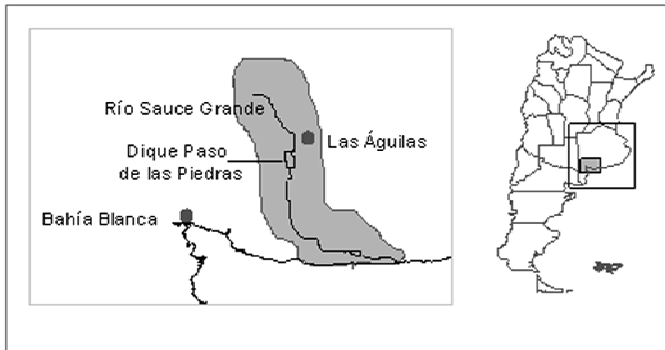


Figura 1. Ubicación geográfica de las localidades Bahía Blanca y Las Águilas y del embalse Paso de las Piedras. El sombreado indica la superficie total de la cuenca del Río Sauce Grande.

El clima de la Región Pampeana es templado, con una temperatura media anual de 17°C. Las temperaturas medias de verano oscilan entre los 20 y 25°C y las de invierno entre los 5 y los 12°C, disminuyendo de Norte a Sur. Las mayores precipitaciones se registran en el verano del Hemisferio Sur, y la estación de menores precipitaciones se extiende de mayo a septiembre. Los totales anuales de lluvia disminuyen de Este a Oeste. En particular, el clima de Bahía Blanca es templado sub-húmedo seco o de transición (Mormeneo y Castellví Sentís, 2001).

El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad del desempeño de un método de *downscaling*, diseñado para estimar la precipitación mensual sobre dos sitios, con características fisiográficas distintas (Bahía Blanca y Estancia Las Águilas), a partir del conocimiento del estado de la atmósfera. Se pretende desarrollar, en una próxima etapa, un método para anticipar las anomalías estacionales de la lluvia sobre la cuenca del Río Sauce Grande, basándonos en pronósticos climáticos regionales elaborados con modelos globales de la circulación general de la atmósfera, a fin de su aplicación al análisis hidrológico de cuencas regionales. Este estudio se inserta en una investigación integral de la variabilidad de los recursos hídricos en la región Pampeana Argentina y su pronóstico estacional.

Materiales y métodos

Los modelos estadísticos diseñados para estimar la cantidad de lluvia mensual en las localidades de Bahía Blanca y Las Águilas, Argentina, resultan de la suma de dos componentes: el promedio mensual de largo plazo y las desviaciones del valor de cada mes respecto de estos valores normales. Esta última componente fue calcu-

lada ajustando un modelo basado en el método de Regresión Lineal Múltiple (Wilks, 2006). El predictando es la anomalía en el total de lluvia mensual y los predictores potenciales fueron elegidos entre 25 variables atmosféricas que pueden estar relacionadas con los mecanismos productores de lluvia en esta región. La elección se hizo por el método de selección por pasos hacia adelante (Wilks, 2006) hasta un máximo preestablecido de ocho variables.

Las variables atmosféricas consideradas como potenciales predictores de la lluvia fueron: flujo de calor latente y flujo de calor sensible en superficie, presión en superficie, temperatura máxima, mínima y media a 2m sobre la superficie, cobertura total de nubes, agua precipitable, índice de inestabilidad de Showalter, temperatura en los niveles de 850hPa y 700hPa, altura geopotencial de 500hPa, espesor 500-1,000hPa, componentes zonal y meridional del viento en 850hPa, presión reducida al nivel medio del mar, vorticidad en 700hPa, 500hPa y 200hPa, divergencia en 700hPa y 200hPa, componente zonal del viento en 250hPa, advección de la relación de mezcla de vapor de agua en 850hPa y convergencia del flujo de relación de mezcla de vapor de agua en 850hPa.

Las variables enumeradas fueron obtenidas directamente, o calculadas a partir de, los datos del NCEP-DOE Atmospheric Model Intercomparison Project Reanalysis 2 (R2) (Kanamitsu *et al.*, 2002). Los datos en el nivel de superficie están disponibles en una grilla global Gaussiana de 1.9° longitud x 1.9° latitud aproximadamente. Los datos de las variables de altura están disponibles en una grilla uniforme de 2.5° longitud x 2.5° latitud y en 17 niveles estándar de presión. Los datos fueron interpolados bilinealmente sobre las coordenadas de los dos sitios de medición de la lluvia usando los cuatro puntos de la grilla más próximos. Las anomalías respecto de los valores medios mensuales así obtenidos permiten caracterizar el estado de la atmósfera sobre la vertical de cada estación pluviométrica.

El periodo de estudio se extiende desde 1979 hasta 2006 (28 años). Los modelos fueron desarrollados en el periodo 1987-2006 y verificados en el periodo parcialmente independiente 1979-1998, de igual longitud que el anterior y un solapamiento de 12 años. Se desarrollaron modelos de regresión para cada estación del año separadamente. Los resultados obtenidos (datos modelados) fueron comparados con los datos observados utilizando medidas estadísticas como correlación y error absoluto medio y analizando el ajuste de las muestras de datos de lluvia a una distribución de probabilidad teórica.

La distribución de probabilidad Gamma resulta adecuada para representar variables como la lluvia cuya distribución de probabilidad es asimétrica y su límite inferior es cero. El consenso es que este tipo de distribución, es una de las que mejor ajusta la diversidad de series climatológicas de precipitación (Briggs y Wilks, 1996). La función de densidad de esta distribución se expresa:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \tag{1}$$

Siendo α un parámetro de forma y β un parámetro de escala, ambos mayores que cero. Estos parámetros se pueden estimar mediante la aproximación de Thom (1958) como sigue:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{\left(1 + \frac{4A}{3} \right)} \right] \tag{2}$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \tag{3}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \tag{4}$$

donde \bar{x} es el valor medio de la variable aleatoria.

Como la precipitación puede tomar valores nulos, la aproximación sigue un procedimiento diferente; se calcula una función de distribución mixta compuesta por una función de probabilidad para los valores nulos y otra para los valores no nulos de la variable aleatoria. Si m es el número de los valores nulos sobre un total de n casos, se acepta que la probabilidad de que la precipitación mensual sea igual a cero es $q = m/n$ y la probabilidad de que sea superior a cero $p = 1-q$. La función de distribución resultante está dada por:

$$H(x) = q + p * G(x) \tag{5}$$

En donde $G(x)$ es la función de distribución de los $n - m$ valores distintos de cero de la serie.

La bondad del ajuste de la función gamma a cada serie fue verificada a través del test de Kolgomorov-Smirnov, éste determina si razonablemente puede pensarse que las mediciones muestrales provengan de una población que tenga esa distribución teórica. En la prueba se compara la distribución de frecuencia acumulada de la distribución teórica con la distribución de frecuencia acumulada observada. Se determina el punto en el que estas dos distribuciones muestran la mayor divergencia.

Resultados

A través del método de regresión gradual por pasos hacia delante (*forward stepwise regression*), se seleccionaron las variables predictoras que contribuyen significativamente a la variación de la respuesta en cada localidad y en cada estación del año. En la Tabla 1 se muestran las variables predictoras, el error estándar de los respectivos coeficientes de regresión y el valor del coeficiente de determinación R^2 de la regresión múltiple para cada estación del año en cada sitio modelado.

Tabla 1
VARIABLES predictoras de la lluvia en los modelos de regresión múltiple para las localidades Bahía Blanca y Las Águilas, error estándar de los respectivos coeficientes de regresión y coeficiente de determinación R^2 en cada estación

	R^2	Bahía Blanca	Error estándar %	R^2	Las Águilas	Error estándar %
v e r a n o	0,38	Flujo de Calor Sensible	24.1	0.41	Componente Meridional del viento en 850hPa	5.1
		Temperatura en 750hPa	17.7		Flujo de Calor Sensible	32.9
		Espesor de 500-1000 hPa	0.9			
o t o ñ o	0,36	Flujo de Calor Latente	42.2	0.4	Flujo de Calor Sensible	50.3
		Agua precipitable	2.5		Agua precipitable	2.0
		Vorticidad en 700 hPa	11.4		Vorticidad en 700 hPa	15.3
i n v i e r n o	0,36	Flujo de calor latente	39.0	0.49	Agua precipitable	1.5
		Divergencia en 200hPa	3.4		Vorticidad en 700hPa	10.8
					Advección de Relación de Mezcla en 850hPa	11.8
					Componente Meridional del viento en 850hPa	2.3
					Componente Zonal del viento en 850hPa	2.0
p r i m a v e r a	0,22	Agua precipitable	2.8	0.43	Flujo de calor latente	33.9
		Advección de Relación de Mezcla en 850hPa	13.9		Agua precipitable	3.1
					Componente Meridional del viento en 850hPa	4.8
					Divergencia en 200hPa	5.3
					Divergencia en 700hPa	9.6
				Showalter Index	3.6	

La variable predictora cuyo coeficiente presenta menor error estándar es el agua precipitable y está presente en seis de los ocho modelos desarrollados (por localidad y estación). De esta manera demuestra su relevancia como predictor de la lluvia ya que es un buen indicador de la cantidad de vapor de agua disponible en la atmósfera sobre la vertical de cada sitio.

La Figura 2 muestra los histogramas de las distribuciones de frecuencia de los datos observados y modelados y la curva de la distribución de probabilidad Gamma que mejor ajusta los datos de cada localidad estudiada. El acuerdo entre esta distribución teórica y los datos observados y modelados resulta ser satisfactorio si se consideran los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Wilks, 2006). La diferencia máxima en valor absoluto entre las funciones de distribución de frecuencia acumulada empírica y ajustada (d) y el nivel de significación efectivo (p) también son presentados en la Figura 2, si $p < 0.05$ se rechazaría la hipótesis nula. Por lo tanto, ningún test de Kolmogorov-Smirnov rechazó la hipótesis.

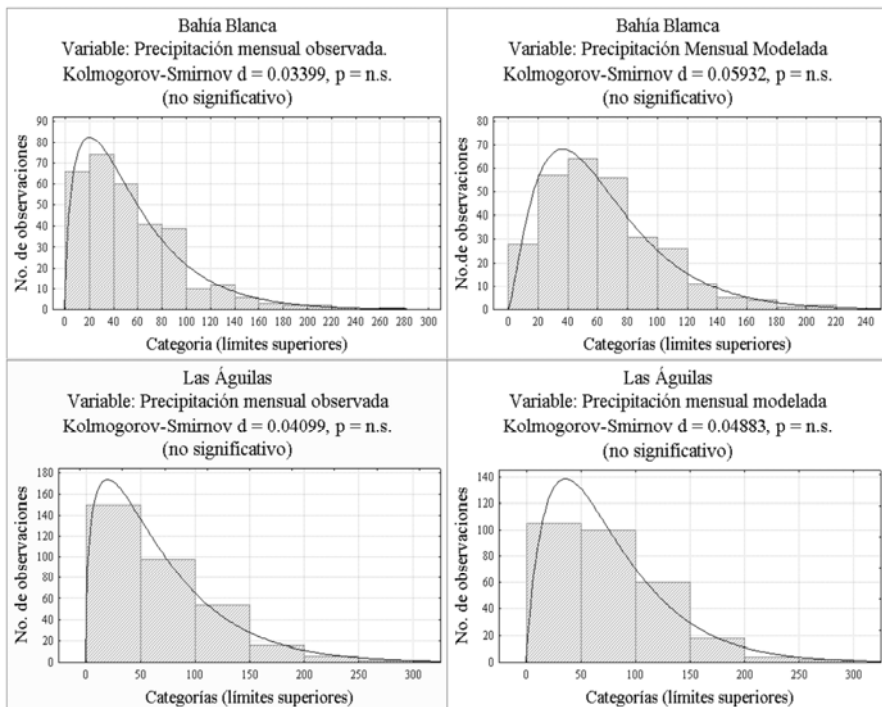


Figura 2. Distribución de frecuencia y ajuste mediante la función de distribución de probabilidad Gamma para los datos de precipitación mensual observados y modelados en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

Los parámetros de forma y de escala en Bahía Blanca son, respectivamente, $\alpha= 1.56$, $\beta= 35.6$ para los datos observados y $\alpha= 2.33$, $\beta= 27.24$ para los datos modelados. En Las Águilas los parámetros de forma y de escala son $\alpha= 1.4$, $\beta= 49.16$ para los datos observados y $\alpha= 1.88$, $\beta= 40.4$ para los datos modelados. En ambas localidades, el parámetro de forma de la distribución es mayor en los datos modelados que en los observados, en cambio el parámetro de escala es menor. Concordantemente, la distribución de los datos observados está más sesgada hacia la derecha que la de los datos modelados, lo cual indica que el modelo tiende a subestimar los valores máximos.

Una medida estadística usada frecuentemente en descripciones preliminares de una población es el ‘percentil’: valor de la variable por debajo del cual yace una determinada fracción del total de las observaciones. Los percentiles de la distribución Gamma para 20, 40, 60 y 80% se muestran en la Figura 3 para las muestras de los datos modelados y observados. Puede verse en la figura que el modelo subestima las lluvias mayores y sobreestima las menores.

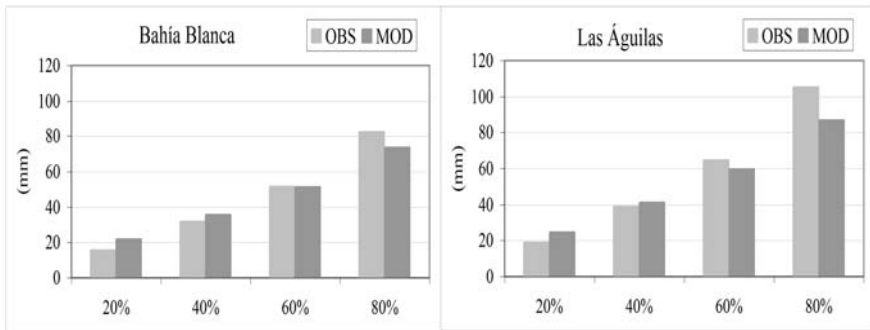


Figura 3. Percentiles de la distribución Gamma para los datos de precipitación mensual observados y modelados en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

La precipitación media anual observada de Bahía Blanca en el periodo 1979-2006 es de 631.4mm y la modelada es un 6% inferior (592mm); en Las Águilas la observada es de 805mm y la modelada es un 14.2% inferior (690mm).

El acuerdo entre los ciclos anuales de la lluvia observada y modelada en el periodo de validación, mostrados en la Figura 4, es bueno. En Bahía Blanca el máximo absoluto del ciclo anual de lluvias ocurre en el mes de marzo, en el mes de octubre tiene lugar un máximo secundario y en el mes de junio el mínimo absoluto. La estación seca (meses cuyo valor medio no excede el promedio mensual total) se extiende desde mayo hasta agosto. El coeficiente de correlación entre los ciclos anuales es 0.90 (significativo a nivel $p= 0.01$) y el promedio del error relativo es 4%.

En Las Águilas el máximo absoluto del ciclo anual de lluvia ocurre en Enero y es comparable al máximo secundario del mes de Marzo, el mínimo absoluto es en Junio, como en Bahía Blanca. La estación seca se extiende de mayo a agosto. El coeficiente de correlación entre los ciclos anuales es 0.97 (significativo a nivel $p=0.01$) y el promedio del error relativo a la media mensual es 10.2%.

Un aspecto importante a evaluar en el desempeño de los modelos estadísticos es su capacidad para reproducir las desviaciones de la lluvia observadas respecto de los valores normales en periodos de un mes o mayores. El coeficiente de correlación entre las series de anomalías mensuales de lluvia modeladas y observadas es 0.52 para Bahía Blanca y 0.47 para Las Águilas (ambos significativos al nivel $p = 0.01$).

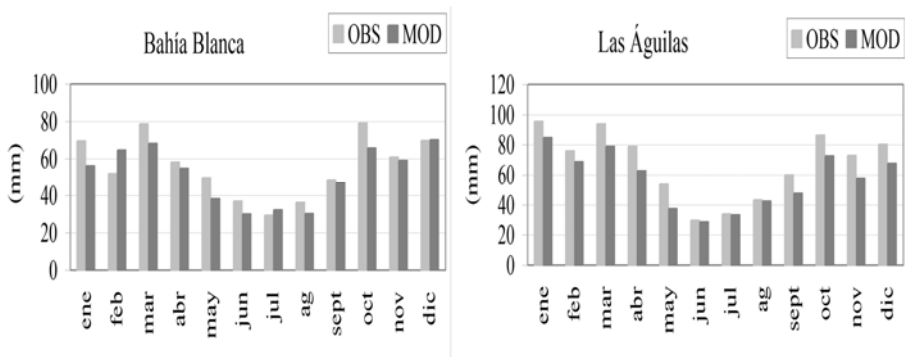


Figura 4. Promedios mensuales de los datos de lluvia observados y modelados en el periodo de validación, en las localidades Bahía Blanca y Las Águilas.

Para evaluar la capacidad del modelo estadístico para reproducir fluctuaciones persistentes en la lluvia se aplicó un promedio móvil de tres meses tanto en la serie de anomalías observadas como modeladas (véase Figura 5), tras lo cual fueron comparadas estadísticamente.

En Bahía Blanca, la correlación entre las series filtradas de datos observados y modelados es significativa ($p= 0.01$) e igual a 0.57. El promedio del error relativo es 22.7%. En Las Águilas el la correlación entre las series es significativa ($p= 0.01$) e igual a 0.45 y el promedio del error relativo es 20.1%. Resulta evidente en la Figura 5 que el modelo para Las Águilas no reproduce adecuadamente las anomalías positivas observadas en 1985, 1986 y 1987.

Para cada mes se calcularon la mediana, el desvío estándar y el coeficiente de variación para los datos modelados y observados en el periodo 1979-2006 (Tabla 2). Los correspondientes coeficientes de correlación y errores absolutos medios son mostrados en la Tabla 3.

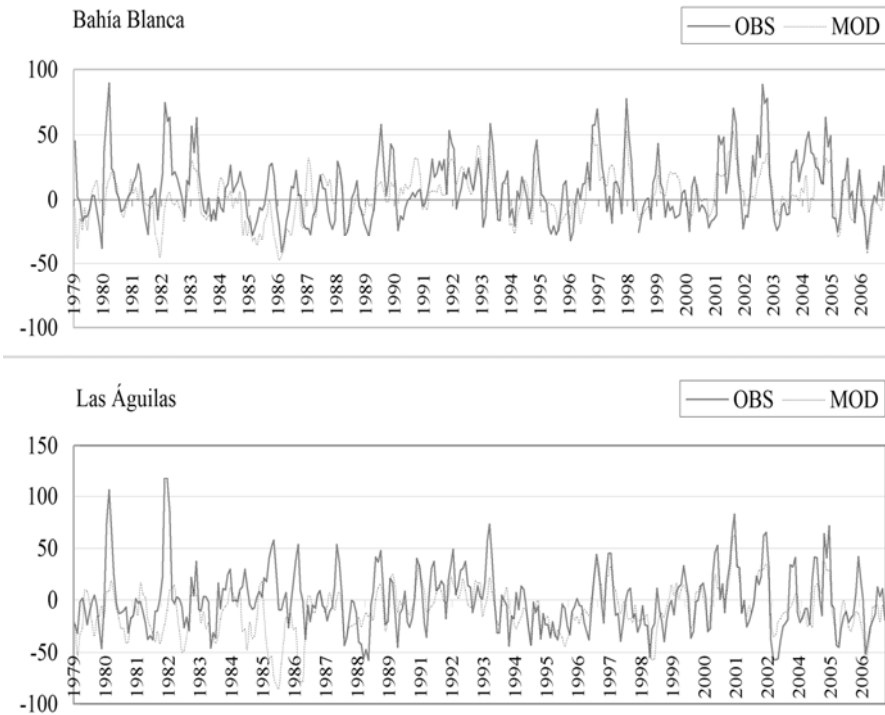


Figura 5. Series de los promedios móviles de tres meses de las anomalías de lluvia observadas y modelada en Bahía Blanca y Las Águilas.

El desvío estándar de la lluvia en cada mes tiende a ser subestimado por el modelo. Este es un comportamiento esperado en un modelo lineal cuyas variables independientes caracterizan el estado de la atmósfera en una escala espacial comparable a la distancia entre dos o más puntos del reticulado de los datos de los Reanálisis R2 (200 a 400km). En esta escala, la variabilidad temporal de la atmósfera es menor que la de la lluvia registrada localmente. Un procedimiento estándar para corregir este tipo de error sistemático consiste en multiplicar la serie por un coeficiente empírico. Klein *et al.* (1959) por ejemplo utilizó como factor de corrección de las anomalías modeladas un factor igual a la inversa del coeficiente de correlación múltiple del predicando con los predictores para obtener la varianza observada. Pero, este recurso incrementa el error cuadrático medio de las estimaciones y por ese motivo no fue aplicado.

El coeficiente de variación es máximo en los meses de invierno, característica captada adecuadamente por el modelo en ambas localidades.

Tabla 2
Resultados de parámetros estadísticos para Bahía Blanca y Las Águilas

<i>Serie Observada</i>	<i>Bahía Blanca</i>			<i>Las Águilas</i>		
	<i>Mediana</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Coefficiente de variación</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvío estándar</i>	<i>Coefficiente de variación</i>
	<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(%)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(%)</i>
1	59.0	38.9	56.1	98.0	51.1	53.5
2	44.5	33.1	63.9	57.0	58.3	76.8
3	61.5	55.2	70.1	75.5	53.5	56.9
4	35.0	50.6	87.1	64.0	74.8	94.9
5	53.0	28.7	57.8	47.0	46.4	86.5
6	16.0	24.8	66.8	15.5	37.0	124.9
7	20.0	26.4	89.9	25.0	35.3	103.8
8	26.5	31.5	87.0	35.0	34.9	80.7
9	40.5	31.9	65.7	54.0	38.1	63.6
10	70.0	48.2	61.0	78.0	47.8	55.4
11	55.0	30.6	50.5	50.0	55.6	76.1
12	54.0	53.1	76.2	78.0	60.8	75.6
<i>Serie Modelada por Downscaling</i>						
1	56.5	28.5	50.9	89.6	34.1	40.2
2	57.7	35.2	56.2	65.1	31.9	46.4
3	62.7	27.4	40.3	74.9	27.8	35.2
4	55.3	24.5	44.6	59.1	29.8	47.5
5	39.1	18.5	48.2	38.0	25.7	68.9
6	27.9	16.6	55.4	24.6	23.3	81.2
7	30.0	18.7	58.0	38.2	22.4	67.4
8	27.3	22.3	73.8	41.3	22.8	53.8
9	46.5	14.3	30.5	44.0	28.1	59.2
10	64.8	22.8	34.8	65.2	26.9	37.0
11	55.0	20.6	34.9	51.8	41.4	71.7
12	59.4	37.0	57.4	66.1	50.5	74.7

Tabla 3
Coefficientes de correlación entre, medianas y desvíos estándar mensuales de los datos observados y modelados

<i>coeficientes de correlación ($p < 0.01$)</i>			
<i>localidad</i>	<i>mediana</i>	<i>desvío estándar</i>	<i>coeficiente de variación</i>
Bahía Blanca	0.85	0.59	0.55
Las Águilas	0.94	0.58	0.69

Conclusiones

En este trabajo se ha evaluado la capacidad de un modelo estadístico de *downscaling* para describir y diferenciar las anomalías de precipitación mensual en dos sitios en el sudoeste de la Región Pampeana Argentina, con características fisiográficas distintas. A escala trimestral, se obtuvo una correlación significativa y un error relativo aceptable al comparar los valores estimados con las observaciones de las localidades estudiadas.

Los porcentajes de la varianza explicada por los modelos de regresión múltiple alcanzan valores comparables a los obtenidos en un estudio anterior para la región centro-oeste de Argentina por Labraga (2010) y en una región topográficamente disímil como Nueva Zelanda por Kidson y Thompson (1998), utilizando métodos estadísticos comparables.

La función de distribución Gamma permitió ponderar la bondad del modelo para estimar datos de lluvia con una distribución de probabilidad semejante a la de las observaciones. La serie de datos modelados se ajustó satisfactoriamente a la distribución propuesta según los resultados del test de Kolmogorov-Smirnov. Los parámetros estimados de esta distribución confirman que el modelo subestima las lluvias grandes y sobreestima las pequeñas, como se infiere del análisis de otros estadísticos básicos (media, mediana y coeficiente de variación).

La variabilidad de la lluvia tiende a ser subestimada por este tipo de modelos lineales. No obstante, la mayor variabilidad relativa de la lluvia en los meses de invierno que en verano es una característica propia del clima seco de transición de la región de estudio y ha sido bien captada por el modelo.

La oferta de agua presenta una marcada variación en el tiempo y en el espacio en el sudoeste de la Región Pampeana. Por lo tanto, resulta necesario perfeccionar los esquemas de análisis hidrológico para proyectar cuantitativamente esta variabilidad en una región determinada. Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que los modelos de *downscaling* basado en regresión lineal múltiple podría ser utilizado provechosamente para realizar pronósticos locales de anomalías mensuales de lluvias partiendo de variables atmosféricas (predictoras) pronosticadas por un modelo global de la circulación general de la atmósfera, siendo ésta la etapa de la investigación en curso.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, de Argentina, a través del proyecto PICT-2005 32296, en el que se enmarca esta investigación.

Referencias

- Briggs, W. M. y Wilks, D. S., 1996, "Estimating monthly and seasonal distribution of temperature and precipitation using the new CPC long-range forecasts", *J. Climate*, Vol IX, No. 4, pp. 818-839.
- Kanamitsu, M.; Ebisuzaki, W.; Woollen, J.; Yang SK, Hnilo J. J.; Fiorino, M. y Potter, G. L., 2002, "NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)", *Bull. Amer. Met. Soc.* Vol LXXXIII, No. 11, pp. 1631-1643.
- Kidson, J. W. y Thompson C. S., 1998, "A comparison of Statistical and Model-Based Downscaling Techniques for Estimating Local Climate Variations", *J. Climate*. Vol. XI, No. 4, pp. 735-753.
- Klein, W. H., Lewis, B. M., Enger, I., 1959, "Objective Prediction of Five-Day Mean Temperatures During Winter", *J. Atm. Sci.*, vol. 16, No. 6, pp. 672-682.
- Labraga, J. C., 2010, "Statistical *downscaling* estimation of recent rainfall trends in the eastern slope of the Andes mountain range in Argentina", *Theor. Appl. Climatol*, 99, pp. 287-302.
- Mormeneo, I. y Catellvi Sentis, F., 2001, "Aplicación de un modelo en la generación de precipitaciones diarias", *Rev. Bras. Agromet*, Vol. IX, No. 2, pp. 311-315.
- Schefer, J. C., 2004, "Los recursos hídricos y el abastecimiento de agua: región de Bahía Blanca", Publicación del CEPADE, Centro de Estudios y Participación para el Desarrollo Local y Regional, Bahía Blanca, Argentina, p. 133.
- Thom, H. C. S., 1958, "A note on the Gamma Distribution", *Mon. Wea. Rev.*, Vol. LXXXVI, No. 4, pp. 117-122.
- Von Storch, H., 1999, *The global and regional climate system. Anthropogenic Climate Change*, ISBN 3-540-65033-4, 3-36.
- Wilks, D. S., 2006, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press. Londres, Inglaterra, p. 627.

Catalog of felt earthquakes for Puerto Rico and neighboring islands 1493-1899 with additional information for some 20th century earthquakes

William McCann^{*}
Lawrence Feldman^{**}
Maribel McCann^{*}

Resumen

Numerosos temblores importantes han afectado a Puerto Rico y las Islas Vírgenes de Estados Unidos en los últimos 500 años. Archivos coloniales en Europa y artículos en periódicos locales y regionales e informes gubernamentales proveen información de testigos presenciales que confirman que se han sentido más de 200 sismos desde la documentación inicial de 1493 hasta el año 1899. Terremotos destructivos con secuencias de réplicas claramente identificadas ocurrieron en los años 1670, 1787, 1867 y 1918 en Puerto Rico. Otros eventos importantes ocurrieron en 1844, 1846, 1875, 1906 y 1943.

El uso de informes presenciales es una herramienta potente que se puede utilizar para restringir la adición de eventos certificados a catálogos de sismos sentidos. La falta de información presencial nos ayudó a desarrollar una lista de sismos sospechosos o inexistentes. Esta carencia de información también permitió identificar eventos inexistentes en 1717 y en 1824 (dos eventos) que fueron previamente incluidos en catálogos de la región. El sismo de 1717, reportado primero en 1924, se incluyó en el catálogo por un aparente error tipográfico, ya que datos adicionales incluidos en el mismo informe solamente tienen sentido si el evento ocurrió en 1787. Los otros dos eventos de 1824, que originalmente se reportaron para la isla St. Thomas de las Islas Vírgenes, aparentemente ocurrieron en el distrito de St. Thomas en Jamaica.

Algunos autores han asumido de antemano que eventos sísmicos han ocurrido o han embellecido sus informes; otros eventos tienen fechas y/o localidades erróneas. Uno de estos casos es la referencia que se hace a una réplica inexistente del gran

* Independent consultants, Westminster, Colorado, USA.

** Independent consultant, Owings Mills, Maryland, USA.

terremoto de 1787. La única fuente para el sismo y “eventos relacionados” indica que estos ocurrieron el 10 de mayo en Ponce, cuando en realidad ocurrieron en diferentes localidades y en diferentes fechas.

El catálogo de temblores sentidos para el periodo 1493-1899 y la lista de eventos sospechosos o inexistentes, aunque diseñado para formar la base de investigaciones y catálogos futuros, no presenta una visión completa de los sismos más fuertes ya que faltan catálogos completos para las islas vecinas, los cuales son necesarios para restringir el tamaño y las localizaciones de los eventos.

Abstract

Numerous significant earthquakes have affected Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands in the last 500 years. Written records from Colonial archives in Europe, as well as local and regional newspaper and government reports provide eyewitness data substantiating more than 200 felt events between the beginning of written records in 1493 and 1899. Destructive earthquakes with clearly identified aftershock sequences occurred in 1670, 1787, 1867, and 1918 in Puerto Rico. Other significant events occurred in 1844, 1846, 1875, 1906, and 1943.

The use of eyewitness reports is a powerful tool that can be used to restrict entry of only certified events into a catalog of felt earthquakes. Lack of eyewitness reports helped develop a list of suspicious or non-existent events. It also leads to the notation in the catalog of non-existent major earthquakes in 1717 and 1824 (2 events). The 1717 event, first reported in 1924, came into existence by an apparent typographical error, as other information in the same report only makes sense if the event referred to occurs in 1787. The other events, originally reported for St. Thomas in the Virgin Islands, apparently occurred in St. Thomas Parish, Jamaica.

Some authors have assumed that earthquakes have occurred or embellished reports; other events have erroneous dates and/or places. One of these cases is the reference to a non-existent aftershock of the great earthquake of 1787. The only source for the seismic and “related events” notes them to all have occurred on May 10th, in Ponce, when in fact they occurred in different places and on different dates.

This catalog of felt events, 1493-1899, and list of suspicious or non-existent events, while designed to serve as a basis for future catalogs and investigations, does not present a complete picture for the stronger shocks as complete catalogs from neighboring islands, useful to constrain their size and location, are lacking.

Introduction

In all of the Western Hemisphere the Caribbean region has an advantage over other regions with respect to the written records for earthquakes. It was discovered first, so written records for the region began over 500 years ago. This is in stark contrast to other parts of the Hemisphere where written records may only be 100 to 200 years long. We report here on an effort to develop a more complete, accurate catalog of felt earthquakes for Puerto Rico and the Virgin Islands, the US Territories in the Caribbean (Figures 1, 2, 3, 4). We concentrated on events prior to 1900, the beginning of the instrumental period in seismology. 1900 coincides roughly with the time before the United States acquired the territories (Puerto Rico in 1898 and the U.S. Virgin Islands, 1917). Also, the first seismic station in the US Caribbean was established in Vieques, a small island off E. Puerto Rico in 1903; a history of Puerto Rican instrumental recording from 1903 to the 1960's is found in McCann (2009).

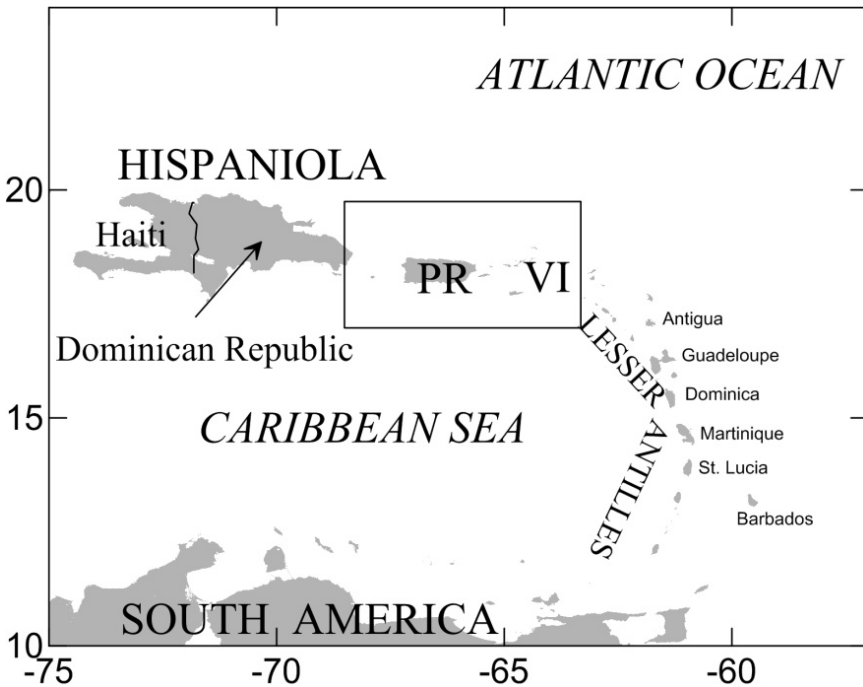


Figure 1. Regional Setting of Puerto Rico (PR) and the Virgin Islands (VI) (boxed region). The islands lie near the northeast corner of the islands in the Caribbean, at the eastern end of the Greater Antilles and the northern end of the Lesser Antilles.

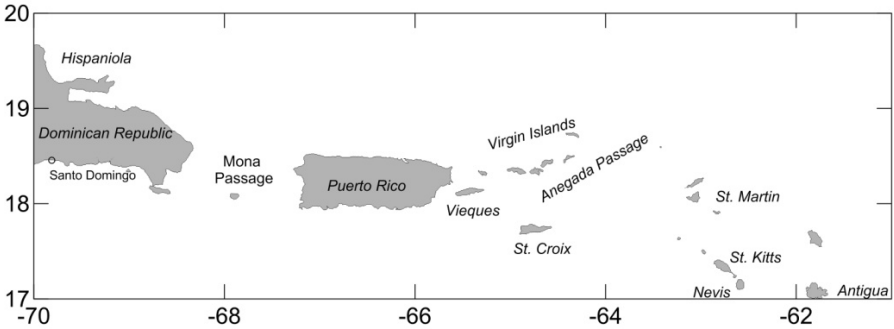


Figure 2. Details of the islands near Puerto Rico and the Virgin Islands.

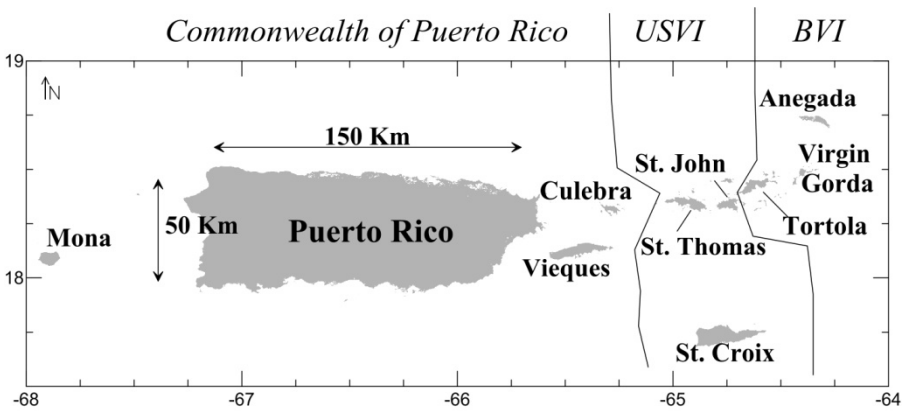


Figure 3. Present-Day political makeup of the region. Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands are part of the United States. The Commonwealth of Puerto Rico is composed of 4 islands, 3 of them inhabited. The U.S. Virgin Islands (USVI) are made of 3 large (Saint Thomas, Saint John, and Saint Croix) and other smaller islands (including Water Island). The British Virgin Islands (BVI) belong to Great Britain and are composed of 3 larger islands (Tortola, Virgin Gorda, and Anegada) and many smaller ones.

We also include new information found for important 20th century events, but the full 20th century catalog of felt event is not included here. In the 1900's there is an explosion of accessible information, much of it readily available. We focus here on publication of more difficult to obtain information (i.e. pre 1900's) and key reports for the strongest events (either damaging or magnitude 7 or greater) in the 20th century, leaving a more detailed report on the 20th century for later.

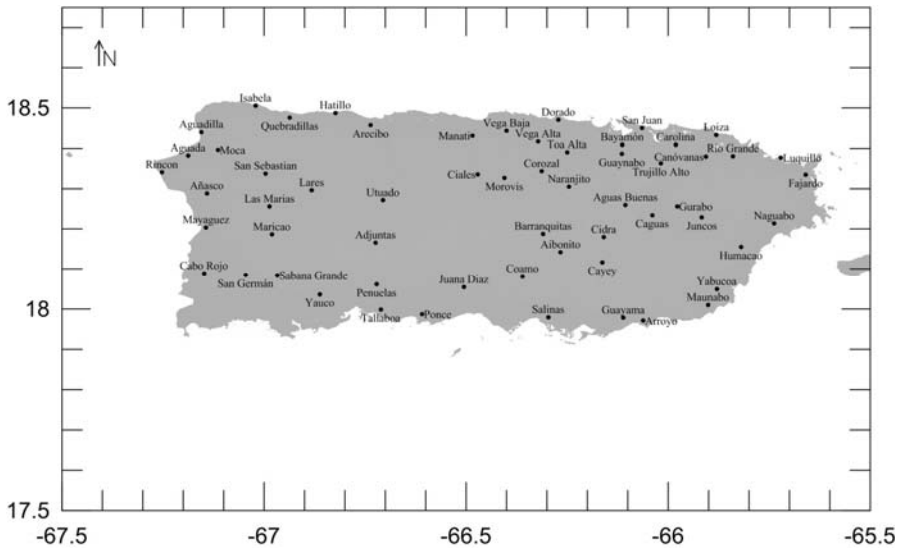


Figure 4. Location of towns in Puerto Rico.

For example, about 5,000 pages of data exist in the San Juan archives for the 1918 earthquake. That immense volume of information will be dealt with in a separate investigation and reported on elsewhere (McCann and LaForge, in prep.). During this investigation, data were also uncovered for events on other islands. That data is only included here if the event affected either of the US territories. The task of developing a full earthquake catalog for the historic period of the Caribbean is ongoing and nowhere near complete. Many islands still have only crude catalogs of the strongest events. The ease with which new events were uncovered suggests that Spanish, French, English, Dutch and other European archives still contain more data that are useful. This is not to mention church records, newspapers etc. We note specific events that deserve more research as we suspect that more data exist.

Archives in Spain and Puerto Rico were the primary source for new information, but data from church records, US newspapers and other catalogs were used as well. The aforementioned archives contain eyewitness reports of the effects of earthquake in areas occupied by the Spanish colonists. We also use newspaper reports in the Caribbean and the United States of America containing captain’s reports of ships visiting the area, personal letters, diaries, memoirs, and books reporting events of the period. First-hand information (i.e. eye witness report) is considered the most reliable. Books written much after the event occurred, summary histories, and many catalogs, are considered secondary sources and, as the reader will see, may be merely repeating an error made by a previous investigator. We

have taken the approach that one must be suspicious of a supposed earthquake if one cannot find eyewitness reports. This is especially true of strong, damaging or supposedly widely felt events. In one particular case, we identify an author who tended to embellish events, casting doubt on all his reports of earthquakes.

If we were unable to find eyewitness reports, then the event was considered dubious or non-existent. In some cases, a specific search for information for an event turned up nothing. Therefore, the event is marked as non-existent for future listings, as the event never occurred. Tracking down how or why these errors in reporting occurred is beyond the scope of the present effort. In some cases confusion occurs between places with the same name, hurricanes and earthquakes, sometimes years, dates or hours are in error or not noted. In the earliest period both the location and year may be in doubt.

Caribbean History and Data Availability

For the purposes of this article, several different epochs may be defined in Antilles history. An initial exploratory phase began in 1492 and lasts until 1524. This is before formal administrative procedures obtained the form in which they held for most of the colonial era. One finds that reports and requests from the colonies are highly scattered, a great many being in the Archivo General de las Indias (AGI) but not in locations that are readily accessible or easy to find. Also, in the absence of standardized procedures, data that afterwards would be collected never arrived in Spain. The island of Hispaniola provided the location for the earliest (fifteenth century) settlement and the political capital for all subsequent Hispanic activities in the Caribbean basin. Hence it is not surprising that the earliest event so far located, in 1493-1509, pertains to this island. Puerto Rico, while visited prior to 1508, does not get permanent Hispanic settlements until after that date. The Virgin Islands, and all islands of the Lesser Antilles, remain unoccupied in this period.

A second phase lasts from 1525 to 1715. The town of Santo Domingo (Figure 2) is established as the political capital for the islands of Cuba, Jamaica (lost to the English in 1655), Puerto Rico, Hispaniola (French settlements began about 1663 in what is now Haiti), Trinidad, and what was then called Tierra Firme (now the coast of Venezuela) and the Floridas (modern Florida, Georgia and the coast of Alabama and Mississippi). From 1630 to 1648 the Spanish maintained a garrison on the island of Saint Martin in the Lesser Antilles. St. Thomas and St. Croix were occupied by a company run by Dutch nationals (hence early documentation is often in Dutch), but using the flag of Denmark, in the last quarter of the 17th and first quarter of the 18th centuries. Except for Dominica, St. Vincent, and Grenada, which were not annexed until the eighteenth century, the British, French or Dutch claimed the other islands of the Antilles before 1700. There was also ephemeral Prussian (U.S.

Virgin Islands) and Swedish (e.g. St. Bartholome) occupation of islands in the Lesser Antilles in the seventeenth and nineteenth centuries.

In Puerto Rico the only settlements of any size and with large permanent structures were San Juan, San Germán and, after 1620, San Blas Coamo (Figure 4). In 1530 San Juan, the largest settlement contained 30 houses of wood, 20 of thatch and only 2 of stone. The fortress of El Morro, which is first mentioned toward the end of the sixteenth century, had yet to be built (Landa, 1530). Documentation, consisting of reports from the governor and other officials of the state and church, exists for Puerto Rico for every year after 1550. The years 1525-1549 are not as well covered but nevertheless for these decades there are documents for most years.

A report dated 1582, responding to a questionnaire sent out from Spain, identifies hurricanes “of August and September, together with Carib and French raids that have depopulated the island”, as the major local hazards (Ponce de Leon and de Santa Clara, 1582). “Ten or twelve years had passed without any” hurricanes. Earthquakes are not mentioned as ever being a hazard on the Island. The original structure of the cathedral, erected in 1511, was still being used in 1706 (López, 1706). No mention is made of any damage due to disasters; only that the population had outgrown this “poor” structure building (only partly of stone, it had a wooden roof).

Politically, after the middle of the eighteenth century, the headquarters of the Spanish Caribbean shifts to Havana Cuba. Hispaniola is abandoned to the French for a few years at the beginning of the 19th century. A brief reversion to Hispanic control is followed by independence and Haitian conquest after 1820. St. Croix was acquired from the French in 1733 and in 1754 the Danish government took over direct administration of all of their Virgin Islands. On Puerto Rico, by 1789, the towns of Bayamón, Guaynabo, Toa Alta, Toa Baja, Vega, Manatí, Arecibo, Utuado, Tuna, Vegas del Pepino (San Sebastián), Moca, Aguadilla, Aguada, Rincón, Añasco, Mayagüez, Cabo Rojo, Yauco, Ponce, Guayama, Cayey, Humacao, Caguas, Fajardo, Loysa, Río Piedras and Cangrejos had joined San Juan, San Germán and Coamo as capitals of local administrative districts and hence as localities likely to have permanent stone structures (Anon., 1789).

The Hispanic documentation for this epoch, for Hispaniola, Trinidad, Cuba, and Puerto Rico is quite abundant at the AGI with hundreds of boxes of manuscripts. Every box, which seemed at all likely to contain earthquake data, for this epoch for Puerto Rico has been examined. However, they only report on events (i.e. of 1751 and 1787) that caused considerable damage. The very local published *Actas de Cabildo* for San Juan, Puerto Rico for the years 1730 through 1820 have been found to contain additional data on the 1787 event. Unfortunately, it now appears unlikely that additional data for this period still exists on Puerto Rico. The only unexamined major Hispanic repository likely to have useful data from this period is that archive

with the reports from the island of Puerto Rico to the Capitan General of Cuba, and the eighteenth century records of the Audiencia of Santo Domingo, which were removed to Havana at the end of the 18th century. These are in the National Archives of Cuba.

After 1769 documentation (kept in the Royal Archives of Copenhagen), in Danish, becomes abundant. Gazettes, published in English, provide some details (the series is not complete) after 1770 for the islands of St. Croix and St. Thomas. Unfortunately the pre 1820 Puerto Rican gazettes say nothing about earthquakes. A diary, published in 1838 (Mission, 1838) lists events felt between 1793 and 1838 in St. Thomas. Additional data should exist for the event of 1785 in England and in Denmark. This information should be sought out in the records of the British West Indies and other sources.

The fourth epoch, 1817 through 1834, was a time of considerable political change. Spain lost all her mainland colonies before 1830 and, except for a brief interval in the 1860's, Hispaniola was independent of Spanish rule after 1821. The very abundant Puerto Rican records provide the details of earthquakes that caused damage. The gazettes in Puerto Rico and the newspapers of St. Thomas, St. Croix, Jamaica and other West Indian islands offer the data necessary to reconstruct the effects of minor and major earthquakes felt throughout the Islands. Finally, the dispatches from United States Consular representatives in Puerto Rico (from 1821), St. Croix (from 1791), St. Thomas (from 1804), Santo Domingo (after 1845), St. Eustatius (1793-1838), St. Christopher [St. Kitts] (after 1800), Antigua (after 1794) and Guadeloupe (after 1807) give additional eyewitness details.

A fifth epoch, extending from 1835 to 1874, is abundantly documented in the local Puerto Rico archives (and consular records). There is, however, one major gap. We lack good sources for felt, no damage events. The gazettes, while continuing, no longer report minor earthquakes and the *Boletín Mercantil*, which (judging from the very few surviving issues) did do so, but are almost completely absent from all known repositories. At this time the best hope is to scan the issues of British, Danish, Dutch West Indies newspapers and the *Times* of London for what they might have picked up from the Puerto Rico sources.

After 1874 and until about 1935, newspapers become increasingly common, and local archival data extraordinarily so, on the island of Puerto Rico. Records found for 20th century events not otherwise noted here, must easily amount to more than 5,000 pages of documentation. U.S. Weather Service reports, and those of other government agencies, specifically report on earthquakes. There was a systematic attempt to collect weather information, and earthquakes were considered "weather", in the last years of the Spanish administration. Nothing pertaining to earthquakes has been found in these [weather bureau] files in the *Archivo General de Puerto Rico*. There is however a possibility that the Jesuit archives, said to be in

Barcelona, Spain, may have useful information. There are references to Jesuits running an “observatory” on the island in those years, although the compendium of Jesuit observatories, including seismological ones, makes no mention of a Jesuit observatory on the island (Udías, 2003).

For the Lesser Antilles, the British colonial office material pertaining to the British Virgin Islands should be examined in London (British Antilles consular records are missing). If Danish West Indies newspapers were systematically read for the entire period doubtless additional material would be found. Probably at some point a systematic attempt should be made to visit all the local archives in the former British and Danish Antilles. Except for Jamaica, we don’t imagine there will be much (especially for the earlier years) but almost certainly some new information will be discovered at every locality.

After 1935 the problem is too much data, and often that data is inaccessible because it is totally unorganized. This certainly seems true for Puerto Rico. As an example there certainly were reports by the police from all over the Island for the year 1943. So, in theory, there must be very good information on the effects of events for that year in Puerto Rico. Doubtless it can be dug out but it would require a major effort devoted to just this task alone.

We should note that those writing about events many years in the past tend to commit errors in dates (either year month or both), and don’t note specifics (such as the hour) or refer to a place such as Puerto Rico, when in fact they may mean San Juan, Puerto Rico, or perhaps some other part of the island. This has been particularly true of events in the island of Hispaniola where Haiti, Hispaniola, and Santo Domingo may refer to the island; and in the case of Santo Domingo may also refer to a specific city. One is then left with a dilemma, if a historian refers to a destructive earthquake in Santo Domingo, without details, where in fact did the event occur? Part of this problem has been exacerbated by repeated translations of reports from one language to another.

In the catalog for the island of Jamaica, Robson and Tomblin (1977) cite many eyewitness reports and integrate older catalogs so that researchers have little need to examine older, sometimes difficult to obtain catalogs. We attempt to do the same here. For completeness we have integrated felts reports for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands as found in existing catalogs. Many of the catalogs become included by citation in another catalog. This sometimes develops a long chain of references repeating the same information. Because we will be marking “non-existent” events we hope that this catalog will serve as a basis for new research with others not having to refer back to older “contaminated” catalogs. We provide as extensively as possible quotes from the eyewitnesses, as this information is difficult to obtain and generally only available from original documents in European archives, and rare books with limited access.

Basis for the New Catalog

The main portion of this report consists of the eyewitness texts from the various repositories noted below. Data are presented in two Appendices. Appendix I contains all events up to the end of 1899. Appendix II contains the most significant events of the 20th century. These events are summarized in Appendix III in 3 tables. Table 1, contains the full catalog of event, the strongest of which are in Table 2. Some events have been marked as suspicious or non-existent and are summarized in Table 3. Often this is due to confusion with hurricanes. In this regard the following quotation seems worth repeating: “Earthquakes are often reported as accompanying hurricanes, but we do not think that these phenomena occur together. The violent shaking of the house from sudden blasts of extraordinary force may easily be mistaken for an earthquake” (Knox, 1852). Events found in association with the months of greatest hurricane potential, August, September and October, should be looked at very carefully before accepting them as valid. After each description, based upon these and other criteria, comments may be offered on the validity of presented data.

Data pertaining to earthquakes in the Antilles (with an emphasis on data from Puerto Rico and the Virgin Islands) were found in: the United States National Archives and Library of Congress of Washington DC, the Archivo Histórico Nacional, Biblioteca Nacional, and Archivo of the Ministro de Asuntos Exteriores of Madrid, the British Public Records Office and National Newspaper Library and Commonwealth Institute in London, England, the Royal Library and University Library in Copenhagen, Denmark, the Newspaper files of the Universidad de Puerto Rico at Río Piedras, the Archivo General de Puerto Rico, the Archivo Histórico Municipal of Ponce, the Archivo Histórico Municipal of San Germán, Archivo Histórico of Caguas, Archivo Histórico Municipal of Mayagüez, Archivo Histórico Diocesano of San Juan, the Archivo General de la Nación in Santo Domingo, the archivo of Listin Diario Santo Domingo, the Biblioteca of the Sociedad Amantes de la Luz in Santiago de Los Caballeros as well as work in the Archivo General de Indias in Seville, Spain.

We have found that some catalogs are merely repeats of other works, adding little new information, but propagating errors of earlier times. For Puerto Rico and the US Virgin Islands we took Reid and Taber (1919), who cite many older sources of information, as our base catalog. A prior search of local records was undertaken by Weston Geophysical as part of the planning for the establishment of a nuclear power plant on Puerto Rico. That work, herein referred to as Campbell (1972), is part of a larger work by Weston Geophysical (1972). New events were found. The effort by Campbell contains some references to data from Spain, but mostly local and foreign newspaper reports, archives in Puerto Rico and historic books. Unfortunately, his references to a local newspaper, *El Mundo*, did not contain references

to the year or date, and because that paper was only established in 1919 we know that those references are to 20th century articles, not eyewitness reports of the era. Such references are not to be considered eyewitness reports and must be verified. All the information in Campbell (1972) was integrated into the base catalog. We also consulted the catalogs for Jamaica (Tomblin and Robson, 1977), the Lesser Antilles (Robson, 1964; Feuillard, 1983), Haiti (Anon., 1913), the Dominican Republic (Martinez, 1946; Iñiguez, 1975) and the Caribbean region (Shepherd and Lynch, 1992). If a catalog provided a more complete quote than other catalogs or reports, that quote was included. This was particularly the case for the Tomblin and Robson (1977) catalog. Many of the aforementioned catalogs are based on or refer to 19th and early 20th century compilations. As far as we can identify them they are: Fuchs (1866-1871, 1873-1887), Mallet (1850-1854), Milne (1911), Perrey (1843, 1845, 1846, 1852, 1853, 1855, 1856, 1859-1875, 1861a, 1861b, 1865, 1867), Poey (1855, 1857a, b, 1858), Rockwood (1872-1881), and Anon., (1824, 1828c).

The format used below to provide information in the catalog is as follows. Events are referred to by date, location, data and commentary. Dates are determined by local time. The local time, which today would be the Atlantic Standard Time zone, is four hours behind UCT. For many years time was local (i.e. per island) and time keeping was not accurate. Therefore, timing of earlier events is uncertain. Location refers to places reporting effects of earthquake, in some cases just a reference to an island and in others a long list of towns Refer to Figures 1-4 for town locations. Data will first include direct quotes of eyewitness documents in their original language. Full translations are left to the reader. We provide an English summary of what was reported. Remember, it is the repeated translations and distillations of older documents that have lead to confusion in other historic catalogs such as that for the Dominican Republic. We try to avoid repetition or propagation of that problem here.

As noted above we will include information from other catalogs. Those referring to data provided by Mallet (1850, 1851, 1852, 1853, 1854), and with an intensity indicated in parentheses, are taken from the Jamaican catalog of Tomblin and Robson (1977). Their intensities are on the Modified Mercalli scale. In no case should reference to another catalog (e.g. Campbell, 1972; Tomblin and Robson, 1964) be taken as a primary source. However, in some cases, the words used in the other catalogs will be the same as or have the same meaning as words used in eyewitness reports that we provide. We have in all cases attempted to identify a primary source (eyewitness); however in some cases it was not possible. In these cases the event is classified as dubious, or non-existent, caused by error in interpretation of original data or cause unknown. Commentary includes our analysis of the veracity of the information provided and interpretation of the significance of the given event.

Table 1**All verifiable Earthquakes, Suspicious and Non-existent Events Cataloged for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands 1493-1899, with strongest events 1900-1943**

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1493-1509, 1493-1510? Year, and Date unknown	Hispaniola; Puerto Rico	Archive documents suggest that an earthquake occurred in the new world, no details.
1524-28? Year and Date unknown	Western Puerto Rico?	Non-existent event, no eyewitness reports.
1615, September 7 th , 2300-2400	Santo Domingo, Dominican Republic, and San Juan, Puerto Rico	Major earthquake in the Dominican Republic, felt in Puerto Rico.
1663? Year and Date Unknown	San Juan, Puerto Rico	There was an event prior to 1667 that caused damage in the city of San Juan, but we do not know when it occurred (1615?).
1670, August 15 and later events	San Juan, San Germán, Puerto Rico; Santo Domingo (?), Hígüey, Dominican Republic (?)	Major Earthquake. Origin is on or near the island of Puerto Rico. Damage in San Juan and San Germán. Aftershocks felt for at least three months.
1690, April 6 th about 1600	St. Thomas; Northern Lesser Antilles	Major earthquake in northern Lesser Antilles. It was clearly felt in St. Thomas and a tsunami followed.
1717 Date and Hour unknown	Arecibo, San Germán, Puerto Rico	This event is non-existent, caused by typographical error.
1740, August 30 th ?	Ponce, Puerto Rico	We consider this another non-existent event.
1751, August 18 th	Puerto Rico, Dominican Republic	This is a non-existent event.
1768, September	St. Thomas, Virgin Islands	Two weak shocks.
1772, August 28 th	Puerto Rico	This is a non-existent earthquake.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1776, January 30 th	Eastern Dominican Republic and Western Puerto Rico	This event must be considered as dubious until supported by better evidence.
1777, September 1 st or 2 nd 1330, evening	Saint Thomas, Saint Croix	Several shocks on Saint Thomas and Saint Croix.
1777, September 2 nd or 3 rd	Saint Thomas	More shocks on Saint Thomas.
1784, May 13 th	St. Thomas	
1785, February 26 th	St. Thomas	
1785, July 11 th 0300	Antigua, off shore from St. Kitts, St. Eustatius and Tortola	Probably felt on Saint Thomas or Saint John, no eyewitness reports yet.
1785, August 25 th ?	Puerto Rico	Probable confusion with a tropical storm or Hurricane. Possible erroneous reference to event in July, 1785, or May 1787.
1786, May 26 th	Tortola	Mild shock.
1787, April 30 th	Puerto Rico	Confusion with the event of May 2nd? Without further evidence must be considered as dubious.
1787, May 2 nd a little before noon, and May 18	San Juan, Mayagüez, Bayamón, y Toa Alta, Arecibo, Caguas, Ponce, Cayey, Añasco, San Germán, Pepino (San Sebastián), Puerto Rico	Major earthquake felt equally strongly throughout the island. Significant damage.
1787, May 10 th	San Juan, Ponce Puerto Rico	Non-existent event.
1787, October 23 rd 0400	St. Thomas	Light shocks.
1793, August	St. Thomas	Earthquakes during this month.
1813	St. Thomas	Several earthquakes during this year.
1818, May 16 th 0200-0300, 0930	St. Thomas	Two earthquakes.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1818, December to 1819 May 21 st	Antilles	Lesser or Greater Antilles?
1821, August 20 th or 26 th	St. Thomas	Several earthquakes.
1824, April 20 th 0300	St. Thomas	Probable confusion between the island of St. Thomas and the parish of St. Thomas in Jamaica. This is a non-existent earthquake.
1824, July 20 th 0300	Saint Thomas	Non-existent event.
1825, May 16 th 0400	San Juan, Puerto Rico	
1825, May 24 th 1545, 1900	San Juan, Puerto Rico	Two earthquakes.
1825, July 26 th 1400-1500	San Juan, Puerto Rico	Small earthquake.
1826	Island of Puerto Rico	3 events this year.
1827	Island of Puerto Rico	One event this year.
1828, July 21 st	Puerto Rico	Must be considered as unlikely.
1828, August 30 th 0020	Caguas, Puerto Rico	Local earthquake.
1828, December 5 th	Rincón, Puerto Rico	Small earthquake.
1828, December 28 th 1130	Sabana Grande, Morovis, Adjuntas, Puerto Rico	Small earthquake.
1828, December 28 th 1400-1500	Yauco, Puerto Rico	This entry might refer to earlier event.
1828, December 31 st 0400	Rincón, Puerto Rico	Small earthquake at Rincón.
1829, February 22 nd 1945	Río Piedras, Caguas, Yabucea (Yabucoa), Maunabo, Puerto Rico	The month for Yabucea and Maunabo is unclear.
1829, February 25 th 1300-1400	San Germán, Puerto Rico	Strong earthquake at San Germán.
1829, May 25 th 0932	Juncos, Gurabo, Río Piedras, Loysa, Humacao, Luquillo, Naguabo, Puerto Rico	Two morning earthquakes close in time or alternatively there is confusion about the hour of one single event.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1829 June	St. Thomas	Event in the middle of June.
1830, April 18 th 2145 or 2230	Naguabo, Humacao, Loisa, Puerto Rico	Two events on the same night, one at 9.45 PM and the other at 10.30 PM, or again confusion about time and only one event occurred.
1830, June 24 th	Aguadilla, Aguada, Pepino, Puerto Rico	Strong event near north-western Puerto Rico.
1830, July 28 th 0000	Corozal, Puerto Rico	Strong earthquake.
1830, August 26 th 0400	Puerto Rico	
1831, April 23 rd 1100 and 24 th 1000	Aguada, Rincón, Puerto Rico	Two short earthquakes.
1831, July 14 th	St. Thomas	Severe earthquake, damage.
1831, September 2 nd and 6 th	Pepino (San Sebastián), Puerto Rico	Two earthquakes.
1831, September 7 th 0500	Aguadilla, Juncos, Río Piedras, Gurabo, Naguabo, La Aguada, Moca, Rincón, Vega Alta, Naranjito, Corozal, Peñuelas, Cayey, Barranquitas, Cidra, Juana Díaz, Ponce, Puerto Rico	Widely felt, but no damage.
1832, October 19 th 0000 and 20 th 1430	Hato Grande, Mayagüez, Añasco, Cabo Rojo, Ciales, Quebradillas, Puerto Rico	Event in the western part of the island.
1832, November 24 th 2000	Añasco, Puerto Rico	
1833 May 12 th	Caguas, Corozal, Puerto Rico	
1833, May 19 th	Añasco, Puerto Rico	
1833, Julio 28 th 2100	Añasco, Puerto Rico	
1833 July	Caguas, Puerto Rico	

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1833, September 12 th	Caguas, and Moca, Puerto Rico	Strong earthquake.
1834, April	Naranjito, Moca, Añasco, Puerto Rico	
1837 August 2 nd and 3 rd	Saint Thomas, San Juan, Puerto Rico, and St. Bartholomew	Should be noted as non-existent events.
1837, September 5 th 2330	St. Thomas	Severe earthquake.
1842 May 7 th 1700	Throughout the north- central Caribbean	This is the Great earthquake (8.0Mw) of NW Hispaniola. It was clearly felt in Añasco, Mayaguez, Ponce and San Juan, Puerto Rico and St. Thomas, Virgin Islands. Damage to a church in Añasco. Aftershocks felt in Añasco.
1843, February 8 th 1050	Northern Lesser Antilles	This is a well-known great Lesser Antilles earthquake. Minimal effects in Puerto Rico and St. Thomas.
1843 March 5 th	Saint Thomas	People ran outdoors.
1844, April 16 th 0910?	San Juan, Isabela, Gurabo, Bayamón, Utua, Yabucoa, Humacao, Ponce, Caguas, Guayama Puerto Rico; St. Thomas; 200 miles at sea from Puerto Rico, Guadeloupe	Severe earthquake near eastern part of the island.
1844, May 5 th	Ponce, All Island, Puerto Rico	Erroneous reference to event of April 16, 1844. This is a non-existent event.
1844, October 19 th and 20 th 2330, 0930	Isla Puerto Rico	
1846, November 28 th 1700	San Juan, Río Piedras, Guayamo, Cabo Rojo, Isabela, Arecibo, Manatí.	Strong Earthquake.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1847, December 18 th	West Coast of Puerto Rico	
1847, December 29 th	Puerto Rico	
1848, February	Mayagüez, Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1849 August 1 st	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1850, April 8 th 0900	Mayagüez, Puerto Rico	Earthquake rang bells.
1850, October 21 st	St. Thomas and Antigua	
1850, December 19 th 2137	Aguas Buenas	Need eyewitness accounts.
1851, February 17 th -27 th	Aguas Buenas	Need confirmation from primary sources.
1851, February 18 th 1410	St. Thomas	Smart shock.
1851, February 20 th 0330	Puerto Rico, (Saint Martin?)	Possibly Saint Martin in the Northern Lesser Antilles.
1851, June 10 th 0800	Saint Thomas	No eyewitness report.
1851, December 16 th	Saint Thomas	
1852, March 17 th	Saint Thomas	
1852, May 17 th	Saint Thomas	
1852, May 20 th	Saint Thomas	
1853, May 24 th 0200	Saint Thomas	
1853, September 19 th 0600	Saint Thomas	
1853, December 21 st 2140	Saint Thomas	Slight Shock.
1854, April 9 0800-0900	Saint Thomas	
1854, June	Saint Thomas	Light shocks.
1855, May 25 th 1500 and 1600	Saint Thomas	
1855, December 14 th 2015	Salinas, Aguas Buenas	Need eyewitness accounts.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1856, August 28 th 1300	St. Thomas	People rushed outdoors.
1858, February 24 th 0400	Puerto Rico, St. Thomas	Felt widely throughout Caribbean.
1858, September 7 th 1515	Ponce, Manatí, Puerto Rico	Somewhat strong earthquake.
1860, October 23 rd	Mayagüez, Puerto Rico	Need eyewitness accounts. Event is suspect.
1863, October 12 th 0700 and 1020	Saint Croix	Event is suspect.
1864, May 30 th	Mayagüez, Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1864, September 6 th	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1864, November 5 th	San Juan and Caguas, Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1865, May 12 th 0930	St. Thomas	Two strong shocks, damage.
1865, August 24 th 0215	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1865, August 30 th 0145	San Juan, Barranquitas, Cidra, Isabela, Lares, Mayagüez, San Germán, Manatí, Ponce, Puerto Rico; Santo Domingo and Santiago de Los Caballeros, Dominican Republic.	Event felt widely between Santiago in the Dominican Republic to the west and San Juan Puerto Rico on the East.
1866, January (February?) 7 th 0800, 1300, 1830, 2015, 2300	San Juan, Mayagüez, San Germán	Need eyewitness accounts.
1866, February 14 th 1900 and 2000	Saint Thomas	Need eyewitness accounts.
1866, March 26 th	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1866, April 8 th 0450	Ponce, Mayagüez, Aguadilla	Need eyewitness accounts.
1866, July 26 th 0100	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1866, August 6 th and 7 th 0800-0900	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1867, January 7 th	Puerto Rico	Strong shocks.
1867, January 20 th	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1867, April 8 th 0450	Ponce, Mayagüez, Aguadilla, Puerto Rico	Strong shock.
1867, September 7 th	Río Piedras, Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1867, October 1 st	Puerto Rico	Need eyewitness accounts.
1867, October 29 th	Virgin Islands; Humacao, Puerto Rico	Hurricane not earthquake.
1867, November 12 th	St. Thomas	
1867, November 18 th 1443	Most Severe in the Virgin Islands, felt throughout NE Caribbean	Damaging earthquake centered between Saint Thomas and Saint Croix. Major Tsunami.
1867, November 29 th	Tortola	
1867, November 30 th	Tortola; Santiago, Cuba	
1867, December 1 st 0720, 0945, 1225, 1250	Virgin Islands, Tortola; Puerto Rico	Apparently felt in Puerto Rico.
1867, December 2 nd 1250	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 4 th 0255 0530 2300	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 5 th 1330	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 6 th	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 11 th 0630	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 12 th 1016, 1442	Tortola, St. Thomas	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 12/13 th 2230, 0400	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 14 th 2000	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 15 th	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1867, December 16 th	Tortola, St. Thomas	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 20 th	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 21 st 1000	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 22 nd 0955	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 23 rd	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 29 th 1330 - 2355	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 30 th 0153- 2200	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1867, December 31 st	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 1 st 1108	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 2 nd 0130, 0500	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 3 rd 0500, 0700	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 4 th 0100, 1100	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 5 th 0200, 0828	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 16 th 0530	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 17 th 2205	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 19 th 0850	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 20 th 0600	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 24 th 1000	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 26 th 1015	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, January 31 st 1300	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, February 1 st 0530	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1868, February 5 th	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, February 8 th 0720	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, February 9 th 0530	Tortola	Probable aftershock of Nov. 18, 1867
1868, February 10 th 0500	Tortola	Suspect event.
1868, March 10 th	St. Thomas, Antigua and Puerto Rico	This is a non-existent event and should be noted as such in further catalogs.
1868, March 17 th 1915	St. Thomas, St. Croix; Tortola; San Juan, Puerto Rico	Strong Aftershock of November 18, 1867 event.
1868, April 20 th	Tortola	
1868, April 21 st	Tortola	
1868, April 26 th	Tortola	
1868 May 15 th 1305	Tortola	
1868, May 21 st 1300	Tortola	
1868, May 28 th 2230	Tortola	
1868, June 6 th 2045	Tortola	
1868, June 7 th 0450	Tortola	
1868, June 9 th 1400	Tortola	
1868, June 10 th 1725	Tortola	
1868, June 16 th	Tortola	
1868, June 30 th 0340	Tortola	
1868, September 10 th 0300 0700	Tortola	
1868, September 22 nd 0230	Tortola	
1868, December 1 st 2015	Tortola	
1868, December 2 nd 0340	Tortola	

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1868, December 6 th 1940	Tortola	
1868, December 17 th 2150	Tortola	
1869, January 23 rd 1700	Tortola	
1869, September 17 th 1500	Puerto Rico	Needs confirmation from eyewitness accounts.
1874, August 26 th 0615	Puerto Rico	
1875, December 9 th 0120	Mayagüez, Vega Baja, Arcibo, Manatí, Ponce, San Juan, Puerto Rico	NW part of Island?
1876, January 7 th 0400 0430 0433	St. Thomas	
1878, July 12 th	St. Thomas	Non-existent event, should be noted as such in further catalogs.
1879, May 25 th	Puerto Rico, St. Croix and Tortola	Event is suspect.
1880, August 21 st	Isabela, Arcibo, Puerto Rico	
1882, March	Ponce	Tsunami observed in Ponce. Caused by a distant earthquake?
1883, February 19 th 1900	NW of Puerto Rico	
1883, September 2 nd	San Juan, Puerto Rico	
1886, September 19 th 0314	St. Thomas	Event in Virgin Islands or Jamaica?
1886, October 20 th	North of Anegada	
1888 January 4 th 0555	St. Thomas	Event in Virgin Islands or Jamaica?
1888 May 21 st	St. Thomas	Event in Virgin Islands or Jamaica?
1889 November 27 th	St. Thomas	Event in Virgin Islands or Jamaica?

Continuación Tabla 1

<i>Date</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1890, August 15 th about 0150	Juana Díaz, Ponce, Adjuntas, Arecibo, Aguadilla, Barros, Dorada, Isabela, Las Marías, Toa-Alta, Yabucoa, Yauco, Caguas, Puerto Rico	Strong event, widely felt, but no significant damage
1892, February 22 nd	St. Thomas	
1895, March 19 th	Arecibo, Puerto Rico	
1896, August 2nd just after 0400	St. Thomas	May refer to St. Thomas parish in Jamaica.
1898, March 20 th 0805	Las Marías, San Juan, Puerto Rico	
1899, January 1 st 1530	Vieques, Puerto Rico	
1899, March 22 nd	San Juan, Puerto Rico	
1899, July 6 th	Isabela, Puerto Rico	
1899, July 10 th	Lajas, Yauco, La Isolina, Utuado, Ponce, Puerto Rico	
1899, August 8 th and 9 th 1115-1200, 0130	Cidra, Manatí, Puerto Rico	
1899, August 13 th	Isabela, Puerto Rico	
1899, September 4 th 2245	La Isolina, Puerto Rico	
1899, September 26 th	Canóvanas, Puerto Rico	
1899, December 7 th and 27 th ?, 1621	Isabela, Coloso, Puerto Rico	
1906 September 27th 1047	Puerto Rico	Felt strongly across the Puerto Rico and in neighboring islands.
1918 October 11th 1014	NW Puerto Rico	Major earthquake and tsunami in NW Puerto Rico.
1943 July 28th and July 29th	Puerto Rico	Strongly felt across the island.

Table 2
Significant or Damaging Earthquakes, Puerto Rico and U.S. Virgin Islands

<i>Date and Time</i>	<i>Estimate of Location</i>	<i>Aftershocks</i>	<i>Diameter of Felt Area</i>	<i>Comment</i>
1670, August 15	?	Felt for 3 months	Much more than 110 km	Two felt reports, both note damage.
1787, May 2	N of Puerto Rico	Felt for at least three weeks, one damaging	Much more than 115 km	Great Puerto Rico Earthquake, origin probably to the north of the island, ~8.0 Mw.
1831, September 7	?		About 160 km	Widely felt, no damage.
1844, April 16	NE of Virgin Islands?		At least 600 km	Minor damage, most damage reports for E. part of Island. Felt as far as Guadeloupe.
1846, November 28	N of Central or NW Puerto Rico		At least 120 km	Damage limited to N central and NW part of island.
1865, August 30	W Puerto Rico		At least 500 km	Origin in Mona Passage?
1867, November 18	Virgin Islands, Eastern Puerto Rico	Felt for months	1000-1200 km	Origin between St. Thomas and St. Croix, ~7.3Mw.
1875, December 9	NW Puerto Rico		At least 120 km	Damage in Arecibo, Similar to 1846 event.
1890, August 15	N of Puerto Rico		At least 145 km	Widely felt, no damage, like 1906 but weaker.
1906, September 27	N of Puerto Rico		About 600 km	Widely Felt, Minor damage mostly in E. Puerto Rico.
1918, October 11	Off NW Puerto Rico	Felt for months	1000-1200 km	Extensive damage, Origin in Mona Canyon, 7.3Mw.
1943, July 28	N of NW Puerto Rico	One reported felt	?	7.5Mw, No Damage.

Table 3
Suspect Earthquakes and non-existent Events to be flagged as such in Future Catalogs

<i>Date and Time</i>	<i>Location</i>	<i>Comment</i>
1524-1528	Western Puerto Rico	No supporting data, no eyewitness reports.
1717	Arecibo and San Germán	Typographical error, data refer to great earthquake on May 2, 1787.
1740, August 30?	Ponce	No eyewitness reports, probable Tropical storm.
1751, August 18	W. Puerto Rico, Dominican Republic	No eyewitness reports, may refer to Dominican earthquake of October 18, 1751; supposed earthquake with Hurricane.
1772, August 28	Puerto Rico	No eyewitness reports, supposed earthquake with Hurricane.
1776, January 30	W. Puerto Rico and Dominican Republic	Suspect- No eyewitness reports.
1787, April 30	Puerto Rico	Suspect- No eyewitness reports.
1787, May 10	Ponce	Authors' embellishment or error of data for May 2, 1787 event.
1824, April 20 0300	St. Thomas	No eyewitness reports, Local newspapers make no reference to this "damaging" earthquake.
1824, July 20 0300	St. Thomas	Confusion between St. Thomas Parish, Jamaica and St. Thomas Virgin Islands.
1828, July 21 1828	Puerto Rico	No eyewitness reports.
1837, August 2 and 3	St. Thomas, San Juan Puerto Rico	One suspect eyewitness report, Local newspapers make no reference to earthquakes, but Hurricane reported.
1844, May 5	Puerto Rico	No eyewitness reports, Local government records make no reference to this "strong" earthquake.

In a few cases, we identify major blunders and try to correct the error. As an aside, but on the same issue of blunders, we note that the recent electronic catalog to accompany the work of Shepherd and Lynch (1992) contains such an error. An event occurred on June 21st, 1900 was listed by Gutenberg (1956) as having occurred at 20:52 location 20°N, 80°W, magnitude, 7.5. He assigned the location a quality of F that is ± 20 degrees from the Cayman Islands, essentially including all of the Caribbean and Central America as possible locations. Pacheco and Sykes (1992) give a location of 10°N 85.5°W with a corrected M_s of 7.1. Their corrected location comes from Montero (1989) who related this poor instrumental location to a damaging earthquake in Costa Rica that occurred on the same date and time. So, a catalog as recent as a few years ago is propagating an imprecise/incorrect location corrected a decade ago. We will see later that a typographical error in a 20th century report created a new major earthquake and a major blunder in the catalog for Puerto Rico as well.

Conclusions

While the large volume of material presented herein might seem overwhelming, there are several salient points we will note here. Tables 1-3 summarize the catalog. Major events stand out in the catalog. (Tables 1, 2) Prior catalogs listing felt earthquakes for Puerto Rico and the US Virgin Islands have for the most part gradually augmented the total number of earthquakes felt on the islands. In most cases the compiler used previous catalogs with little scrutiny to the veracity of their contents. As time as gone on errors have crept into the catalog and have been propagated by later compilers. We have taken a different tact. While using prior catalogs as a base of reference, we have noted discrepancies and have failed to find primary, which is eyewitness, reports for some events. In most cases the reason for the appearance of an erroneous event in other catalogs is clear and the event has been marked as non-existent and to be noted as such in further catalogs (Table 3). We have also noted that Neumann (1913) tended to embellish events or misreport hurricanes as earthquakes. Several of his earthquake reports were found to be unsupported by eyewitness reports. Others have supposed earthquakes to have caused damage or destruction. Those suppositions were shown to be unfounded.

While the bulk of the felt earthquakes for Puerto Rico for the period 1493-1899 have been found, many such events for the US Virgin Island probably remain undiscovered. The eyewitness reports for that region need to be searched for in the European archives. Similarly, the spatial extent of strong events on Puerto Rico and the US Virgin Islands is not at all well determined. This is because of the lack of reliable catalogs for felt events in the Dominican Republic and the North Lesser Antilles. That is not to say that catalogs for those areas don't exist, only that their

level of completeness is at such a high intensity, VII-VIII on the Modified Mercalli Scale, that lower intensity shaking from regional events such as those in Puerto Rico and the US Virgin Islands might not have yet been uncovered. A detailed search for eyewitness reports for those regions needs to be undertaken in European archives.

Major earthquakes affected Puerto Rico in 1670, 1787, 1867 and 1918. Each of these events caused widespread damage and was associated with at least weeks of felt aftershocks, suggesting shallow sources. Clearly the great earthquake of 1787 was the strongest of them all in terms of widespread nature of damage and region of highest damage. Other significant earthquakes occurred in 1831, 1844, 1846, 1865, 1875, 1890, 1906, and 1943. Some of these were widely felt and caused some damage, while others even though less widely felt, caused damage. This variation in felt area and presence of damage suggests that future investigations should be able to estimate source locations as well as earthquake magnitude, by calibrating shaking effects of these older events with those of 20th century events, which have better determined source parameters.

The absence of damaging earthquakes in Puerto Rico since at least 1943, if not 1918, is in stark contrast to the numerous widely felt, damaging events from 1787 through 1918.

Acknowledgements

The US Geological Survey under its NEHRP program, grant 14-08-000-G1511 provided support for some of the retrieval of documents from the Spanish archives. The second author (LF) was in charge of the search for documents in Europe. Others who worked with him are: Robert Brown, research assistant, who systematically went through a very large portion of the Puerto Rican data in the AGI pertaining to the 18th and 19th centuries, and Franz Binder, a volunteer, who specialized in a search of seventeenth century manuscripts at the AGI. Judith Lelchok, contributed additional 19th century data from the US National Archives in Washington DC.

We give great thanks to Father Ruben Muley of the Redontorists Fathers in San Juan, Puerto Rico for permission to view their archives and to Isadore Paiewonsky and Arnold Highfield for their help in researching earthquakes in the Virgin Islands.

Appendix I

Catalog of Felt Earthquakes for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands 1493-1899

1493-1509, 1493-1510? Year, and Date unknown

Location: Hispaniola; Puerto Rico

Data: A document in 1509 by the governor of the Canary islands states that “ya habréis sabido del terremoto acaecido en la Isla Española a causa de lo cual en ella hay aún hoy necesidad de bastimentos...” (Anon., 1509), so an earthquake must have occurred in Hispaniola in 1509 or earlier causing the lack of food or supplies.

According to the Puerto Rican Historian Aurelio Tió (1956) on July 25th, 1511, the King of Spain wrote: “desde que en esa isla (Puerto Rico) hay la debida administración de los sacramentos han cesado tormentas y terremotos”-“hágase luego una capilla y un monasterio”. So, in 1511 the Spanish King orders, that now that the storms and earthquakes have stopped, construct a chapel and a monastery in San Juan, Puerto Rico.

Commentary: Historic earthquake Catalogs for the Dominican Republic (Martinez, 1946; Iñiguez, 1975) refer to a possible earthquake in 1502. They cite Herrera (1730) who states that Santo Domingo was destroyed in 1502 by an earthquake. Another author (Charlevoix, 1781) attributes the destruction of Santo Domingo to a hurricane that passed at the end of June 1502 sinking various ships in the Spanish flotilla. However, this same author does mention that earthquakes frequently occur in Santo Domingo. Fray Bartolomé de las Casas was a passenger on one of the ships of the flotilla in 1502. He wrote that the flotilla “salió {from Santo Domingo} por principio de julio nuestra flota de 30 a 31 navíos... y desde treinta o cuarenta horas vino tan extraña tempestad y tan brava... Perecieron con ella las 20 velas o navíos... y toda esta ciudad {Santo Domingo} que estaba de la otra banda del río, como toda las casas eran de madera y paja, toda cayó en el suelo, ó de ella muy gran parte...” (de la Casas, 1927). He experienced the hurricane, saw the fleet lose it ships, and when they returned to Santo Domingo, he saw that the wood and leaf houses had been destroyed. He does not mention an earthquake occurring at that time.

Fray Bartolomé de las Casas, who accompanied Christopher Columbus on some of his journeys of discovery to the new World, wrote extensively about the orders of

the Pope to construct churches, and create bishoprics (de la Casas, 1927). He informs us that in 1503 “la reina doña Isabel {I de Castilla}... suplicaron al Papa proveyese de erigir iglesias y crear Obispos en esta isla Española, porque había ya mucha población de españoles en 17 villas.” The Pope’s order of 1504 started three bishoprics, each one with a church, in present day Santo Domingo, La Vega, and another in the north possibly Santiago (Utrera, 1927).

Note that this request for a church and bishopric for Hispaniola could not have included Puerto Rico as the first successful efforts to populate that island did not get underway until 1505 (Coll y Toste, 1918).

However, the next King of Spain Fernando II of Aragón, whose reign began in 1504, had to

informar y suplicar al Papa, que porque aquellos sitios para las dichas iglesias señalados, ya no eran dispuestos ni aptos para en ellos edificar... que por haber muerto las gentes de aquellos sitios y lugares, y estar despoblados de sus naturales habitantes,...que convenia mudar la orden de los obispados ya dada, suplicóle que tuviese por bien, para en esta isla {Santo Domingo}, erigir dos iglesias catedrales y cesar la metropolitana, y otra en la isla de San Juan {Puerto Rico}, tambien catedral, las cuales fuesen sujetas a la metropolitana de Sevilla” (de las Casas, 1927). Fray Bartolomé de las Casas says that in 1512 “El Papa lo concedió así”.

So the revised recommendations made by the King, and approved by the Pope in 1512, indicates that the towns previously indicated for the construction of churches are not good for construction, and their inhabitants have died, leaving them unpopulated. No reason is given for the deaths of the inhabitants.

The first indication of an earthquake or earthquakes in the new world is found written in colonial communications. However, more information may still be available in the archives containing communications by or to the Monarchy of Spain, the Catholic Pope, historians of the era, and general historic records. Until now we have not yet uncovered an eyewitness report of the earthquakes to which the King of Spain, the Governor of the Canary Islands, and Herrera (1730) refer. Bartolomé de las Casas (1927) knew what happened to Santo Domingo in 1502, it was not an earthquake that destroyed the fledgling town, so the event to which the governor of the Canary Islands refers, must have occurred at another time.

The orders to build a church in Puerto Rico refer to earthquakes on that island, so there probably was/were event(s) felt on Hispaniola and Puerto Rico during this early period of discovery. Documents in the Vatican archives may shed more light on the first earthquakes recorded in the new world by European discoverers in Hispaniola.

1524-28? Year and Date unknown**Location:** Western Puerto Rico?

Data: Information about this proposed earthquake is first found in the 20th century work by Tió (1956) about the foundation of San Germán in Western Puerto Rico. He notes that “Notificó el Lic. de la Gama en 18 de octubre de 1529 sobre otro ataque, éste de indios contra Caparra, y expresaba la alarma de los vecinos de San Germán por no tener casa-fuerte de piedra para su defensa.” This indicates that the original house of Ponce de Leon, established in Western Puerto Rico (between Mayagüez and Añasco), must have been destroyed by the Corsicans, a storm, or earthquake. Three storms the following year left no wooden houses standing in Caparra (near San Juan).

Commentary: Tió (1956), writing in the 20th century, relatively soon after the 1918 earthquake in NW Puerto Rico, *supposed* that it was an earthquake that destroyed the house of Ponce de Leon. Salivia (1972) lists several tropical storms in 1530. He also lists a hurricane in October of 1526, which could have caused the destruction of the House of Ponce de Leon. Fernandez (1995) notes that Vadillo wrote in 1527 of a hurricane on the night of 4 October “...tormenta de viento de agua, que llaman acá huracán que durando 24 horas derribó la mayor parte de esta ciudad de San Juan...”. The same storm might have affected San Germán. Also, Fernandez (1995) reports that in 1528 the French attacked San Germán, burning it, and that it was latter abandoned, but gives no source of this information. We have not been able to find a primary source (i.e. eyewitness report) that there was an earthquake in Puerto Rico during that period. This supposed earthquake is considered unfounded and should be noted as a non-existent event in further catalogs.

1615, September 7th, 2300-2400**Location:** Santo Domingo, Dominican Republic, and San Juan, Puerto Rico

Data: Utrera (1927) discussing the history of the city of Santo Domingo, cites Téllez,

Destrozó el año 1617 (error del escritor que esto escribió muchos años después de haber vuelto a España), a los principios de él (cuando los vientos nortes son por aquel clima intolerable), la mayor parte de aquella gran y fértil isla y lo mejor de su metrópoli, un terremoto horrible, que dió en tierra con lo más vistoso de sus fábricas; durando esta desdicha más de cuarenta días con mortales temblores de tierra a tres a cuatro veces cada uno...

Utrera (1927) also notes that Téllez says

Derribó el inclemente terremoto todo nuestro coro alto, quedando hundido y maltratado el arco toral que sustenta por aquella parte nuestro templo (puesto que era de piedra, marmol firme y hermosamente fabricado); pero en la mayor capilla y en el cuerpo de la iglesia más cercano a ella (con ser sus muros no de resistencia tanta) no les faltó ni la más minima piedra).

Utrera (1927) is reporting on a horrible earthquake in 1615 that destroyed a great part of the island with aftershocks of 3 to 4 a day for 40 days.

Utrera (1927) also cites comments by Gerónimo, about the status of the church

La imagen de Nra. Señora de las Mercedes en el convento de esta ciudad a obrado Dios por ella muchos milagros, particularmente en el año 1614 en un gran temblor de tierra que hubo en esta ciudad de Santo Domingo. Víspera de su fiesta de la Natividad experimentaron el divino favor..." and "La yglesia del —(convento de la Merced de Santo Domingo) aunque muy suntuosa y elegante, no era t n fuerte como un menester los edificios de esta ciudad. Desde muy antiguo, que debía ser a sus principios, estaba hendida y abierta y apuntalada, amenazando ruina, como en efecto se cayó, en la ocasión que dirá,... (en) el año de 1635, queriendo... derribar los techos que estaban dañados y apuntalados,... un día se determinó,... como a las dos de la tarde, vino un temblor de tierra, y cayó sin hacer daño a ninguna persona todo el techo y todo lo que era menester derribar y que había de costar mucho tiempo y costó mucho trabajo y riesgo, quedandose los puntales en pie—, y lo que tambien causó admiración fué que el temblor no fué muy grande, n  fuerte, y como habían sucedido en esta ciudad otros mayores y más fuertes, se tuvo por milagro que en esta ocasión se cayese.

Gerónimo tells us that the great earthquake in the city of Santo Domingo in 1614 damaged the church of the convent of Mercy, and that the roof later fell during a minor earthquake at 2 pm (no date specified) in 1635.

Further we see that there were requests for funds to repair government buildings as well as the church and that many houses fell, and the people ran out of their houses: "Reparar el cuarto de cabildo {Santo Domingo} que con un gran temblor que hubo el año 1615 se abrió y maltrató de manera que corre un gran riesgo de caerse y llevarse casi la mayor parte de la iglesia" (Anon., 1623).

Y sabe por ser muy público y notorio y haberlo visto que en siete días del mes de septiembre de presente año entre las once y doce de la noche sucedió un temblor de tierra que duró un cuarto de hora, de la manera que se movió a toda la gente de la ciudad {San Juan, Puerto Rico} y salieron muchas personas de sus casas por lo que podra suceder." (Navarra, 1615a) El más de lo cual sabe por haberlo visto que han sucedido temblores de tierra y el último temblor que hubo fué en seis [*sic*] días del mes de septiembre del presente año con t n fuerza que se entiende cayeron muchas casas y que

luego subcesivamente en doce días del mes de septiembre hubo una tormenta.” (Navarra, 1615b) ...Y que despues de dicha perdida en diversos tiempos habido temblores de tierra muy gran del ariesgo de caer muchas casas y que en siete de septiembre de dicho año han asi mismo hubo temblor de tierra como al doce horas de la noche, y por ser graves causó a todos temeridad y se salieron de sus casas dando bocel y pidiendo a Dios misericordia para que el socorriese (Navarra, 1615c). En la dicha ciudad que podrán ver diez y seis años poco más o menos a visto que habido temblores de tierra por cuatro ó cinco veces y que en doce días del mes de septiembre pasado del presente año (Navarra, 1615d).

There is a single reference to “loss” in Puerto Rico “..A estar la Ysla {Puerto Rico} y vecinos de ella perdidos por los temblores y esterelidad de la tierra...” (Dorantes, 1620).

Campbell (1972) includes this event with a date of September 8th along with the following information: “An earthquake and hurricane which did much damage and caused great suffering in Puerto Rico (Real, 1968) A horrible earthquake during a strong north storm. Many aftershocks during the next 40 days in Santo Domingo” (Iñiguez, 1975). A Dominican catalog also refers to this event with a date of September 8th and mentions 140 aftershocks in 40 days (Martínez, 1946). These last two references derived their information from Utrera (1927).

Commentary: The List of Dominican Republic Earthquakes refers to an Intensity XI event of November 8th 1615 that during forty days [with] sometimes three and four shocks per day was felt and caused damage in Santo Domingo and most of its island. From the comments above it seems obvious that it was also felt in Puerto Rico. It should be noted that it is only mentioned in the Puerto Rican testimony because a few days afterward came a really damaging hurricane that required assistance from Spain. The earthquake was simply the prelude the greater natural disaster. Governor Felipe Beaumonte repeats this statement in a separate letter that houses fell down “al suelo” but that letter implies that another earthquake happened on the 12th and makes no mention of the hurricane of that date (Navarra, 1615b).

This is the first earthquake to have been felt on Puerto Rico and reported by an eyewitness for whom we have a written record. However, the fact that the aftershocks are reported from the city of Santo Domingo, in the future Dominican Republic, and that there are clear references to damage there, the event must have occurred closer to the Dominican Republic. Confusion over the year (errors such as 1614, 1617) is cleared up by the reference to a tropical storm that occurs on September 12th (Navarra, 1615b). On September 12th, 1615 a storm caused damage in Puerto Rico and later affected Santo Domingo (Salivia, 1972).

This event is possibly the first great ($M \geq 7.75$) earthquake since the arrival of the Europeans, as it caused damage in Santo Domingo where aftershocks were felt, and

was felt strongly with damage in Puerto Rico. Later events causing damage in the Dominican Republic, and being felt in Puerto Rico, are estimated to have magnitudes about 8.0 (Shepherd and Lynch, 1992).

1663? Year and Date Unknown

Location: San Juan, Puerto Rico

Data: From the West Indies Archives in Spain we have: “Por parte de la iglesia Cathedral de la isla de San Juan de Puerto Rico, se ha presentado memorial en la camara, en que refiere, que con los terremotos que ha habido de algunos años a esta parte en aquella isla, se halla arruinada la iglesia de ella para cuya reedificación y otras cosas de que necesita...” (Anon., 1663).

There also is a brief reference to “las ruinas y terremotos” with respect to the city of San Juan (Anon., 1667).

Commentary: There was an event prior to 1667 that caused damage in the city of San Juan including the Cathedral, but we do not know when it occurred (1615?).

1670, August 15 and later events

Location: San Juan, San Germán, Puerto Rico; Santo Domingo (?), Higüey, Dominican Republic (?)

Data: Data from the Spanish archives provides the following: “parese señora que todas nuestras desdichas las pronosticó la misma Ysla pues el día propio que vió la embarcación (August 15th, 1670) en que venía el gobernador (Gaspar de Arteaga) tembló generalmente, y se continuaron después de su entrada más de tres meses los temblores tán fuerte y rigurosos que se temió, y con razón, su entera ruina; haciendolos más dos rigurosas tormentas: estos que pudieron ser acosos de la naturaleza se puedan hoy con ossen (?) como proverbios de nuestros sucesos” (Gordo, 1673). Gordo (1673) reports that on the day of the arrival of the new governor, “tembló generalmente” – it shook widely” and that for more than three months shocks continued so strongly that they feared total ruin.

200 ducados en Mexico para el reparo de la Yglesia, conventos y hospitales en atención al terremoto que sucedió en aquella ciudad (San Juan)... (Anon., 1673). ...La Yglecia parroquial de aquella villa (San Germán) y convento de Santo Domingo muy arruinados por su antigüedad y ser lo más de madera, haber recibido con los grandes terremotos que a habido mucho daño... Es de parecer podría vuestra majestad enviar al Convento de Santo Domingo, de San Germán de la Ysla de Puerto Rico de 300 pesos de limosna... para ayudar a su reedificación” (Larrera, 1692). “...Una limosna para reparar las ruinas que padecen la yglesia parroquial de aquella villa {San Germán}, y el convento de Santo Domingo por lo deterioradas que se hallan estas fabricas con los temporales, y continuos terremotos” (Ortiz, 1688). “La iglesia parroquial de aquella

villa (San Germán}, y el convento de Santo Domingo se hallan muy arruinados, respecto la antigüedad de su fabrico que lo más es madera, y con los grandes terremotos y temporales han recibido mucho... (Anon., 1680).

These other reports are requesting fund to repair churches in San Juan and San Germán and a convent in San Germán.

Commentary: The implication of one of these citations (Ortiz, 1688), is that earthquakes continued into the 1680's. Coll y Toste (1925) cite Friar Padilla to make clear what happened to the church in San Germán “como por haber demolido la iglesia de la Villa, a causa de la ruina que amenazaba por su mucha antigüedad, se fabricó en su lugar otra con más aseo y pulidez, quedando mayor y más hermosa que la antigua” The damaged parish church in San Germán was demolished and a new church built on the same site. The reconstruction on the parish church of San Germán was finished by October 23rd 1688 (Anon., 1688).

Higüey and Santo Domingo in the Dominican Republic may have been struck by one of the events of the 1680's: “Santo Domingo Iglesias y casas, daños no especificados probablemente a consecuencia de uno de los terremotos de 1684 o 1686, la Iglesia [of Higüey] es transformada parcialmente” (Palm, 1955).

This the first clear evidence of an earthquake whose origin is on or near the island of Puerto Rico. Damage is noted both in San Juan and in San Germán, sites separated by about 100 kilometers, indicating a major earthquake. Aftershocks felt for at least three months.

1690, April 6th about 1600

Location: St. Thomas; Northern Lesser Antilles

Data: “Four governors had all ready ruled St. Thomas, when a violent earthquake took place on a Sunday, the 9th of April, in the year 1690. It cracked the walls of many buildings and the Sea receded so that the fish could be picked up from the bottom, nine or ten fathoms out” (Taylor, 1895).

In answer to your questions about tidal waves affecting the former Danish West Indies, I can inform you that concerning the 1690 earthquake the ‘Journal over aet paa St. Thomas passerede’ (Journal over daily events on St. Thomas) in the ‘records of the Danish West Indian Guinea Company’, 498, states for April 6th, 1690: ‘Sunday. Sermon held for the Lutheran community in the afternoon about 4 o’clock we had a terrible earthquake which lasted half of one quarter of an hour (*sic*). All people have run out of their houses not to be killed and the Company big warehouse has got a large crack in the wall. The sea has sunk so much that one has been able to catch fishes on dry land. (translated from Germán). In Breve og dokumente fra vestindien 1674-98 (West Indian letters and documents). # 98. a letter, dated April 8th 1690. From the governor to the Company Board in Copenhagen states that last Sunday which was April 6th this Island has been hit by a terrible earthquake lasting one half

of a quarter hour, so that people feared their houses would come down. Some hours after that the sea receded so much, that one could walk about 9-10 fathoms into the sea and pick out fishes on dry land, (translated from Danish)' (Olsen, written comm., 1988).

Commentary: Robson (1964) reports a major event on April 5th in Antigua, St. Kitts, Nevis and Guadeloupe. It was clearly felt in St. Thomas and a tsunami followed. Shepherd and Lynch (1992) cite other sources for this major earthquake that affected the northern Lesser Antilles.

1717 Date and Hour unknown

Location: Arecibo, San Germán, Puerto Rico

Data: Coll y Toste (1925), in a letter about the church in San Germán says “Ese edificio de tapería (piedra, barro colorado y cal) tenía más de un siglo. Y la que se levantó en su lugar fué inutilizada en el siglo XVIII, año 17 {1717}, por el gran temblor de tierra que arruinó la de San Felipe Apóstol de Arecibo.” The direct translation of these important words is as follows: “That building of stone, red clay and cal was more than a century old. And that which was raised in its place was made useless in the Eighteenth century, year 17 (1717), by the great earthquake that ruined the (church) of San Felipe Apóstol of Arecibo.”

Another secondary source (Cadilla, 1961) refers to the church of San Felipe de Arecibo says “Arruinada (averiada) por terremoto, 1717...” without giving a source of information.

Commentary: Until now there are no known first hand reports of this supposed earthquake. Given that no primary sources have been found in Europe to document this event, despite this being a period well represented by reports from Puerto Rico, one can only assume that the damage caused by the event was not considered significant and/or no damage was caused by it in the capital of the island (San Juan), that there is an error in date, or that the event never occurred. It is difficult to accept that an event strong enough to have ruined the church in Arecibo and make useless the church in San Germán would go unnoticed in contemporary records.

There is no first hand report that the church in Arecibo was ruined by an event in 1717. Cadilla (1961) does not give a source and the only other known source is Coll y Toste, (1925). Therein they say the church in Arecibo was ruined (arruinada) by the great earthquake in 1717. However, the only data we have for damage to the Arecibo church in the 18th century is in 1787 not 1717. In fact the word “ruined” are used by several eyewitness reports for the damage caused to the church in 1787, coincidentally it is used by the only (20 century) reports for the 1717 earthquake as well. This opens the possibility that Coll y Toste (1925) have

a typographical error referring to the great earthquake of 1717, when they meant 1787.

The church in San Germán was supposedly made useless by this earthquake as well. Records for San Germán indicate that the parrochial church that was damaged by the 1670 earthquake, was torn down, and a new one built on the same site by 1688. Coll y Toste (1925) state that the church in San Germán was more than 100 years old when it was damaged by the “1717” earthquake. As we know that the church as damaged in 1670, torn down, and repaired by 1688, the contradiction in dates is apparent. The rebuilt church was only 30 years old in 1717 not more than 100 years. Upon being damaged again by the next earthquake (1717 or 1787) the church was closed for repairs (Coll y Toste, 1925). They state “Cerrada la ‘iglesia parroquial’ se hizo el servicio del culto en la capillas y ermitas. Asi paso en la villa de Arecibo, que la parroquia tuvo que funcionar en la ermita de Nuestra Señora de la Monserrate hasta que en 1848 pudo terminarse la reconstrucción de San Felipe apostal de Arecibo.” This is, the parochial church being closed meant that services had to be held in chapels, that is what happened in Arecibo, the parish had to function in Nuestra Señora de la Monserrate until 1848 when reconstruccion was finished.’ But we know (see event on 11/28/1846) that the repairs to the church in Arecibo took about 50 years starting after the damage was caused by the event in 1787, not 1717.

This event is non-existent, being caused by an apparent typographical error in the report by Coll y Toste (1925). It should be noted as a non-existent event in further catalogs. Their references to this great earthquake should be transferred to the earthquake of May 2nd, 1787.

1740, August 30th?

Location: Ponce, Puerto Rico

Data: Neumann, in his work History of Ponce (Neumann, 1913), says “En 1740 un temblor de tierra destruyó la iglesia de la Guadalupe y la ermita sirvió por primera vez para el servicio religioso de la comarca; aún en tiempos de Fray Iñigo, en 1778, estaba dedicada a este objeto.” Later the same author continues “Ya hemos afirmado en páginas anteriores que en 1740 una terrible sacudida casi destruyó la iglesia parroquial de Ponce, y hubo que trasladar el culto a la ermita de San Antonio Abad, dato que nos suministró el vicario de Ponce don José Balbino David, que murió fuera del ejercicio de su ministerio, tildado de masón, liberal y enemigo de España. El hecho ocurrió el día de Santa Rosa, según constaba en uno de los libros que leímos el cual desapareció, cuando el incendio del archivo.” We do not know which fact the author refers to, the death of the vicar or the earthquake for having occurred on the day of Santa Rosa.

Another source tells us “y que Ponce... en 1740 la piedad del vecino don José Rodríguez levantó la ermita ó santuario de San Antonio a causa de haberse caído la iglesia, como consta en los archivos de este municipio, y cuyos datos han sido publicados en los números 17 y 18 del 1º de este mismo semanario {La Cronica}” (Marin, 1877), so the church fell down, but he does not say why.

Campbell (1972) tells us that the newspaper “El Mundo” says that “(el temblor) totalmente destruyó la iglesia Guadalupe en Ponce”, but does not cite the date of the information. *El Mundo* began publication in 1919, so this report is unlikely to be that of an eyewitness.

Commentary: There are no primary sources that describe this supposed earthquake. The “event” did not cause any damage in San Juan, Puerto Rico and was not reported to European authorities. Given the date of the event (i.e. in August), one would want to be sure that the damage was not in fact caused by a hurricane. Neumann (1913) as we will see later cannot always be considered a reliable source, as he has been found to change facts and exaggerate events. Unfortunately since the eighteenth century municipal archives of Ponce were destroyed early in the 20th century, the “archivos de este municipio” are of no use in establishing the existence of this event, it will be difficult to confirm this supposed earthquake. The “event” occurred in the same month as a hurricane (August 3rd). Salivia (1972) cites various authors about this tropical storm and one of them says: “En 1740 uno asoló el territorio de Ponce en la costa meridional de la isla, y destruyó un considerable número de palmas” (Ledru, 1957). Neumann (1913) says “Moreau de Jonnés habla de un ciclón que davastó en 1740 toda la campiña de Ponce”. We consider this another non-existent event.

1751, August 18th

Location: Puerto Rico, Dominican Republic

Data: Campbell (1972) reports: A large earthquake accompanied by a strong hurricane. The earthquake was felt throughout the Island (Arana, 1968). A very large earthquake centered in the Dominican Republic where much damage was done. Felt strongly in western Puerto Rico but no serious damage was reported (*El Mundo*, no year given). Felt during the San Agapito hurricane of August 18th, 1751 (Ramírez, 1933). This might have been October 18th, 1751 when a large Dominican Republic earthquake occurred.

Commentary: Neither the reports of the governors of Puerto Rico for this date, nor the Actas de Cabildo for San Juan, Puerto Rico, speak of a hurricane nor an earthquake (e.g. Audiencia de Santo Domingo, 2298). No primary (eye witness) data is known for this earthquake. This is a non-existent event and should be noted as such in any further catalog.

1768, September**Location:** St. Thomas, Virgin Islands

Data: “Earthquakes are so common on all the West Indian islands that at least some occur every year, though St. Croix has the fewest. They are seldom strong enough to cause any real damage to houses or plantations. They consist rather for the most part of underground rattling and clapping, whereby the ground shakes and the furnishings in homes are moved about somewhat. In the course of a half year, I have witnessed in St. Thomas 4 earth tremors, all of which were light and of short duration. During one of these, I heard a rattling so nearby that it sounded like a coach being driven past the house at a high speed. And the last one, which occurred in the month of September 1768, produced 2 weak shocks, which caused the floor of the house to tremble and the tea-table to move. It can be concluded from the underground noise which accompanies them that their direction is for the most part from east to west, from Eustatius to Saba, Tortola, St. Thomas, St. John and Puerto Rico” (Oldendorp, 1777).

Commentary: Two weak shocks.**1772, August 28th****Location:** Puerto Rico

Data: A slow tremor that came during the hurricane of August 28th, 1772 (Coll y Toste, 1918). A very slow tremor accompanied by strong winds (Fontan, 1868). In the book “Viaje a la Isla de Puerto Rico” by Andre Pierre Ledru (1957), the earthquake accompanied a hurricane on August 22nd, 1772. Reid and Taber (1919) cite the catalog by Poey (1857a, 1857b).

Commentary: Despite excellent documentation for this period, no real evidence for an earthquake. Citations appear to confuse the actual effects of a Hurricane and those thought to be produced by an event. This is a non existent earthquake and should be noted as such in any further catalogs.

1776, January 30th**Location:** Eastern Dominican Republic and Western Puerto Rico

Data: Felt in the eastern part of Dominican Republic (Iñiguez, 1975). In 1776 a very large earthquake occurred in the Dominican Republic that destroyed a great number of structures on the island. There was so much damage, a great epidemic followed. Considerable damage was done in western Puerto Rico but details were not given (Campbell, 1972 cites *El Mundo* but no year given).

Commentary: Given that there is no evidence that this event was mentioned in the reports of the government of colony of Santo Domingo to its European masters, one wonders if this event as important as suggested above. There seems a distinct possibility that it could be confused with the well-reported event of 1751. This event must be considered as dubious until supported by better evidence.

1777, September 1st or 2nd 1330, evening

Location: Saint Thomas, Saint Croix

Data: “We hear from St. Thomas, that there was a severe shock of an Earthquake felt there on Monday last (September 1st, 1777), about one o’clock in the afternoon, which lasted about ten or twelve seconds. There was also one about the same time at the west end of this island (Saint Croix), not so severe” (Anon., 1777). St. Thomas. Two strong shocks, each lasting one minute and accompanied by a fearful noise. Three more shocks were felt the following evening (Perrey, 1855). St. Thomas (V) 13.30 h. Two violent shocks, each lasting a minute Mallet (1852).

Commentary: Several shocks on Saint Thomas and Saint Croix.

1777, September 2nd or 3rd

Location: Saint Thomas

Data: St. Thomas (IV) Towards evening, three shocks. Mallet (1852)

Commentary: The two preceding events are given dates of September 2nd and 3rd. Anonymous source clearly states first event occurred on a Monday, which would be September 1st. If that source were correct, then the events the next date in the evening would be on September 2nd not 3rd.

1784, May 13th

Location: St. Thomas

Data: An earthquake (Mallet, 1852)

1785, February 26th

Location: St. Thomas

Data: Saint Thomas (V) An earthquake. Mallet (1852). Reid and Taber (1919) cite Perrey (1845).

1785, July 11th 0300

Location: Antigua, off shore from St. Kitts, St. Eustatius and Tortola

Data: “Antigua, St. Christopher and Tortola. Most violent shock known in Antigua to that date. Clefs formed in rocks in Tortola. Must have been felt in St. Thomas” (Reid and Taber, 1919, citing Mallet (1854)). Antigua. Tortola. Great clefs in rocks. New island formed. Antigua V; most violent shock in Antigua to that time. Felt by ships (Robson, 1964). Tortola (VIII) About 0300h. An earthquake made great clefs in the rocks, and separated completely a part of the island, forming a new island. Also felt in Antigua and St. Kitts, and by ships in the neighborhood of all three islands. Mallet (1852).

On Monday last the 11th instant about three O’clock in the morning we were much alarmed by a dreadful shock of an earthquake, which lasted for near a minute. It was the most severe shock that has been felt here in the memory of man (Anon, 1785a).

Extract of a letter from the island of Antigua, dated St. Johns, July 12th. About three o’clock yesterday morning, we had the most violent shock of an earthquake that has been known in the memory of the oldest inhabitant here... I was awoke suddenly by an unusual noise... Three or four minutes; after... poor hound in the yard began to howl, and the poultry to make a noise... in an instant the whole house was in a gentle trembling, which continued about half a minute. Before I could get out of bed for a candle... another dreadful shock succeeded. The house was rocked like a cradle for nearly three minutes. The windows, and some glasses were in a perfect clatter, and a dismal noise accompanied the earthquake. It has done no material damage on this island, except injuring some old houses... The shock, it seems was felt severely at sea, many leagues from the land... (Anon., 1785b).

By Capt. Black of the Mary, from Tortola, we are informed that between two and three o’clock in the morning of Monday, the 11th of July, there was a violent and tremendous shock of an earthquake at Tortola, which continued near half a minute. It was felt with more or less violence in all adjacent islands but with little damage... The subterraneous noise was like rolling a great number of empty casks in a large loft. The report ashore was it lasted above a minute, several fractures of rocks were precipitated from the mountains, and several houses damaged, but at Spanish-Town the report was, that a large part of the island severed, and several large fractures of rocks whirled to a considerable distance. There was an uncommon agitation of the sea caused by it, but a strong smell of sulphur in some places immediately followed (Black, 1785).

Extract of a letter from St. Eustatia, dated July 22nd, 1785... On Monday morning, the 11th instant, about half after two o’clock, we were much alarmed

here by a violent shock of an earthquake which lasted upwards of a minute. As I in general sleep very sound, I believe I should not have felt it, had I not been waked by the shrieks of the ladies of the house... The bed shook almost like the rocking of a cradle and the house rattled... It however went off without doing any damage. They say here they have not felt so severe a shock these 40 years. It was experienced by all the neighboring islands much about the same time, and several vessels a number of leagues out at sea felt it, especially a small one at St. Kitt's, which by the commotion it made in the water, lost her rudder, split her pump and fore-top, and was so shook that the captain was afraid she would have gone in pieces (Anon., 1785c).

Commentary: More work needs to be done to get details of this strongly felt earthquake. Given the effects in Tortola, estimated by Robson (1964) to be MMI (VIII), this event is likely to be have been felt and possibly caused damage on Saint John and Saint Thomas. Description in Reid and Taber citing Mallet is similar to some of the eyewitness reports noted here. They are probably the same sources.

1785, August 25th ?

Location: Puerto Rico

Data: El terremoto que... se experimentó en Puerto Rico y toda la Ysla... El temporal en Puerto Rico el 25 de Agosto de 1785” (García, 1801)

Commentary: Probable confusion with a tropical storm or Hurricane, although no major storms are listed for that date. Possible reference to event in July, 1785, or 1787.

1786, May 26th

Location: Tortola

Data: On the 26th of May a slight shock of an earthquake was felt at Tortola (Anon., 1786)

Commentary: Mild shock.

1787, April 30th

Location: Puerto Rico

Data: Intense and prolonged earthquake felt throughout Puerto Rico (Neumann, 1913)

Commentary: Perhaps the result of confusion with the event of May 2nd? Without further evidence must be considered as dubious.

1787, May 2nd a little before noon, and May 18

Location: San Juan, Mayagüez, Bayamón, y Toa Alta, Arecibo, Caguas, Ponce, Cayey, Añasco, San Germán, Pepino (San Sebastián), Puerto Rico

Data: “El Señor procurador general presentó escrito representando el quebranto que han padecido los edificios de esta ciudad con el temblor de tierra sucedido el día 2 de Mayo último y pidiendo que se pase oficio al señor gobernador y capitán general para su remedio, y así se acordó por sus señorías para que tome su señoría la providencia que tenga a bien” (Anon., 1787a). Report to the local government on the damage to buildings in San Juan Puerto Rico caused by the earthquake of May 2nd, 1787. Below are relevant parts of the report on that event.

Dando a vuestra excelentísima correspondiente cuenta de haberse experimentado en esta isla de mí actual mando un recio temblor de tierra en dos del corriente mes, poco antes del medio día, seguido de otros menores que todavía no han cesado enteramente, acompaño Relación de los perjuicios causados por dichos vaivenes en las obras de Fortificación de esta Capital, edificios militares y civiles de la misma costeados y entretenidos por la Real Hacienda...

Esta, que dispuse hiciera el Comandante de Ingenieros don Juan Francisco Mestre después del examen ocular de todos los estragos padecidos, hace especial mención de los edificios que por muy maltratados no admiten recomposición y es preciso derribar enteramente, expresando igualmente los que pueden rehabilitarse por medio de reparos con especificación de los ejecutivos y los que no la son y trayendo finalmente el cálculo prudencial ó de los gastos que irrogarán dichas reparaciones.

Pero observada por mí mismo la urgente necesidad de demoler el pequeño fuerte levantado en el centro del Puente de San Antonio, mediante el cual amenazaba próxima ruina y su caída atraería seguramente la del ultimo que dichosamente no ha experimentado quebranto alguno, y de rehabilitar sin pérdida de tiempo el Fuerte de San Gerónimo, contiguo al nominado Puente, casas capitulares, cuartel de Presidarios, Hospital Real, Almacenes, y Cuerpos de Guardia necesitados de pronto remedio, no puede menos de providenciarlo así y prevenir a dicho Comandante suspendiese en el entre tanto las obras de Fortificación que se estaban continuando.

Como el Almacén colorado en el Baluarte de la Concepción... se ha cuarteado y desplomado enteramente, su demolición es también absolutamente necesaria después de evacuado: Las casas situadas en esta Ciudad han sido en su mayor parte más ó menos maltratadas a impulsos del mencionado primer temblor de tierra, incluso los conventos de Santo Domingo y San Francisco, pero sin causar considerable ruina ni desgracia. En el resto de la Ysla, habiéndose experimentado en toda ella igualmente fuertes, ha sido menor el daño recibido por la circunstancia de ser sus fábricas de madera, excepto algunas Iglesias que son de mampostería; contándose entre estas derivada la del partido de Arecibo, y con distintas hendeduras las de los de Mayagüez, Bayamón, y Toa-Alta. Más se trata de reedificar la primera y habilitar las últimas en

el modo posible. Nuestro Señor prospere a vuestro excelentísimo.. como apetezco y le pido. Puerto-Rico 23 de Mayo de 1787 (Dabian, 1787).

Dabian reports on May 23rd, 1787 that on May 2nd, 1787 a little before noon, there was an earthquake that has been followed by lesser ones, which have not ceased entirely as of the date of the report. His report is with respect to damage caused to forts, military and civil buildings in San Juan, Puerto Rico. Special mention is given to buildings that, because of the extent of damage must be torn down, others that can be repaired, with an estimate of costs. He goes on to mention damaged forts, a military warehouse and other buildings and the hospital that should be repaired immediately.

Next he reports, that the majority of the houses in this city have been more or less mistreated by the first earthquake..., but without considerable ruin or loss of life... In the rest of the island, all of it having experienced the event equally strongly, damage has been less because buildings were made of wood except for a few churches of mampostería among these... Arecibo, and Mayagüez, Bayamón and Toa Alta... The first needs to be rebuilt and the others repaired as possible.

A report on military buildings says:

Manifestando en cada edificio militar el costo prudencial de la reparación resultas del temblor. Por lo correspondiente a Fortificaciones: En la cortina, y semi baluarte de la Puerta de Santiago, tienen la mayor parte de sus parapetos abiertos, con algunas de sus explanadas hundidas; se necesitará para su recomposición 1,500 pesos. El Caño que pasa por el frente de dicha Puerta, y calzada que corre por cima, se han descompuesto; su reparo ascenderá a 100 pesos. El Puerto de San Cristóbal su caballero tiene cuarteados la mayor parte de sus parapetos, y hundidas la mitad de sus explanadas de sillería, descompuestos los conductos por donde suve el agua a los Algives, con la reparación de todo ascenderá a 1,400 pesos. En el Baluarte del Norte, y Bateria baja de dicho fuerte, se necesita componer varios parapetos, y troneras, y todo ascenderá a 700 pesos. Los parapetos, y hormigones del revellín de Príncipe del ante de la Puerta de Santiago, tienen algunas hendiduras, y su reparo importará 1,000 pesos. Las Baterías de la Trinidad que siguen al Norte del expresado revellín, hay algunas aberturas y una de ellas en su sola, para su composición se necesitaron 180 pesos. El revellín de San Carlos tiene barcas aberturas en sus parapetos, y hormigones, tendrá de costo su composición 100 pesos. En el Festero del Norte de toda la fortificación del frente de tierra en el recalze que se siguió desde el nivel del mar para sostener todo aquel terreno al pie de la obra, y media entre el antiguo espigon, y fuerte de la princesa, se ha caído una porción de él en longitud de veinte varas, con ocho de alto, cuyo urgente reparo importará 2,200 pesos. Ygualmente necesitan de composición otras cortas porciones en este parare para evitar mayores daños en lo sucesivo, que importaran 200 pesos. El fuerte de la Perla en la medianía del frente del Norte se corrió el terraplén de uno de su ángulos, y para abrigarlo, y recalzarlo se necesitaran 1,500 pesos. En el recinto que cierra la expresada costa del Norte, en el Baluarte de Santo Domingo se ha abierto el parapeto de una de sus casas y en el ángulo de la espalda, una abertura des-

de el cordón hasta la retreta, que aunque no es de consideración, menere su reparo, y el del parapeto; lo que ascenderá a 120 pesos. En la Tercera Tronera de la casa al Norte del Baluarte de Santa Rosa, se ha encontrado una abertura en su muralla, y se necesita repararla, que importara 700 pesos. En el Castillo de San Felipe del Morro, y Baluarte de Ochoa, en la Muralla antigua de su flanco en el frente de tierra, se abrió una rotura perpendicular desde el cordón a la retreta, siguiendo por encima de todos los meriones y troneras de su caja, en la que, y la de algunas banquetas, y hormigones sentidos, se gastaran 600 pesos. En el antiguo fuerte de Santa Elena dentro del Puerto, se ha abierto, y separado de la muralla principal el cuerpo de Guardia, con peligro de la Tropa, su reparo importarán 150 pesos. En el Fuerte de San Agustín que sigue al anterior, tiene igual daño su cuerpo de Guardia, y el propio costo para su reparo 150 pesos. En la Real Fortaleza a habido algunas cortas aberturas en sus paredes, y dos vigas de su techo fuera un poco de su lugar; su reparo 4 pesos.

Por lo correspondiente á Edificios Militares, y Civiles: En el tinglado construido para resguardo de las curendas, y en su piso alto colocadas las animas, como principal sala de ellas, tiene porción de tejas rotas, de lo que resultan muchas goteras que para repararlas se necesita 15 pesos. La Maestranza del Real Cuerpo de Artillería, a padecido algo su azotea, y los remates de ella, cuyo reparo importará 10 pesos. En el tinglado inmediato a la expresada Maestranza que contiene sus maderas de construcción de repuerto arrimado a la cerca de una casa particular que lo cierra por un lado, se ha cuarteado toda ella, y caído mucha parte, precisa para resguardo de las citadas maderas cerrarlo con fabriques de Ladrillo los entre el arcos de Estantes conforme a su otro lado ó puerto exterior; para lo cual será su importe 200 pesos. La Herrería de Reales Obras tiene desunido el empalme de una solera de su armazón, con perjuicio del vuelo del tejado. Su reparo 8 pesos. El Cuerpo de Guardia del Almacén de Pólvora de San Gerónimo extramuros, manifiesta en su azotea algunas aberturas; su reparo 8 pesos. En el Cuerpo de Guardia del Almacén de Pólvora de Miraflores se han ocasionado varias aberturas en todas sus paredes, azoteas; y arcos del pórtico, y aun que no manifiestan próxima ruina, piden su pronto reparo, y ascenderá a 400 pesos. El Fuerte de San Gerónimo, obra antigua, colocada sobre la punta de la entrada del boquerón y comunicación de la mar del Norte con el Puerto, a padecido algunas aberturas en sus murallas y en la escalera que sube a la batería cuya reparación la pide subenterosa situación, y ascenderá a 200 pesos. El Cuerpo de Guardia de la Marina inmediato a la Aduana, tiene su tejado, y paredes quebrantadas su composición 40 pesos. La casilla que sirve para utensilios, y resguardo de la Piraguas del Rey, a padecido su tejado alguna ruina, y su reparo 10 pesos. La casita que sirve para utensilios, y custodia de la Talua del Rey, tiene algunos reparos que ascenderán a 100 pesos. El cuartel de Presidarios a experimentado algún daño en su azotea, y la cocina que sirve al Presidio, y compañía de Artilleros de la Plaza, se ha inutilizado enteramente, cuya reedificación, y reparos importaran 200 pesos. El Almacén de la Concepción, colodo mui antiguo en el Baluarte de este nombre, ha quedado enteramente inútil, y habiéndose hecho presente en otro tiempo su demolición, así por el mal estado en que se hallaba su fabricas como por el grave defecto de impedir las defensas del expresado Baluarte, no se a formado calculo de su reparación. El Hospital de Caridad que al presente, sirve a los enfermos de la Guarnición de la Plaza, ha padecido tres aberturas de algunas consideración en la pared contigua a la Yglesia, por la parte donde están formadas las escaleras, se han sentido los arcos que forman parte del piso superior, y los pórticos,

habiendo padecida generalmente las azoteas varias aberturas cuyos reparos hacen 200 pesos. La Real Cárcel tiene abierta por sus dos ángulos colaterales la pared que hace frente a la Plaza apartada de sus tirantes en los ángulos, se han abierto las paredes de división en las habitaciones superiores, y en el tejado se han corrido por ambos los dos considerables números de tejas cuyos deterioros, aunque al presente no amenazan pronta ruina, se hace preciso no retardan su reparo, que podrá importar 500 pesos.

En consideración a la antigüedad del techo de esta Iglesia Catedral, y a las varias composiciones que en el se han hecho para irlo manteniendo sin peligro de ruina; y con atención a el ensamblaje con que se forma, haber experimentado de resultas de los temblores acaecidos últimamente los tres arcos que forman la nave izquierda una ligera abertura cerca de su clave, se ha hecho un próximo reconocimiento de toda ella, ¡y aunque de el no resulta por la presente ningún peligro, merera no olvidar el precaverlo.

El puente nuevo de Martín Peña, ha padecido el segundo arco que mira a la parte del norte, y su correspondiente ala del Sur, una ligera abertura cada uno, resultante la del primero del desplomo del taxaman del Piedrol? intermedio al arco segundo y tercero, con mas bario? desconchados de los Enlucidos? que aviso [?] había hecho el cuerpo suficiente en la obra por ser nueva; su reparo importará 800 pesos.

En el Puente de San Antonio, solo ha padecido el cuerpo de Guardia alto, y bajo, con la batería circular que apoyaba a él, y servía de defensa a su cabeza, esta, ha quedado enteramente inútil, y con mucho riesgo de caer las porciones a la muralla cuarteada, y desplomadas sobre los pasajeros, precisa su pronta demolición por esta causa, reparar su cuerpo de Guardia, y formar un nuevo proyecto para sustituir la batería arruinada, y para las prontas urgencias se necesitan 70 pesos (Mestre, 1787).

Mestre (1787) presents the details of the damage of military and civil buildings as wells as fortifications. His estimate of damage to the mentioned structures is about 12,550 pesos. If taken as Spanish pesos, then the damage in the year 2000 dollars is about \$125,500. This damage estimate does not include the many houses in San Juan and other structures throughout the island damaged by the earthquake.

que con los temblores de tierra ocurridos en el dos antecedente, se ha puesto en mayor riesgo de su ruina el Almacén antiguo sobre el Baluarte de la Concepción, que por medio de continuados reparos la suplía en parte, costeano el Rey con alquileres (Mestre and Dabian, 1787).

Comprende el expediente obrado el año de 1787 sobre el reconocimiento del hecho de la santa iglesia catedral que se temió amenazan próxima ruina con motivo de los temblores de aquel año. Auto. En la ciudad de Puerto Rico a seis de junio de mil setecientos ochenta y siete años el señor don Juan Lorenzo Matos... dijo: Domingo Alvares... Mateo Jordan, Juan Antonio, Chirino, y otros a presencia del presbitero don Joaquin Urquisu, y don Juan Roldan Forsunado sacristanes primero y segundo de la expresada Iglesia... Todos los que denunciaron a este tribunal haberse descubierto de nuevo en aquel acto, varias grietas, y pelos en la bobeda de la capilla mayor, y paredes principales a más de las averturas causadas en todos sus arcos por los temblores del día dos de mayo último, que se reconocieron de orden del señor vice patrono real en

virtud de participación hecha por su señoría, reconociéndose así mismo en los techos de madera algún aumento del mal estado en que se hallaban, antes de otros temblores, y el que repitió el diez y ocho del mismo, especialmente los tramos de sobre el coro, y trascoro, que ya anteriormente, como lo demás del referido techo, había sido necesario repararlos, mediante reconocimientos hechos de orden de dicho señor vicepatrono, a fin de evitar la ruina que amenazaban entonces, con evidente peligro del clero, y pueblo, pero principalmente de los señores prevendados, cuyo destino los mantiene la mayor parte del día oficiando en su coro y altar y debiendo recelarse más inminente en el día por la fuerte y violenta conmoción de dichos terremotos especialmente del primero... (Matos, 1787).

Matos (1787) reports on June 6th, 1787 that persons, including sacristans, came before him (archdeacon) to declare that they have once again observed further damage to the cathedral in San Juan. They report observing damage to the walls, as well as the roof. He states that the cathedral was first damaged by the earthquake of May 2nd, 1787, that there were other earthquakes after the first, and mentions in particular another shock on May 18th, 1787. He begins an investigation to determine the extent of damage to the church, and any danger that it might represent for the safety of those attending or working at the church. Various persons are brought to declare before the tribunal.

Their details of the damage to the church include:

Declaración. En la bóveda de la capilla mar tres pelos, uno en el luneto del centro, y sube perpendicular desde dos varas arriba de la corniza hasta la clave de su arco apuntado, y sigue de allí culebreando hasta el florón: otro en el luneto del costado del norte, el cual sube también perpendicular desde cuatro varas debajo de la cornisa hasta su serramto y del mismo modo sigue culebreando hasta el florón, y traspasa a la parte exterior, y el tercero de norte a sur arrimado al arco toral en cuyos arranques tiene dos pelos perpendiculares en su ángulo, que bajan hasta las tribunas. En la parte del norte colateral de la capilla del Sagrario, se ven tres pelos que corren horizontales por sobre el arco de la puerta de dicha capilla en los que comprende su longitud hasta llegar a la esquina del mantillo, estando igualmente rajado dicho arco por su clave, y pasa a la pechina rematando en la corniza. Y en la otra parte del sur, que la acompaña, se encuentran los mismos pelos horizontales sobre el arco de la capilla de San Antonio.

En la primera danza de arcos, luego que se baja del presbiterio, donde está el pulpito, hay dos rajaduras perpendiculares en el mantillo de la parte norte, y en el del sur tiene otra raja desde el techo hasta el mismo arranque del arco. En la clave de el del medio, hay otra abertura perpendicular que llega hasta la madera partiendo el obalo. En el arco de la capilla de Dolores hay otra rajadura en su clave, y en la de San Pedro otra horizontal por encima de la rosca.

En la segunda danza de arcos se hallan todos tres rajados; el colateral del sur por sus tercios hasta la madera; el del norte, y el del medio por sus claves perpendiculares hasta su maciso.

En la tercera danza están igualmente rajados todos; por el del lado sur por su tercio hasta arriba, y por su arranque, hasta el maciso; el del medio rajado perpendicular como dos varas por la clave, y el de la parte del norte rajado también, por la clave y por encima del arco demuestra otra abertura horizontal.

En la cuarta danza se hallan rajados el del medio por su clave hasta la madera, y el colateral del sur por su tercio, y en el arranque dos aberturas hasta el techo. En la pared del frontis se hallan tres aberturas una en cada ángulo, y otra en el medio que parte el arco de la puerta mayor, y suben todas hasta el techo. Por lo tocante a dicho techo dijeron: Que reconocido el primer tramo del almisatege cae sobre la referida puerta principal se halla su cumbrera partida por tres partes, sostenida únicamente sobre dos tornapuntas con una cuarta de simbra, y una castañuela, a distancia de media vara. Por la parte del sur cinco alfaldas podridas, 3^a 9^a 10^a 11^a y 17^a, y corridas las 10^a 12^a y 13^a, y está desunida de su copete, y sostenida con una cuna. Por la parte del norte hay otras cuatro podridas, la 3^a 9^a 11^a y 17^a, la primera también desprendida de su copete pulgada y media, y la segunda una pulgada, y las piernas de las alfaldas de este tramo tienen una cuanta de simbra por los nudillos de los que hay algunos desnudos. La tijena que sostiene la cumbrera de dicho tramo, está podrida enteramente y es la que cae sobre la silla del señor Obispo, y demás de los señores prevendados. La madre que sostiene los nudillos del mismo tramo se halla con cuatro clavos sueltos por razón de la simbra que ha hecho de más de una cuarta por lo que está expuesta a rendirse de uno a otro momento, como lo están otras que se dirán, y las tablas de su piso desprendidas ocho pulgadas. En el segundo almisate que cae sobre el coro por la parte del sur, tiene dos alfaldas podridas, la 8^a y 13^a, por la parte del norte cuatro 4^a 7^a 12^a y 14^a. con una cuarta de simbra todas ellas. La cumbrera se halla podrida en su medio, y de simbra una cuarta, y cuatro nudillos reparados con castañuelas. La madre que sostiene los nudillos, además de podrida, está partida con doce pulgadas de simbra, y ocho clavos sueltos.

En el tercer almisate por la parte del sur hay cinco alfaldas podridas 6^a 7^a 10^a 16^a y 17^a, dos corridas por su copete una pulgada, y acuñaadas, con una cuarta de simbra todas ellas, la cumbrera de este tramo podrida y rendida por el empalme, también con una cuarta de simbra y la madre que sostiene los nudillos, tiene sueltos cuatro clavos y reventada por su tercio con doce pulgadas de simbra. Por la parte del norte hay ocho alfaldas podridas, la 1^a 2^a 4^a 6^a 7^a 9^a 13^a y 17^a también simbradas una cuanta.

En el cuarto, por la parte del sur hay cinco alfaldas podridas, la 6^a 7^a 10^a 16^a y 17^a, dos corridas, y acuñaada la una, y por el norte hay podridas ocho la 1^a 2^a 4^a 6^a 7^a 9^a 13^a y 17^a y todas con cuatro pulgadas de simbra; la cumbrera podrida, y rendida por su mitad. La madre que sostiene los nudillos de su piso tiene otras cuatro pulgadas de simbra.

El quinto que es el primero bajando del presbitero, se halla de media vida según lo demuestra su maderaje. En el losano de la pared del sur se descubrió el ancho de

cuatro alfaldas, a buscar sus barvillas, y soleras que unas y otras se encontraron hechas polvo sobre que nadan los clavos sueltos, y pasados; descansando solamente las cabezas de dichas alfaldas sobre la viga corredera con que se repararon ahora tres o cuatro años, y todas llenas de muchísima polilla viva, o especie de gusanos blancos, que las van devorando continuamente. Y en consideración al estado en que resulta hallarse dicho edificio, según el por menor referido, dijeron: Que por lo que respecta a la bóveda de la capilla mayor no juzgan amenase ruina aunque repitan temblores, no siendo descomunales. Que las paredes y arcos no volviendo temblor, tampoco la amenazan, pero si repiten algo violentos es indispensable según el quebranto presente. Que de la armadura del techo las cuatro luces que suben del palpito a la puerta principal, la están amenazando, aunque no repitan temblores, por la corrupción general de maderas, el vencimiento de estas, expuestas de uno, a otro instante a partir por el medio, a más de su dislocación, y falta de hombros que las sostengan, pues las vigas correderas, que están de la parte interior de la Iglesia, aunque nuevas, como que trabaja todo el peso sobre los canecillos que las reciben no son de confianza., Matos, Diego González, Domingo Alvarez: “de repetir los temblores de tierra que se han sentido desde el día dos de mayo último,...” Juan Lorenzo Matos.

El día dos del mayo próximo pasado, determinó vuestro señor en el pavimento de la Iglesia y así se verificó; después por no verse bien se mudó al presbiterio, todos le acompañamos; de este a San Pedro, sin que alguno repugnase, de aquí otra vez al coro, de este a la capilla de Dolores, y como quiera que don Bartolomé, Famy, don Juan Puerta, y don Juan Santaella maestros mayores de arquitectura y carpintería hallan testificado no amenazar ruina el techo ni paredes de la Iglesia, entendido en los deseos vivos de vuestro señor en que el pueblo concurriera en la presente estación a rendir cultos al señor sacramentado según la amonestación hecha por el presbítero don Antonio Sánchez estando cierto faltaban a esto por el peligro que nosotros mismos indicábamos con nuestro recogimiento a la capilla, tuve por bien como presidente hacer lo que vuestro señor ha hecho como tal. ...trece de junio de mil setecientos ochenta y siete años. José Rivera y Quiñones, señor arcediano provisor y vicario general y comisario de cruzada don Juan Lorenzo de Matos (Matos, 1787).

Los maestros mayores de reales obras; con el de carpintería irán hoy por la mañana a reconocer la Iglesia catedral particularmente en sus techos, y con especialidad la crujida que cae sobre el coro, que según noticia les ha causado mucho daño, el segundo temblor de tierra acaecido la noche del diez y ocho del pasado, de cuyo reconocimiento me informarán a continuación. Puerto Rico nueve de junio de mil setecientos ochenta y siete, Masdeu.

En cumplimiento de la anterior orden; decimos nosotros los arquitectos y maestros mayores don Bartolomé Tamy, y don Juan de Santaella acompañado del maestro mayor de carpintería José González, que hemos pasado al reconocimiento de la Iglesia catedral, y habiéndola examinado con toda proligidad decimos: Que conforme tene-

mos informado verbalmente en el que practicamos el día tres de mayo pasado al señor teniente coronel y comandante de ingenieros don Juan Francisco Mestre, no encontramos en el presente reconocimiento novedad alguna que amenase una pronta ruina (como algunos quieren decir) y que esta no es tan próxima como la suponen, según uso de arte; y para evitar en lo sucesivo algún daño, y asegurar en un todo el primer techo de madera, se deberán colocar de un arco a otro dos vigas para sostener los balcones a causa de que las maderas de sus techos se hayan bastante destruidas, con cuyo auxilio podrán aguantar algún tiempo más. Y por lo que toca a mampostería, arcos, y bóvedas se han encontrado algunas aberturas de poca consideración. Bartolomé Tamy, Juan de Santaella, José González, don Juan Francisco Mestre.

Auto... que en el día no hay inconveniente para que sea en el coro principal por la seguridad que declaran los maestros mayores de reales obras de fortificación, que al mismo tiempo exponen ser necesario hacer varios reparos por hallarse bastante destruido el techo de dicha santa Iglesia y en lo que dan a entender la poca firmeza que se tiene, especialmente después de los terremotos,... Consulta. Señor provisor y vicario general, el asesor de este tribunal en vista del estado del expediente formado sobre que se resasen los divinos oficios en la capilla de Nuestra Señora de Dolores, cita en la Iglesia catedral a donde por disposición de vuestro señor con venepiacito del muy vice cavildo se había trasladado el coro por amenasar ruina el techo que cae sobre el principal, dice: Que requería se procediese al cumplimiento de las providencias tomadas en el asunto.

The Bishop was traveling throughout the island after the earthquake struck. Some of his letters to San Juan bear evidence of what he observed and were included in Matos (1787). Below are the important parts of those letters. The first is a letter written from San Germán. There he notes that he arrived on May 10, said Mass and that that evening there was a tremendous storm and that lightning struck the altar of the church. He also notes the church in Ponce was damaged by the earthquake May 2, there was no damage to the church in Coamo, the churches in Cayey and Añasco were damaged and Arecibo is also damaged.

Cartas confidenciales 1ª ... Llegué aquí el día diez y en el de la fecha abrí la visita con misa pontifical y sermón, y el once en la noche hubo un diluvio de agua y truenos arrojando uno un rayo en la capilla de Monserrate sobre el altar que ha hecho daño aunque no sé todavía cual, de Coamo ya se sabía que no había sentido daño la Iglesia, el mismo maestro ajustó la de Ponce, toda de bóveda y aunque hubo muchas dificultades en los vecinos, por fin se vencieron, que en Cayey se sintiese algo es regular por que estaba muy reciente su media naranja muy buena con sus dos sacristías y se completará el resto de la obra, la de Añasco se ha cobijado con Yaguas, la de Arecibo esta inútil, ella lo estaba, se acopia piedra y materiales, y he dado la orden de lo que se debe hacer hasta mi llegada, y siempre era necesario se fabricase. Iglesia decente, y suficiente aún cuando no hubiese sucedido este atraso; de los demás lugares no tengo noticia en esta fecha, ya la tendrá vuestro señor y yo la tocaré con el mayor sentimiento por no poder remediarlo concediéndome Dios nuestro señor la vida que desea a

vuestro señor por muchos años su altísimo y seguro señor y capellán, Felipe José obispo de Puerto Rico, Villa de San Germán. y mayo trece de mil setecientos ochenta y siete.

This letter relates that from all parts of the island he has received nothing but bad news about what happened May 2.

Cartas confidenciales. 2^a Señor don Juan Lorenzo de Matos arcedianos y provisor, Muy señor mío. De todas partes de la isla no recibo otra cosa más que las muchas lastimas sucedidas el dos de mayo que se me hacen más sensibles por no poder suvenir a su remedio, nuestro señor que por su infinita piedad nos conservó la vida, proveerá. La de vuestro señor de dos del corriente no me ha sido menos lastimosa y haberme hallado más inmediato, aunque mi presencia poco podía servir, hubiera pasado a acompañar a mi cavildo y pueblo y a implorar la divina clemencia alegrandome de la acción de gracias que ese ilustre ayuntamiento hizo el día veinte y siete; vuestro señor se las dará a los señores alcaldes en mi nombre para que lo hagan al ayuntamiento en sus acuerdos y que solo resta que en memoria de tan singularísimo beneficio se vote una fiesta solemne estando manifiesto el singularísimo para todos los años el día dos de mayo por ambos cavildos en la catedral. Esta suplica se servirá vuestro señor hacer de mi parte a los señores alcaldes para que lo propongan en el ayuntamiento, y espero de su celo y cristiandad que concurrirán gustosos con su cabeza a tan santo fin que no escribo, así por mis ocupaciones como por no molestarles con la contestación, y la voz viva de vuestro señor en la mía que debe apreciarse más que el papel. sin embargo del reconocimiento hecho por los ingenieros tan superficial, avocandose vuestro señor con el señor gobernador no podrán permanecer en su primer dictamen, ni fáltaran a lo que es tan justo y debido de hacer ver el evidente riesgo que amenaza por lo que sí en la capilla de los Dolores se halla el coro sin probabilidad de seguridad le podrá mudar fuera, por fin vuestro señor está a la vista y con consulta determinará lo que sea más conforme porque tampoco se puede exponer al pueblo a que desplomado el techo de la Iglesia quede sepultado o la mayor parte entre sus ruinas; mucho y mucho siento esta calamidad, y de no poder hallarme presente por si acaso oyendo los dictámenes de todos, nos combiniésemos en algún medio para que a lo menos provicionalmente se reparase el daño y pudiese sin temor entrar el pueblo a los oficios divinos, y solo me queda el consuelo de que vuestro señor no omitirá diligencia alguna para que tenga efecto, Dios nuestro señor me conceda este favor que tanto anhelo y me aflige (ya sabe vuestro señor como están las monjas) y de que los muchos años que desea su afecto seguro servidor y capellán, Felipe José obispo de Puerto Rico, Villa de San Germán y junio diez de mil setecientos ochenta y siete.

En este cabildo se comisionó al señor regidor don Miguel Xiorro para que contestase el oficio que con fecha de 24 de Mayo próximo pasado recibió del muy venerable señor déan y cabildo sobre que se sirviese coadyudar a la función de iglesia que se intenta re establecer el día de Mayo en memoria y agradecimiento del singu-

lar favor que Dios Nuestro Señor fue servido de no sumergirnos en la nada como lo tenemos merecido por nuestras culpas, con los temblores de tierra acaecidos... (Anon., 1787b).

That is that the local government and the Catholic Church shall work together to establish May 2 as a day of thanks for the fact that God did not destroy everything that day with the earthquake.

La yglesia parroquial [of Arecibo] principiada a levantar con motivo de haverce arruinado la que havia el año pasado de 1787, por el terremoto que sufrió la isla el dos de Mayo. Las paredes colaterales al peso de bobeda, los arcos del centro cerrados, y detenida la obra o paralizada sin saberse la causa (Correa, 1817).

Church in Arecibo was ruined in the earthquake that affected the island on May 2, 1787.

Dean Doctor Juan Lorenzo de Matos habiendo dispuesto que se trasladase el coro a la capilla de Dolores (de Catedral in San Juan) por el sobresalto de que cayese el techo de la Iglesia a motivo de los frecuentes terremotos del año de ochenta y siete u ocho (Anon., 1801).

Cordova (1968) reports “El 2 de mayo [1787] se sintió un fuerte temblor de tierra en toda la isla; padecieron mucho las fortificaciones, Catedral y casas de la Capital. La iglesia de Arecibo quedo arruinada, y las de Mayagüez, Caguas y Toa Alta hendidas las paredes”.

The data provided above confirms all of the indications of damage noted by Campbell. He reported:

Made unusable the churches at Arecibo, Caguas, Toa Alta and Mayagüez (Neumann, 1913). Destroyed the church of San Felipe at Arecibo and the chapels at Rosario and Concepcion. Also did great damage to temples at Mayagüez, Caguas and Toa Alta where large cracks occurred. In San Juan, great damage was done to the forts of Morro and San Cristobal as well as to the docks and the cathedral (Coll y Toste). An earthquake damaged the church at Arecibo and the chapels at Rosario and Concepcion (Limon, 1938). Strong earthquake throughout the Island which ruined various buildings (Gonzalez, 1903). A high intensity earthquake occurred in Puerto Rico that caused considerable damage at the El Morro and San Cristobal military fortifications. It also destroyed the San Felipe church at Arecibo and the grottos and chapels at Rosario and Concepcion. Churches at Mayagüez, (El Mundo) Caguas and Toa Alta were made unusable. Strong earthquake felt throughout entire island. Damaged and ruined many buildings (Asenjo, 1883).

Neumann (1913) adds

Por documentación procedente del Gobierno General de la isla hemos enterado que en la última quincena de Abril y en la primera de Mayo de 1787, se experimentaron intensos y prolongados temblores de tierra, sensibles en toda la isla, tanto que el dos de Mayo, uno de ellos, inutilizó la iglesia parroquial de Arecibo y en Caguas, Toa Alta y Mayaguez hendió las paredes de sus respectivos templos. He adds that En esta capital sufrieron muchos desperfectos la Catedral, las fortificaciones y otros edificios públicos y particulares. Mucha fué la gente que abandonó este cerco de piedra y corrió des-pavorida a los campos en busca de refugio y tranquilidad.

Commentary: Mestre (1787), Dabian (1787), Mestre and Dabian (1787) and Matos (1787) make is clear that the earthquake was felt equally strongly throughout the island. They note significant damage to fortifications in San Juan as well as the majority of its houses. They also note that the church in Arecibo needs to be rebuilt and those of Mayagüez, Bayamón and Toa-Alta, Cayey and Añasco, and Ponce need repairs. Damage was also done to fortifications, and bridges in San Juan. Catholic Church and local government declare May 2nd as day of memory and thanks to God for his favor of not submerging them into nothing with the earthquakes that have occurred. Dabian (1787) notes that on May 25th earthquakes are still occurring. A major aftershock caused more damage on May 18 (Matos, 1787).

Documents associated with Correa (1817) refer to repairs on the churches of Vega Baja, Utuado, Yabucoa, Ponce, Mayagüez, Guayama, S. Lorenzo, Hato Grande, Juana Díaz, Loysa, the Cathedral, Aguada, Guaynabo, Humacao Yabucoa, Cayes, and Sabana Grande without indicating the cause of the damage.

We should also note that the local government, located in San Juan usually met Monday of each week. Their records on May 7th, 1787 don't mention the earthquake that occurred the Wednesday before, but discuss few issues and rapidly adjourn. Interestingly enough they do not have regular meetings for three weeks straight, and when they try to meet on June 4th there is no quorum, so no meeting is held. At the next meeting June 11th, 1787 they receive the report of the procurator general about the damage caused by the earthquake.

When data from other recording blunders (the 1717 event and that of May 10, 1787) are added to the data presented here, it is clear that this event caused widespread strong shaking, damage, and numerous felt aftershocks, at least one of them damaging. Given the extent of the region reporting damage (the island is 150 km long) it is clear that event has a shallow and long source area to the north, probably parallel to the island. Data are consistent with a great earthquake rupturing the plate interface north of the island. Of all the events reported in this catalog, this event is the strongest, most widely damaging. Tio (1956) refers to this event at the great earthquake, we agree.

1787, May 10th

Location: San Juan, Ponce Puerto Rico

Data: “Mayo 10th 1787 Otra terrible sacudida agrietó el día diez de Mayo de igual año, la Iglesia de la Guadalupe de Ponce cayendo un rayo dentro de su recinto en los momentos del temblor, que mató al sacristán” (Neumann, 1913). The claim here is that another terrible shock on the 10th of May of the same year cracked the Guadalupe church of Ponce and lightning bolt struck its interior in the moment of the earthquake, killing the sacristan.

Commentary: Neumann (1913) is the only source of information for this earthquake. It is not noted in any of the records for the principal earthquake on May 2nd, 1787 and is not noted in any of the correspondence of the Catholic Bishop who was in San Germán on that day. In fact, a communication by the bishop relates a strikingly similar event in San Germán, one so similar that one must doubt the veracity of the report by Neumann (1913). The bishop wrote “...Llegué aquí el día diez y en el de la fecha abrí la visita con misa pontifical y sermón, y el once en la noche hubo un diluvio de agua y truenos arrojando uno un rayo en la capilla de Monserrate sobre el altar que ha hecho daño aunque no sé todavía cual...” (Matos, 1787). He states that he arrived (in San Germán) on May 10th, 1787, opened his visit with a pontifical mass and sermon, and that at 11pm there was a deluge of water and thunder and a lightning bolt struck Monserrate chapel hitting the altar, damaging it. In that same letter he relates the damage caused to the church in Ponce by the May 2 earthquake. We leave it to the reader to judge the probability that on a single day the altars in two churches in Puerto Rico would be hit by lightning. We consider this event to be non-existent, and it should be noted as such in any further catalogs. Effects should be referred to event of May 2, 1787.

1787, October 23rd 0400

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (III) 04.00 h. Three feeble shocks. Mallet (1854). Reid and Taber (1919) cite Perrey (1845) with the same information

Commentary: Light shocks.

1793, August

Location: St. Thomas

Data: We have [*sic*] much rain, thunder and lightning and several shocks of an earthquake (Mission, 1838)

Commentary: Earthquake during this month.

1813**Location:** St. Thomas**Data:** This year... we had much thunder and lightning, besides eight earthquakes (Mission 1838)**Commentary:** Several earthquakes this year.**1818, May 16th 0200-0300, 0930****Location:** Saint Thomas**Data:** A severe shock of an earthquake was felt in this island on Saturday morning between 2 and 3 o'clock and another at half past 9 of the same morning (Anon, 1818). A severe shock followed by another at 0930 (Reid and Taber, 1919), citing Mallet (1854)). Listed as an Antilles shock by Perrey (1845)- St. Thomas. (Poey, 1857), St. Thomas (V). A severe shock (Robson, 1964). St. Thomas (V) 09.30 h. Another severe shock. Mallet (1852).**Commentary:** Two earthquakes.**1818, December to 1819 May 21st****Location:** Antilles**Data:** Eight earthquakes were felt in the Antilles. Mallet (1852)**Commentary:** Lesser or Greater Antilles?**1821, August 20th or 26th****Location:** St. Thomas**Data:** St. Thomas (IV) Saint Croix (IV) several shocks. Others were felt for some days before, Mallet (1852)**Commentary:** Several earthquakes.**1824, April 20th 0300****Location:** St. Thomas**Data:** St. Thomas VII-VIII. Very severe shock. Many persons thrown out of bed. A building was swallowed up. In Reid and Taber (1919) citing Anonymous (1824). St. Thomas At 03.00 h. A strong shock felt here. Von Hoff (1840). St. Thomas VIII. A terrible earthquake. People were thrown from beds and a building was swallowed up (Robson, 1964). Robson (1964) gives a date of April 20th 1821 for the same event and cites Perrey (1845) as the source. St. Thomas (VII) About 0300 A terrible earthquake. Many people were thrown out of their beds and a building was swallowed up. Mallet (1854). St. Thomas (Poey, 1857). Terrible earthquake in St. Thomas (Neumann, 1913).

Commentary: All catalogs seem to derive their information from Anon. (1824). No earthquakes were reported for the year by the 19th century statistics reports of Cordova (1968). The published diary of Mission, who lived in St. Thomas during this period (and who was interested in earthquakes), makes no mention of this event. The issues of the newspaper the Saint Thomas Tidende were read from April 21st to May 8th (1824) without finding any reference whatsoever to this event. Probable confusion between the island of St. Thomas and the parish of St. Thomas in Jamaica. See event on July 20th 1824. This is a non-existent earthquake and should be omitted from future listings.

1824, July 20th 0300

Location: St. Thomas

Data: “Terrible tremblement de terre, bruit semblable celui du tonnere: beaucoup de personnes ont ete renversees de leur lit; un batiment s’est englouti par suite de la commotion” (Perrey, 1843).

Campbell reports: St. Thomas (V) At 03.00 h. A violent shock. Perrey (1855). Shepherd and Lynch (1992) cite primary references as Perrey (1843) and Poey (1855), secondary references of Mallet (1850), Milne (1911), Robson (1964), Grases (1971), Tomblin and Robson (1977). They state that the report for this event is probably actually to an earthquake on April 10, 1824 in Jamaica affecting Kingston and St. Thomas Parish; that Mallet gives a translation of Perrey, and Robson follows Mallet; Similarity of language suggests that Perrey may have confused St. Thomas, Jamaica, with St. Thomas, Virgin Islands.

Commentary: As there are no first hand reports for this event, it should be noted as a non-existent event in future catalogs.

1825

Location: Island of Puerto Rico

Data: 15 earthquakes noted ofr the eyar by Cordova (1968)

Commentary: Some of these earthquake mauy be noted below.

1825, May 16th 0400

Location: San Juan, Puerto Rico

Data: El día 16 a las cuatro de la madrugada, se sintió un temblor de tierra (Anon., 1825a)

Commentary: Earthquake at 4:00a.m.

1825, May 24th 1545, 1900

Location: San Juan, Puerto Rico

Data: ...El 24 se repitió a las tres y tres cuartos de la tarde y a las siete de la noche [temblor de tierra]... (Anon., 1825a)

Commentary: Earthquakes at 3:45p.m. and 7:00p.m.

1825, July 26th 1400-1500

Location: San Juan, Puerto Rico

Data: El 26 del corriente, entre dos y tres de la tarde, se sintió un pequeño temblor de tierra... (Anon., 1825b)

Commentary: Small earthquake at 2:00-3:00p.m.

1826

Location: Island of Puerto Rico

Data: Cordova (1968) notes 3 earthquakes in the year

Commentary: We have no other information on these events.

1827

Location: Island of Puerto Rico

Data: Cordova (1968) notes one earthquake in the year

Commentary: We have no other information on these events.

1828

Location: Island of Puerto Rico

Data: Cordova (1968) notes 8 earthquakes in the year

Commentary: Some of these events may be reported below.

1828, July 21st

Location: Puerto Rico

Data: An earthquake was felt throughout the island (Asenjo, 1883)

Commentary: Not found in the issues of the *Gazeta de Puerto Rico* examined for this report. Must be considered as unlikely.

1828, August 30th 0020

Location: Caguas, Puerto Rico

Data: ...El día 30 a las doce y veinte minutos de la noche se sintió en este pueblo un temblor de tierra que pasó con rapidez. Se notó mucho en las casas y lo sintieron la mayor parte de los vecinos (Anon., 1828a).

Commentary: Caguas earthquake, 12:20a.m.

1828, December 5th

Location: Rincon, Puerto Rico

Data: Rincón... el 5 se sintió un temblor pequeño... (Anon., 1828b).

Commentary: Small earthquake.

1828, December 28th 1130

Location: Sabana Grande, Morovis, Adjuntas, Puerto Rico

Data: Sabana Grande... el día 28 (Diciembre 1828) a las 11 y media de la mañana, se experimentó un fuerte temblor de tierra... (Anon., 1829a). Morovis... El 28 se sintió un pequeño temblor de tierra (Anon., 1829c). Adjuntas... El día 28, entre 11 y 12 del día, se sintió un pequeño temblor (Anon., 1829d).

Commentary: Small earthquake, Central Puerto Rico, 11:30a.m.

1828, December 28th 1400-1500

Location: Yauco, Puerto Rico

Data: Yauco... El 28 entre dos y tres de la tarde, se sintió un fuerte temblor que duró poco (Anon., 1829d)

Commentary: If the hour for this event is in error, and being at 1130 not 1400-1500, then this entry probably refers to the previous event. Then the earthquake was probably located in Central Puerto Rico.

1828, December 31st 0400

Location: Rincón, Puerto Rico

Data: Rincón... El 31 (Diciembre 1828) a las cuatro de la mañana se sintió un pequeño temblor de tierra (Anon., 1829b)

Commentary: Small earthquake at Rincón.

1829**Location:** Island of Puerto Rico**Data:** Cordova (1968) notes 3 earthquakes in the year**Commentary:** Some of these events may be noted below.**1829, February 22nd 1945****Location:** Río Piedras, Caguas, Yabucea (Yabucoa), Maunabo, Puerto Rico**Data:** Río Piedras... El día (de Febrero) se experimentó por la noche un fuerte temblor... Caguas... El 22 a las siete y tres cuartos de la noche se sintió un temblor de corta duración... Gurabo... la noche de 22 hubo un fuerte temblor y cayeron algunos chubascos (Anon., 1829e). Yabucea (Yabucoa)... El 22 se sintió un fuerte temblor seguido de un trueno... Maunabo... El 22 por la noche se sintió un temblor y cayeron algunas lluvias (Anon., 1829g).**Commentary:** The month for Yabucea and Maunabo, is unclear from the context. It could be March instead of February.**1829, February 25th 1300-1400****Location:** San Germán, Puerto Rico**Data:** San Germán... El 25 entre una y dos en la tarde se experimentó un fuerte temblor... (Anon., 1829f)**1829, May 25th 0932****Location:** Juncos, Gurabo, Río Piedras, Loysa, Humacao, Luquillo, Naguabo, Puerto Rico**Data:** Juncos... El 25 entre 8 y 9 de la mañana se sintió con fuerte temblor de tierra... Gurabo... El 25 a las 9 de la mañana, se sintió un fuerte temblor de poca duración... Río Piedras... El 25 entre 8 y 9 de la mañana se sintió un fuerte temblor (Anon., 1829h). Loysa... El 25 a las 9 y media de la mañana se sintieron dos temblores... (Anon., 1829i). Humacao... Se notó un pequeño temblor y hubo un herido levemente... Luquillo... Se experimentó un fuerte temblor el día 25 entre 8 y 9 de la mañana... Naguabo... El 25 se sintió un temblor fuerte a las 9 y 32 minutos de la mañana... (Anon., 1829j).**Commentary:** Two morning earthquakes close in time to each other take place on this day, or alternatively there is confusion about the hour of one single event occurring about 0932. If so, a single small event occurred in northeastern Puerto Rico.

1829 June**Location:** St. Thomas**Data:** St. Thomas (IV). In the middle of the month. An earthquake. Mallet (1854)**Commentary:** Event in the middle of June.**1830****Location:** Aguada, Bayamón, Humacao**Data:** Cordova (1968), reporting statistics of the island, noted 4 earthquakes being felt on the island in the year. The following towns having reported earthquakes without out giving details, only number of shocks felt in the year: Aguada, 1; Bayamón, 3; and Humacao, 2.**Commentary:** There is a conflict between the number reported in his summary table (4) and the number reported by town. Possibly one event was felt in two towns. Some of these events may be reported below.**1830, April 18th 2145 or 2230****Location:** Naguabo, Humacao, Loisa, Puerto Rico**Data:** Naguabo... El ocho se sintió un temblor a las 9 y 45 minutos de la noche (Anon., 1830a). Humacao... El 8, se sintió un temblor á las diez y media de la noche (Anon., 1830b). Loisa... el 8 a las diez y media de la noche se sintió un fuerte temblor de tierra (Anon., 1830c).**Commentary:** Two events on the same night, one at 9:45p.m. and the other at 10:30p.m., or again confusion about time and only one event occurred.**1830, June 24th****Location:** Aguadilla, Aguada, Pepino, Puerto Rico**Data:** Aguadilla. En el mes de Junio... el 24 se sintió un fuerte temblor que duró de 4 á 6 segundos (Anon., 1830d). Aguada.... El 24 se sintió un temblor que duró como 27 segundos (Anon., 1830e). Pepino.... El 24 se sintió un regular temblor (Anon., 1830f).**Commentary:** Strong event near northwestern Puerto Rico.**1830, July 28th 0000****Location:** Corozal, Puerto Rico**Data:** Corozal... A las 12 de la noche del 28 (julio) se sintió un fuerte temblor (Anon., 1830g).**Commentary:** Strong earthquake at midnight

1830, August 26th 0400**Location:** Puerto Rico**Data:** Un temblor de tierra se sintió en esta isla el jueves último por la mañana a las cuatro (Anon., 1830h)**Commentary:** 4:00a.m. shock.***1831*****Location:** Island of Puerto Rico**Data:** Cordova (1968) notes 8 earthquakes in the year**Commentary:** Some of these events may be noted below.***1831, April 23rd 1100 and 24th 1000*****Location:** Aguada, Rincón, Puerto Rico**Data:** En Aguada se sintió un temblor de corta duración... En Rincón... el 23 sintió un temblor a las once de la mañana, y otro el 24 a las diez, ambos de corta duración (Anon., 1831a).**Commentary:** Two short earthquakes.***1831, July 14th*****Location:** St. Thomas**Data:** "...We had a very severe earthquake- the severest one I had ever experienced. A couple of old chimneys fell in again, some walls cracked, and all glasses and bottles shook a great deal, but none were broken. An earthquake always makes a very deep impression upon me, much more than a severe thunderstorm" (Mission, 1838).**Commentary:** Severe earthquake, damage.***1831, September 2nd and 6th*****Location:** Pepino (San Sebastián), Puerto Rico**Data:** En el Pepino se sintió el 2, y el 6 con repetición en este día... (Anon., 1831d).**Commentary:** Two earthquakes.

1831, September 7th 0500

Location: Aguadilla, Juncos, Río Piedras, Gurabo, Naguabo, La Aguada, Moca, Rincón, Vega Alta, Naranjito, Corozal, Peñuelas, Cayey, Barranquitas, Cidra, Juana Díaz, Ponce, Puerto Rico

Data: ...El día 7 [of September] a las cinco de la mañana se sintió un temblor en Juncos, Río Piedras y Gurabo... (Anon., 1831b)... En Naguabo el 7 a las 4 de la mañana se sintió un temblor... (Anon., 1831c). El 7 se sintió un temblor a las cinco de la mañana en la Aguada, Aguadilla, Moca, Rincón, Vega Alta, Naranjito, y Corozal (Anon., 1831d). El 6 y 7 en Peñuelas, el 7 en Cayey, en Barranquitas, en la Cidra, en Juana Díaz, y el 5 y 6 en Ponce, se sintieran temblores de tierra bastante notables (Anon., 1831e). Aguadilla. Strong shock (V?) lasting 3 seconds (Reid and Taber, 1919 citing Records at the Governors Palace).

Commentary: Data from Anon. (1831e) may actually refer to the month of September, not clear in document. If all these places did indeed feel the same event, it must have been strong, but rather far away from the island or deep beneath the island as there are no reports of damage.

1832

Location: Island of Puerto Rico

Data: Cordova (1968) notes 4 earthquakes in the year

Commentary: Some of these events may be noted below.

1832, October 19th 0000 and 20th 1430

Location: Hato Grande, Mayagüez, Añasco, Cabo Rojo, Ciales, Quebradillas, Puerto Rico

Data: “...En Hato Grande... se sintió en [Octubre] un temblor a las doce de la mañana. En Mayagüez se sintió un temblor el 20 a las dos y media de la tarde. En Añasco sucedió... el 20 a las dos de la tarde sintió un temblor. En Cabo Rojo se sintió un temblor el 20 a las tres de la tarde...” (Anon., 1832a). “En Ciales se sintió un temblor el 20 a las dos de la tarde [Octubre]. En Quebradillas se notó igualmente el mismo día” (Anon., 1830c).

Commentary: Event in the western part of the island.

1832, November 24th 2000

Location: Añasco, Puerto Rico

Data: “En Añasco se sintió un temblor el 24 [de Noviembre] a las 8 de la noche” (Anon., 1832b)

1833 May 12th

Location: Caguas, Corozal, Puerto Rico

Data: ...En Caguas se sintió un temblor el día 12... (Anon., 1833a). En el Corozal arreció un temblor (Anon., 1833b)

1833, May 19th

Location: Añasco, Puerto Rico

Data: ...En Añasco se sintió un temblor el 19 al amanecer... (Anon., 1833c)

1833, Julio 28th 2100

Location: Añasco, Puerto Rico

Data: ...“En Añasco... el 28 se sintió un temblor a las nueve de la noche” (Anon., 1833e)

1833 July

Location: Caguas, Puerto Rico

Data: “En Caguas se sintió un temblor” (Anon., 1833d)

1833, September 12th

Location: Caguas, and Moca, Puerto Rico

Data: “...En Moca se sintió el día 12 un fuerte temblor” (Anon., 1833e). “En Caguas se sintió un temblor” (Anon., 1833f and g)

Commentary: Strong earthquake.

1834, April

Location: Naranjito, Moca, Añasco, Puerto Rico

Data: “En Naranjito y Moca se sintió un temblor de tierra” (Anon., 1834a). “En Añasco... se sintió un temblor de tierra” (Anon., 1834b).

1837 August 2nd and 3rd

Location: Saint Thomas, San Juan, Puerto Rico, and St. Bartholomew

Data: Boscowitz (1890) reports:

In 1837, it (the island of Saint Thomas) was visited upon the same day by the double scourge of an earthquake and a hurricane. It was upon the 2nd of August, and although half a century has elapsed, I can remember the incidents of the drama as well as if it had only happened yesterday. The wind, which had been blowing a gale since noon, suddenly dropped about three o'clock, and there was a complete calm over the water, the air, and the earth. During this period of warning and terror-inspiring calm, my father and eldest brother galloped home in hot haste, and had the doors and windows of the house propped up with planks and rope. The house was a large one, and was built of wood upon groundwork of masonry, which was itself founded upon the rock. It would be difficult to imagine anything at once more supple and yet solid. Situated at a height of about 380 feet up on the slope of a hill, the house commanded a very wide view, at our feet being the town, while further on were the quays with their warehouses, and the port which, at the time I speak of, was crowded with shipping.

The doors and windows were scarcely closed, when a most terrible noise was heard. It was the hurricane which was coming upon us. It arrived in fury, howling and rolling black clouds before it, raising up the flood, and covering island and sea with black darkness. When the first shock struck the house, the latter shook and bent, but was not carried away. For six hours the hurricane raged with ever-increasing violence. Debris of all kinds were turned about in the air, tiles and slates were rained upon our roof, and driven into the beams and rafters; trees, torn up by the hurricane and carried along branches and all, scudded by the walls or fell violently upon the terrace; lightning lit up the sky, and the rolling of thunder mingled with the roar of the tempest. At about ten in the evening the gusts of wind became less frequent, the thunder ceased, and the end of the storm seemed at hand, when a sudden underground noise was heard. All round the house, and along the bed of rock which it stood, there was a crackling, splitting sound, immediately followed by severe shocks. A confused noise of voices and lugubrious groans were heard from outside. My father threw open a window. The whole island seemed to be in a tremble. At this moment a fresh agitated it still deeply, and then a bright flame shot up to the sky. It emerged from the ruins of a house which had just fallen in, and in a moment the whole town was on fire. I still to have in my ears the cry of anguish wrung from my father; I seem still to see the despair and terror of my mother, as she rushed to the door, dragging me with her. The inflammable matter, driven by the wind, which was again blowing a hurricane, lodged upon the roof, part of which had been carried away. It behoved us to fly, and to traverse storm of fire. We had scarcely the house when the high wall which encircled the property fell in. The burning cinders and the bitter foam of the ocean, which the hurricane of wind drove before it, flew in our faces, and constant shocks'caused the ground

undulate and give way beneath our feet. But we kept on our way without halting, the fire lighted at our feet serving to guide our footsteps. We scaled a mountain, the summit' of which was crowned with very solid building where found a secure refuge, and 'my father had seen us into a safe place, he went down 'into the town, whither his duties called him.

When day broke, the glorious and radiant sunshine of the West Indies lighted up, with its brilliant rays, the darksome work of the previous night. The whole country round was strewn with large trees, uprooted or snapped off, and all plantations w'ere destroyed. In the town the fire was dying out, and it was only here and there the ruins were still smoking. The hurricane had swept away nearly all the wooden houses, those which had been lightly placed upon beams just above the soil being carried off as they stood, while the larger ones which had resisted the hurricane were overturned in an instant by the earthquake. The whole town, in fact, was filled with which told of the violence of the catastrophe. The port, so gay and animated the day before, was dreary and deserted, a few masts here and there emerging from the water; while all along the shore, and even upon the slope of the hills were scattered wreckage and corpses of sailors. When in the morning my father took 'us our ruined home, he overcome with fatigue. The double catastrophe had annihilated his fortune, but he was self-possessed, while his countenance betokened an inward serenity, due, no doubt, to the knowledge that he had been prodigal of consolation to some and of succour to others, who, but for him, would have been crushed beneath the ruins.

Campbell reports: St. Thomas. (Poey, 1857).

There were three earthquakes on these dates in Puerto Rico. They followed or were accompanied by a strong hurricane (Arana, 1968). Tomblin and Robson (1977) report: August 2nd Puerto Rico, San Juan (VIII). Reports are current of great damage to the city and loss of life at St. John's, Puerto Rico. Barbadian 1837.8.30 quoting the St. Croix Gazette 1837.8.14. St. Bartholomew (IV). Shock of earthquake. Barbadian 1837.8.31 quoting the St. Croix Gazette 1837.8.14. St Thomas badly shaken 1837.8.2 (Milne, 1911) .

Commentary: The August 2nd and 3rd dates of Poey (1857) and Arana (1968) appear to be an error. There was a great Hurricane on this date but no obvious earthquake (see Mission, 1838). Boscowitz is the only eyewitness report found. It is doubtful that his observation report an earthquake. Events should be noted as non-existent events in further catalogs.

1837, September 5th 2330

Location: St. Thomas

Data: "We had a severe earthquake at half past eleven o'clock on the night of the 5th of September [1837]" (Mission, 1838)

Commentary: Severe earthquake.

1842 May 7th 1700

Location: Jamaica; Turk's Island; Samaná and Puerto Plata, on the East, Port Paix, Gonaives, Nichola Mole, Port Au Prince, Cape Hayti, Santo Domingo, Vega, Santiago, St. Louis, Miragoave, St. Michel, Acquin, Les Layes, Jeremie, Port Magot, Borgne, Ouanaminthe, Fort Liberte, St. Mark Plaisance, Anse a Veau, El Mole, Santiago de los Caballeros, Puerto Plata, Saint Marc, San Carlos, Monte Plata, Boyi, Bani, Azua, Bayaguana, Seyba, Higüey, San Cristobal, Moca, Cotui, Macoris, Monte Cristi, Hispanola, Añasco, ? San Juan Puerto Rico.

Data: "...One information has been derived from several passengers on board the Tweed, who state that about 5 P.M. on Saturday the 6th inst., when off Cape Nichola[s] Mole, about 16 miles, the vessel received a shock as it had run aground,... Their apprehension however, proving to be incorrect, the vessel afterwards pursued its course... There were there [Cape Francos] met by the British Consul, Mr. Thomson, in an open boat who informed them that on the Saturday preceding, the town of Cape Haytien had been visited by an Earthquake, and was now a mass of ruins" (Anon., 1842a).

In the early part of last month, shocks of earthquake were felt simultaneously on different parts of the island; and on Sabbath the 8th ult, Cape Town, with two thirds of its population, sunk into the earth. The lives lost in that and the other towns of St. Domingo, are not fewer than twenty thousands (Anon., 1842b).

The Falmouth Post reports that the earthquake which was felt in this town on Saturday evening last [by Jamaican count this would be May 7th], was also felt at Falmouth. There were three distinct shocks, it adds, which appeared to vibrate from N.W. to S. (Anon., 1842c).

We have been kindly favoured with the following information connected with the trip of the Steamer Tweed... and the earthquake at Cape Hayti, Turk's Island, St. Jago, etc...

The Tweed sailed from this place on the 6th inst. At 5.15 p.m. of the 7th, the shite cliff to the southward of Cape Nichol (Mole), then learning east about fifteen miles, she received a series of shocks as if passing over a coral reef...Two boasts lowered with officers to take soundings, but there was no bottom in 85 fathoms, or any appearance of a shoal to be found. On the arrival of the Tweed at Turk's Island on the following evening, it was ascertained that a smart shock of an earthquake had been felt on the previous evening at five o'clock but no damage had been sustained.

On the arrival of the Tweed at Cape Hayti on Saturday morning, the 14th instant, that place was found to have been totally destroyed by an earthquake and the towns of Samana and Puerto Plata, on the East, Port Paix, Gonaives, Nichola Mole, Port Au Prince and many others, have been equally sufferers.

At Saint Jago, where the Tweed arrived on Sunday morning, the shock was felt more severely than any previous one for the last eighteen years [since 1824?]. Almost all the walls of the houses are cracked... (Anon., 1842d).

Letter dated Santo Domingo 14th ...

great calamity which we have experienced in this city, at 5 thirty o'clock, on Saturday afternoon, 17th instant... earthmoving from North to West with tremendous concussions... lasted nearly three minutes, we had four shocks at intervals of so many seconds... Since the 7th, to date, we have felt upwards of fifteen shocks. The oldest inhabitants do not recollect such a calamity. The Cathedral... has suffered very much, and also the church of La Merced... The river Ozama raised about eight feet above the level of the ordinary flux and reflux... Near the borders of the river, apertures are perceptible from two, three and four inches wide, occasioned by the shocks.

The news arrived from the Vega and Santiago this morning. The mortality in those places are estimated to two thousand buried under the ruins. We are further informed that Puerto Plata has likewise suffered, however nothing certain is known of it (Anon., 1842e).

From Jamaica Morning Journal, Monday 6th June 1842: Cape Hayti- repeated upheavals of the earth had reduced the whole to a mass of rubbish. Saint Yague... laid in ruins. All its edifices... had fallen. Porte-Plate [Puerto Plata]... Some houses of wood near the town alone remained standing. At Porte-Plate two houses had been thrown down, and many damaged. It appears that all the south- Miragoave, St. Michel, Acquin, Les Layes, and Jeremie, have very slightly felt the shock... St. Louis... in the north, there has been much damage done, as also at Montecristi... Port de Paix... sea leaving empty 'Le Canal de la Torture'. The same sea returning in a short time... to cast itself with force... upon the town..

Gonaives... all the public edifices are overthrown - thirty-eight houses particularly have been, some crushed, others more or less damaged... In the space of 48 hours 42 shocks were counted... The villages of Port-Magot, Borgne, Ouanaminthe and the town of Fort Liberte- experienced somewhat approaching a coup-de-grace... St. Mark., as at Plaisance, many small houses have fallen...

Anse a Veau. 7th May, at half past 5... terrible commotion is felt, which lasts four minutes and some seconds. The oscillation from north to south... many buses have been greatly damaged... suddenly the sea... burst with fury against the steep rocks which bind the coast... many gigantic waves... On the following night we continued to feel many shocks... This morning at 5 o'clock another shock sufficiently violent but of short duration (Anon., 1842f).

San Antonio Abad de Añasco, 25 Septiembre de 1843... hecho la recomposición de esta Santa Iglesia parroquial por el destrozo que sufrió con el espantoso terremoto de 7 de Mayo del año (Rosales, 1843).

Nosotros los maestros albañiles... que necesita esta santa Iglesia Parroquial [Añasco] para reparar los deterioros que ha sufrido por efecto del espantoso terremoto que se experimentó el 7 de Mayo último con frecuentes repeticiones... el tejado ha sido removido y destrozado por los efectos de dichos terremotos (Rodríguez, 1842).

El gran terremoto del 7 de Mayo de 1842. De las ciudades del Cabo, Port-de Paix, el Mole, Fort-Liberté y Santiago de los Caballeros no quedó piedra sobre piedra. los pocos edificios de mampostería de la Vega, y los de Gonaives vinieron al suelo. En Puerto Príncipe, Puerto Plata y Saint Marc hubo algunos derrumbamientos de casas. En Santo Domingo muchos edificios se agrietaron de tal manera que amenazaban desplomarse.

De las iglesias de San Carlos, Monte Plata, Boyá, Baní, Azua, Bayaguana, Seybo, Higüey, San Cristóbal, Moca, Cotuí, y Macoris, unas se derribaron y las más quedaron en estado minoso. En el Santuario del Santo Cerro la iglesia y el convento quedaron destruidos.

En Port-de Pais el mar se retiró a gran distancia de la orilla y volviendo luego con terrible oleaje entró a la población, sus aguas subieron a más de 15 piés de altura y envolvieron en sombras de muerte a los que huyendo de la calda de los edificios se habían refugiado a la playa.

En Monte Cristi y Fort-Liberté las aguas del mar se unieron a los ríos Yaque y Masacre, devastando las comarcas circunvecinas, y con tal violencia inundaron la tierra, que el Cabo Manzanillo ó Punta Jicaro quedó sumergido en las profundidades del océano.

Desde el lugar llamado "Paso de los Borbones" a orillas del Río Yagüe en Santiago, hasta el Río Gurabito, distante media legua más ó menos, la tierra se abrió en toda su longitud dejando una ancha y profunda zanja que atraviesa parte de la Ciudad (Noel, 1979).

1842- In the first half of the year. Puerto Rico, Ponce (IV) A shock was felt in the first half of the year that lasted 4 minutes. Mallet (1854).

Earthquake at Ponce, PR- We are indebted to Capt. York, of the schr. Independence from Ponce, for the following account of the shock felt at that place on the 7th inst. Capt. York states that he was sitting with a friend, when they suddenly felt a dizziness and excessive faintness, and upon attempting to walk found themselves acting like persons intoxicated. His companion then observed that the house rocked. They went out of doors and saw that the house rocked at least two feet. So great was the motion for the earth, that the casks of sugar and molasses on the beach rolled round making great havoc. The inhabitants were filled with the greatest terror, and all rushed into the middle of the street, and falling on their knees repeated all the prayers in the Catholic service, and crying each on his patron saint to save them from their peril upon any terms the saint required. The shock was felt at 3 pm of 7th inst, and lasted about three minutes (Anon., 1842g).

The earthquake was felt at Spanish-town, at three minutes before 5 o'clock on the evening of the 7th. The shock lasted about a minute, but did no damage (Anon., 1842h).

Earthquake- Capt. Ward of the barque Condor which arrived yesterday morning from Mayagüez, (PR) informs us that the Earthquake on the 7th of May was very severely felt there; and that up to the 30 of May when he sailed, there were from two to three shocks a day. The inhabitants were very fearful of a similar shock to that which was felt on the 7th in other places (Anon., 1842i).

Campbell (1972) reports:

Great Earthquake occurred in northwestern Hispaniola. Destructive shock in Santo Domingo [Hispaniola]. Apparently felt in Jamaica and Puerto Rico (Reid and Taber, 1919). Violent earthquake in Santo Domingo. Felt in Puerto Rico, Jamaica and other islands (Perrey). Listed as Santo Domingo, Puerto Rico and Jamaica (Poey). A terrible earthquake doing much damage and killing many people, especially in Haiti. Felt in San Juan (Iñiguez, 1975). Tomblin and Robson (1977) report: Puerto Rico, San Juan (V) Earthquake reported. No loss. Jamaica Morning Journal, 1842.5.18. St. Thomas (V) Earthquake reported. No loss. Jamaica Morning Journal, 1842.5.18.

Commentary: This is the Great earthquake of NW Hispaniola. Estimated magnitude 8.0 M_w (Shepherd and Lynch, 1992). It was clearly felt in Añasco, Mayaguez, Ponce and San Juan, Puerto Rico and St. Thomas, Virgin Islands. Damage to a church in Añasco. Aftershocks felt in Añasco.

1843, February 8th 1050

Location: St. Martin, St. Barts, Guadalupe, Martinique, Antigua, at latitude 17N03 longitude 58W45; St. Eustatius, St. Christopher [St. Kitts], Nevis, Montserrat, St. Thomas (Virgin Islands), Tortola (Virgin Islands); Mayagüez, Guayama, Naguabo (Puerto Rico); St. Lucia, Barbados, Grenada, British Guyana, Trinidad and Dominica, Charleston, South Carolina

Data: “Reference to ‘recent earthquake’ felt in Point Pitre, Guadalupe (Mason, 1843)... I was at Point Pitre at the moment of the recent earthquake... fire had burnt up what the shock spared. It was impossible to tell one house from another...” (Anon., 1843a).

It becomes my melancholy duty to inform you of the most disastrous event, which has happened, within the memory of man, and which has cast a gloom over us, that time can never dispel. A most severe shock of an earthquake was experienced on the 8th inst, which fortunately caused no loss of life here, but has completely destroyed the town of Pointe Pitre Guadalupe, one of the most commercial of all the Windward Islands and burying in ruins about one third of the inhabitants-not one stone remaining on another.

Among the victims, I regret to be obliged to announce Felix H. Juan Esqr. United States Consul, for the Island of Guadalupe, who being severely wounded, was obliged to have one of his legs amputated, but did not survive the operation (Cueny, 1843).

It becomes my painful duty to acquaint you of the most awful calamity with which this Island has ever been visited. On the 8th Inst. at 10.40 a.m. an earthquake, which lasted between two and three minutes spread ruin and devastation throughout the whole island. The churches and other public edifices, the dwellings and stores of the inhabitants and the sugar works on the plantations have been all, either wholly or partially destroyed. Sufficient time has not yet elapsed to form a correct statement of the injury the Island has sustained but, the amount conjectured is, enormous. The loss of life in this terrific visitation has fortunately been small, up to this date about ten have been reported.

A French ship of War arrived here this morning from Guadalupe and reports that the once beautiful town of Pointe a Pilie is now a heap of ruins and about three to four thousand persons supposed to have perished. The islands of St. Christopher [St. Kitts], Nevis, Montserat and Dominica have all suffered, but Guadalupe and Antigua more severely (Hesinbothom, 1843).

The Inhabitants of Roseau [Dominica] were, at seven minutes to eleven o'clock this afternoon, suddenly and justly alarmed by... earthquake which for violence the oldest of them say, has not ever been exceeded here whilst it duration was longer than they ever experienced. As far as... everyone in town can... calculate the vibration rocked from N.E. to the S.W. producing a rushing noise like a Hurricane, and afterwards the ground seemed to Ave perpendicularly, shaking the houses with a cracking noise... At the same moment the larger building clearly appears to be rolling to and fro., and columns of smoke were seen issuing from several of the mountains in sight of the town... We think the shock lasted 2.5 minutes but one gentleman assures us that by a watch he had in his hand it occupied three minutes and I half... Several stone building [s] have been cracked and some old walls and chimneys thrown down... At the military arsenal the arms racks were so shaken as to bring the muskets to the floor.

Since writing the above, we have learned with regret that the Windward Quarter of the Island has sustained material injury by the awful calamity, and that amongst other losses the sugar works and other stone buildings of the Melville Hall and Londonderry Estates have been destroyed! (Anon., 1843b).

[Details given on damages to estates of York Valley, Picard, Sugar Loaf, Londonderry, Melville Hall, Castle Bruce, Hatton Garden, Eden]... The intelligence relative to Antigua has also been confirmed. Montserrat, Nevis, St. Kitts, in fact all the islands from hence to St. Thomas have suffered more or less severely... [from the earthquake] (Anon., 1843c).

The earthquake which took place this morning was from the N.E. and the vibrations were felt without intermission for the space of nearly two minutes (Anon., 1843i).

By the homeward bound steamer which passed here in Wednesday last we received our usual files of papers from the southern colonies from which we learn that the earthquake of the 8th was felt in every one of them up to Trinidad, without injuries however to life or property...

At the moment of going to press yesterday morning, a terrible and appalling calamity fell upon this Island [Antigua]... This terrible earthquake began about a quarter of an hour before eleven o'clock, lasted a considerable time and... made St. John's... ruin and devastation, there being no house of premises of which wall work formed a part, which as not felt its effects... The Cathedral church... is a heap of ruins... the Court House is... rent and cracked in several places, as to be unsafe... The new villages built and settled by the laborers, as well as the houses on the plantations, are almost all level with the ground... The town of Falmouth is a heap of ruins; English Harbour the same; the dockyard the same- There the ground sunk in many places to a great extent... The Engineer Quarter, Commissariat and Barrack Master's the only buildings escaped damage, being of wood... During the convulsion the sea encroached considerably on the I and... deep creeks and fissures in the earth are to be seen in several places from some of which water was thrown up, and the smell of sul-

phur strong in others, as described by one Moravian Missionary who was on his way from Gracehill to his house in LebAnon., and as intolerable.

The smell was also perceived at Popeshead in a quite opposite direction of the Island (Anon., 1843d).

Yesterday was the anniversary of the dreadful earthquake with which we [Nevis] were visited in the year 1833, just ten years before; and upon that anniversary at half-past ten in the morning we had a shock that it is impossible for me faithfully to describe... Charlestown is almost in ruins, it stand, and no life has been lost... Our court house is nearly level with the ground (Anon., 1843e).

St. Thomas, 10:30a.m.

Shook violent, lasted more than three minutes, but no injury whatever done. Tortola. The same, and lasted five minutes... St. Kitts. Town much injured, several buildings destroyed. Montserat. Town much injured... fear lives lost. Martinique, Santa Lucia, Barbados, Granada. Shaken severely but no actual damage done. Guadeloupe-Pointe a Petre. The earthquake commenced with a tremendous motion... at half-past 10 o'clock AM... The earthquake lasted 45 seconds, and in 15 seconds, one-third at least of the town was destroyed. At the end of this period the shock somewhat abated, but shortly after was renewed with greater force, whereupon the whole town was buried in ruins. The ground opened in different places, and volumes of water spouted up to an extraordinary height... Such was the agitation of the earth, that the inhabitants were all thrown prostrate, and stunned by the fall... The Soufriere Mountain was in eruption and burst, melting iron chests with specie, etc... (Anon., 1843f).

This island [Barbados] felt the shock, but slightly at half past-ten. It lasted about three minutes.

N.B. At the time when the earthquake took place, the *Dee* was off the island of Porto Rico. Not the slightest indication was felt on board...

The Barbadian says: At 20 minutes before eleven o'clock this morning, sitting at our desk, we were alarmed by the shaking of the chair and instantly felt... earthquake. The vibration of the earth from south to north- lasted at least a minute and a half. The shock was so severe as to induce very many persons to turn out of their houses... That shock... brought to the recollection of us all that awful convulsion of the earth on the 11th of January, 1839, which was severely felt here, but in Martinique produced most disastrous consequences, destruction of property, and dreadful loss of human life...

And the Liberal... at 20 minutes before 11, yesterday afternoon, the inhabitants of Bridgetown, were alarmed by a very severe shaking of earthquake, which lasted about two minutes...

British Guyana, February 8th. At ten minutes past 11 o'clock,... occurred as severe an earthquake as some of the oldest inhabitants have any recollection. Every... house was in motion, and every house shook violently; some old chimneys... fell the shock, or rather the two shocks, lasted forty seconds...

The last earthquake experienced in the place, occurred on the 11th of January, 1839. It was severe, but not alarming in comparison of the convulsion of today. Yet, on that fatal morning, fell the town of St. Pierre in Martinique, killing... a thousand of its inhabitants... Our... wooden tenements - the flatness of the land, whereby no

buildings are erected on declivities .. lessen the debilitating effects of earthquakes in Guyana..., Herald.

Brig British Queen, Capt. Kennedy, from Whitehaven, 17N03 long 58W45, ship going six knots, felt a very severe shock of earthquake, which stopped her way, about 160 miles due east of the island [Antigua], on 8th past. which lasted about four minutes.

Guadeloupe... At the time of the earthquake, there was an eruption of the mountain called Souffriere the sides of which split in several places. Basse-Terre on the same island felt the shock, but sustained no injury.

Montserrat, Feb 9th... The fall of earth in various parts of this island has been tremendous, the dust rising from it was so great as at one time to induce a belief that it was smoke from the Souffriere - This is however quiet, and not... affected... Trinidad. A slight shock of earthquake was felt yesterday in the town and suburbs; the motion was tremulous - slow and unbroken and of about a minute's duration... The shock was not repeated... Trinidad Standard, Feb 9 (Anon., 1843g).

St. Lucia. Yesterday at 28 minutes past 10 AM... an earthquake lasted nearly three minutes... like the great shock of January 1839... [buildings] cracked... slight shocks were also felt during the night of... and last night - Palladium., February 9th (Anon., 1843h).

St. Thomas. The Royal mail steam-placket Forth, Commander Fayrer, from St. Thomas, which place she left on Thursday last, bringing account of an earthquake having occurred at the island of St. Thomas.

...On the 8th of February at 30 minutes after 10 o'clock AM, I was sitting at table with Mr. Comrie, of the Colonial Bank at St. Thomas', his private house being on a declivity halfway up the highest part of the town. We were suddenly surprised by a confused sound very much resembling the action of a strong draught of one of the large steamers that with the door shut, attended by a hissing sound... Everything was on the move, the glass windows in our house, and those in the one immediately above rattling and the plaster falling off... This lasted full three minutes... from the motion did not conceive that anything serious would occur, nor has there, beyond much fright... A French brig coming to St. Thomas's off Tortola, felt the shock so severely, he thought that the vessel had struck on a rock... In a subsequent account received from the commander of the Fort, he states that Tortola had not suffered... Fayrer (1843).

[At St. Thomas) about half-past 10 o'clock; when all of a sudden the inhabitants were thrown into a state of the utmost consternation and alarm, by a violent trembling and shakes of the earth... I happened to be on shore at the time and seeing the people suddenly rush in crowds from their houses into the streets, with terror and dismay... I inquired of a gentlemen, who looked pale as a sheet, what was the matter, when he replied "Oh Sir, It's an earthquake; don't you feel It?" I had indeed felt the ground tremble and quiver underneath me; but, never having felt an earthquake before concluded it was produced by some very heavily-laden wagon or other passing through the street... I was, however, soon undeceived, for the houses began to shake, doors and window shutters to swing upon their hinges, pots, pans and tins, suspended from the ceiling of the shops and stores, to play tunes upon each other, bottles to be flung off the shelves, and glasses to dance and jingle on the sideboards. All this occurred in about two minutes and fortunately passed off in this place without doing much dam-

age to property... We understood afterwards... that St. Eustatius had suffered pretty severely... (Anon., 1843j).

Two distinct shocks of an earthquake were felt yesterday, in this city (Charleston SC/USA) a few minutes before 10 o'clock. They were slight, and we did not ourselves feel the vibration, but we have heard many persons, and in different sections of the city, say that they felt the shocks perceptibly, and observed the movement of curtains, and pictures, hanging against the walls of their houses (Anon., 1843k).

The Columbia South Carolinian of Thursday last says ' Some two or three shocks of earthquake- continuing altogether, with little more than momentary intervening cessations, perhaps two or three minutes- occurred in the city at 10 ½ o'clock yesterday morning (2/8/1843). The vibrations seemed to be about an inch each, alternately between North-west and South-east (Anon., 1843l).

Wilmington NC February 9th, 1843- A shock of an earthquake was sensibly felt in out town (Wilmington NC) yesterday morning, about 10 o'clock, it continued some seconds, during which time, some houses shook so as to cause a rattling of the windows and the doors to open. A gentleman told us, his house shook so that he became alarmed and left it. Earthquake- we learn from several of our citizens that a slight shock of an earthquake was felt yesterday morning, between ten and eleven o'clock, in this city. The vibration was the more severely felt in the direction of Curry Town-Savannah Georgia (Anon., 1843m).

Campbell reports:

Origin from Guadeloupe to neighborhood of Antigua. Very destructive. Was felt for long distances. No report from Puerto Rico but undoubtedly felt over eastern portion of Island, III-IV. Famous earthquake of Pointe-a-Pitre. A good coverage is given with Puerto Rico and other islands mentioned near conclusion (Perrey) St. Thomas, St. Croix and most islands of West Indies, but Puerto Rico is not included (Poey). Guadeloupe (IX). Felt throughout Caribbean. (Robson, 1964) St. Thomas IV. No damage. Damaged customs houses at Mayagüez, Guayama and Naguabo in Puerto Rico (Anon., 1843n).

Tomblin and Robson (1977) report: St. Bartholomew (VIII) All stone buildings were damaged beyond repair. A crack 10 inches wide and 1/2 mile long appeared in the town. No lives were lost. Barbadian, 15.2.1843. St. Martin (VIII) Estates all mined and stone houses all thrown down. No lives were lost. Barbadian, 15.2.1843. Tortola (V) 10.30 h. A severe shock lasting four minutes. No damage. Barbadian, 15.2.1843. St. Thomas (IV) An earthquake was felt but caused no damage. Barbadian, 15.2.1843

Commentary: This is a well-known and well reported great Lesser Antilles earthquake. Minimal effects in Puerto Rico and St. Thomas. Felt as far away as the Carolinas in the USA.

1843 March 5th

Location: Saint Thomas

Data: Tomblin and Robson (1977) report: St. Thomas (V) An earthquake caused people to run outdoors, but did no damage. Barbadian, 22.3.1843

Commentary: People ran outdoors.

1844, April 16th 0910?

Location: San Juan, Isabela, Gurabo, Bayamón, Utuado, Yabucoa, Humacao, Ponce, Caguas, Guayama Puerto Rico; St. Thomas; 200 miles at sea from Puerto Rico, Guadeloupe

Data: “El día 16 del actual a las nueve menos diez minutos de su mañana se sintió en esta Isla un fuerte temblor de tierra que se dilató sintero más segundos, poniendo en consternación a todos sus habitantes, tanto por su espantoso sacudimiento como por el ruido subterráneo que lo acompañó siguiente a un bueno, afortunadamente no causó desgracia alguno; varios edificios de particulares han sufrido descalabros, pero más particularmente los templos de las monjas y convento dominico de esta Ciudad en cuyos muros y bóvedas se ha abierto algunas grietas, las iglesias de los pueblos de la Isabela, Gurabo, Bayamón, Utuado, Yabueda (Yabucoa), Ponce y Caguas experimentaron iguales daños reparando dichos edificios, así como también el de la cárcel del último de los referidos pueblos en que causó igualmente algunos deterioros...” (Mardenaligo, 1844).

El alcalde Señor dijo que correspondiendo a la comisión de Policía Urbana (San Juan) proceder al reconocimiento con el arquitecto de la casas ofendidas por el temblor de tierra de día 16 del mes actual, a proporción que lo vayan participando los vecinos por la orden fijara en las esquinas al intento.

...La dipusación de esta casa consistorial (San Juan) expuso en el 18 del corriente, los daños que ha sufrido la misma con motivo de las abundantes lluvias que hubo a principio del mes y del temblor de tierra acaecido al día 16 [damage detail given but cause uncertain] (Anon., 1844b).

Abril 19,... cabildo extraordinario [Isabela]... relativo al estrago causado por el terremoto del día diez y seis [on May 7th in the same document refers to the temblor de tierra en la mañana del día 16] en la iglesia de esta parroquia... El horroroso terremoto sentido a las nueve de esta mañana causó en la iglesia de esta parroquia el estrago siguiente; se nota una abertura... prolongada desde el... de la cruz... hasta el arco de la puerta mayor abrazandolo en todo su espesor, cuya contracción no puede... con la visita natural; en las dos columnas primeras que sostienen el... la nave y de las torres junto al... se ven tres hendiduras que causan igual cuidado, y que... se reconocen en tiempo para el... repara puedan atraen la ruina... (Roman, 1844).

Cabildo extraordinario del día 9 de Mayo [1844, Caguas]. Manifestó el Señor Presidente que el objeto de esta reunión lo era acordar las medidas que deben adoptarse para atender a la recomposición del cementerio de este pueblo que acaba de derrumbarse por partes a consecuencia del temblor que bastante afectó las paredes... (Anon., 1844c).

‘The same journal (*St. Thomas Tidende*) informs us that a very strong earthquake was felt in the town of St. Thomas (Charlotte Amalie) on the 16th of April at 20 minutes past 9 O’clock in the morning’ The weather since that time, says that journal, was rainy and expected some disaster of that kind, but we are fortunate not to have experienced any damage’ The Barbadian on May 25 (Anon., 1844d).

It continues:

...Bacao (Humacao?, Puerto Rico) of date April 23rd... ces that on the morning of the 16th... a long shock followed by a subterranean noise was felt throughout the island. The church of this town has been much damaged, as well as the customs House of Guayama. In the island many houses and public edifices have been thrown down. The alarm has been general... The Boletín Journal of Saint John (Puerto Rico) has just reached us – the following is what we have extracted. Yesterday at ten minutes after 9 in the morning we experienced an extremely strong shock of earthquake accompanied with a subterranean noise, which has ruined us all, and which lasted about 50 seconds. The oscillation was so strong that the oldest inhabitant of the place declares he does not recollect a like example. Now that we are settled we look for expressions capable of demonstrating the position in which we were at the time of the awful event. Nearly all the stone houses are cracked as well as the church that is in a complete state of ruins; we have not yet received account from the interior.

Let us return thanks to God that it was only of a short duration for we could be all at the current hour like a point a pitre under heaps of ruins. It was worth of remark that for a week we had strong and abundant rain which completely flooded the country (Anon., 1844e).

Earthquake at Guayama, P. R. - we learn by the brig. Meteor, Capt Stevens, from Guayama, that on the 16th April, at half-past 8 P.M., with light northerly airs and sultry weather, the shock of an earthquake was heard there, which lasted about minute. The customhouse was cracked in several places, but we have not heard of its doing any damage. At Ponce they say it was a great deal more severe; a great many house are more or less damaged, and some have fallen down. The oldest people at that place say it was the severest shock ever felt there. *Ibid.*

A shock of an earthquake was experience at Puerto [*sic*] Rico on the 16th ult., which cause nearly all the houses to creak more or less. The church was injured considerably, and several houses were thrown down in Ponce and Guayama. The Captain of the brig Alphonzo, who arrived two days afterwards, from New York, states that 200 miles from the Island he felt the shock severely (Anon., 1844a).

From St Johns PR –Captain Martin, of the schr. Euarkee informs us that a severe shock of earthquake was felt at St. Johns, PR the 16th April at 8 O’clock, A.M. The houses were much damaged, and the people were moving out of town. The vessels in the harbor felt the shock, but received no damage. He heard of no person being hurt (Anon., 1844a).

Temblores de tierra en los días 20 de Abril y 21 Octubre (Anon., 1846a).

Campbell (1972) reports:

Severe earthquake of 30 seconds duration. Felt in Puerto Rico, VII-VIII, and in St. Thomas. In Puerto Rico, several houses and some public buildings were overthrown

or cracked. A tower of the temple at Isabela was cracked. The origin may have been north of Puerto Rico. The felt report from Guadeloupe must have been an error (Reid and Taber, 1919). Puerto Rico. A violent shock (Perrey, 1855). St. Thomas, Puerto Rico, and Guadeloupe (Poey, 1857). Puerto Rico VIII. In San Juan, nearly all stone houses were cracked. In Bairoa, the church was badly damaged and there was damage to the customs house at Guayama (Robson, 1964).

Perrey (1845) refers to an event in Saint Thomas April 17th.

Tomblin and Robson (1977) report: San Juan (VII) 09.20 h. nearly all the stone houses were cracked and the church ruined. Re shock was felt throughout the island. Barbadian, 25.5.1844. Puerto Rico, Bacao (VI) Church damaged. Barbadian, 25.5.1844. Puerto Rico, Guayama (VI) Custom House damaged. Barbadian, 25.5.1844. St. Thomas (V) A very strong earthquake. No damage. Barbadian, 25.5.1844

“A tower of the Catholic Church at Isabela was overthrown or cracked” in Reid and Taber (1919; citing Archives of Governor and Deville, (1867). Felt in Guadeloupe (Feuillard, 1983).

Commentary: Not mentioned in the Saint Thomas Tidende for the period of April 11th -May 11th although the Barbadian, 5.25.1844 refers to it being felt on this island (as cited in Robson, 1964). Reid and Taber feel that the report of the event being felt in Guadeloupe must be erroneous).

First hand reports are primarily found for the eastern part of the island. Supposedly felt as far as St. Thomas and Guadeloupe.

1844, May 5th

Location: Ponce, All Island, Puerto Rico

Data: González (1903) wrote “5 de mayo de 1844- Terrible terremoto en toda la isla y que se sintió también en las de Barlovento, especialmente en Martinique y Guadalupe”.

Un fuerte temblor de tierra se sintió en Ponce acompañado de profundos ruidos subterráneos en Mayo 5 de 1844, en virtud del cual vino abajo la parte superior del frontispicio del templo de Guadalupe con la cruz que lo adornaba, y sonaron las campanas, según nos refería en sus inolvidables veladas nuestra abuela materna doña Carmen Geraldino. Neumann (1913).

Coll y Toste (1918) Por tradición familiar sé que el 5 de Mayo de 1844 hubo un terrible terremoto, que sacudió en toda la Isla.

Campbell (1972) reports: A strong shock felt in Ponce accompanied by a profound subterranean noise (Neumann, 1913). A great earthquake in Puerto Rico (Limon, 1938). A terrible earthquake in all the Island (González, 1903).

Commentary: All these references are secondary and hence not be trusted. A check of actas de cabildo (Caguas, San Juan, Mayagüez, San Germán, Ponce) and gazeta records for this event failed to uncover any reference to it. A careful check of AGI treasury and army records for the Island of Puerto Rico in this year (AGI Audiencia de Santo Domingo 2458 and 2459) failed to uncover any references to this event. Nor is there any reference to any event on that island in the Saint Thomas Tidende for the dates April 11th to May 11th. Apparently erroneous reference to event of April 16, 1844. This is a non-existent event. It should be noted as such in further catalogs and references passed to April 16, 1844 event.

1844, October 19th and 20th 2330, 0930

Location: Isla Puerto Rico

Data: “El 19 del corriente a las 11 y media de la noche, se ha sentido un temblor de tierra y el 20 a las 9 y media de la mañana hallándose... sin apariencias notables, se ha sentido de nuevo con un movimiento de trepidación, que principió a alarmar el vecino; por que habiendo cesado en pocos instantes se recuperó la calma en que hasta la fecha se sepa ha ocasionado alguna desgracia y sido más sensible en algún otro punto de la isla” (Lescubel, 1844).

“Temblores de tierra en los días 20 de Abril y 21 Octubre” (Anon., 1846a).

1846, November 28th 1700

Location: San Juan, Río Piedras, Guayama, Cabo Rojo, Isabela, Arecibo, Manatí

Data: “A las 5.25 de la tarde de ayer,... se sintió en esta Capital un fuerte temblor de tierra oscilatorio, cuya dirección, según el movimiento que observé en los cuadros de mis despacho, fue del NO. al SO. y su duración de 4 á 5 segundos. Ningún daño ha causado en los edificios de esta Ciudad ni en los del inmediato pueblo de Río Piedras, sin embargo de que se sintió con más violencia” (Anon., 1846b).

El temblor de tierra experimentado en esta Capital el 28 de Noviembre ultimo, del que di a vuestra excelencia conocimiento en 29, siguiente se bajo el número 426, se ha sentido en toda la Ysla con más ó menos vehemencia, particularmente en Guayama, Cabo Rojo, Isabela y Arecibo. En los dos primeros puertos no causó daño alguno; en la Ysabela... la columna que sostiene una de las torres de la yglesia, que se hallaba resentida desde el temblor acaesido el 16 de Abril de 1844 y en preciso se creyó que había causado grandes deterioros en la nueva Iglesia Inaugurada en 12 de repetido mes según participó a VE (Anon., 1846c).

...Muy al contrario de lo que sucedió en [Manatí] el del año 46, pues dos casas de mampostería de las mejores que aquí existen, sufrieron en aquella fecha deterioros considerables. T.R. (Anon., 1858b).

...las cinco menos cuarto de la tarde ha habido un terremoto el más terrible y largo que he conocido en cuarenta y nueve años que tengo de edad, el cual ha cuarteado ambas naves laterales de la iglesia nueva de un extremo a otro... Las aberturas por el frente de la iglesia [Arecibo] particularmente en la nave del sur pero disminuye bastante en el tercer arco. Los circos de la nave mayor también se les conoce han tenido movimientos pero no es gran cosa (Balseiro, 1846).

Objeto de reconocer los daños causados por el terremoto del veinte y ocho del próximo pasado [en Arecibo]; los cuales consisten en haberse descubierto unas pequeñas aberturas en todo... los muros que sostienen las bóvedas de la capilla bastimal y de las animas, se hallan perfectamente a plomo... [more details on minor damage] (Zayas, 1846).

Marvel and Moreno (1984) referring to San Juan Archive documents note “On November 24th, 1846, the town celebrated with gala activities the opening of its church, which had taken a half century to construct [being ruined by the 1787 earthquake]. Within four days, on November 28th, an earthquake shook the church, cracking both sides aisles from one extreme to the other”. Cadilla (1961) says “En 29 de noviembre de 1846, Nuevo temblor la damnificó” referring to the church in Arecibo.

Campbell notes: Felt throughout Puerto Rico with highest intensity, VII, north-western part. Church at Isabela again damaged. VI at Cabo Rojo and Arecibo; V at San Juan. Epicenter probably in Mona Passage. Listed as Puerto Rico only (Poey). Another earthquake occurred in Puerto Rico (Limon, 1938). An earthquake occurred in Puerto Rico on November 28th, 1846 (La Gazeta de Puerto Rico). Probably in Mona Passage. VII (R-F scale) in northwestern part. Strongest in northwestern part (VII). Damage done to church at Arecibo, at first believed due to the earthquake, were reported later as settling cracks in a new structure. Cabo Rojo and Arecibo (VI) San Juan (V) Reportes at Guyana (IV?). This shock probably originated in the northern part of the Mona Passage; perhaps near the origin of the 1918 shocks” Reid and Taber (1919, citing Archives of the Governor).

Commentary: Strong Earthquake. The church in Arecibo was destroyed in the 1787 earthquake. Reconstruction was well underway in 1817 (see 1787 references). The church was just finished 4 days before this earthquake (half century to construct).

1847, December 18th

Location: West Coast of Puerto Rico

Data: “An earthquake was registered on the west coast of Puerto Rico” (Anon., 1847).

1847, December 29th**Location:** Puerto Rico**Data:** “An earthquake was felt in Puerto Rico” (Anon., 1847)***1848, February*****Location:** Mayagüez, Puerto Rico**Data:** Mayagüez, several shocks felt during the month (Anon., 1855; Poey, 1857)**Commentary:** Poey is not a primary source and information needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.***1849 August 1st*****Location:** Puerto Rico**Data:** Puerto Rico (Anon., 1855). Listed as Puerto Rico (Poey, 1857)**Commentary:** Poey is not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.***1850, April 8th 0900*****Location:** Mayagüez, Puerto Rico**Data:** Mayagüez, where church bells rang. The shock reported from Martinique on this date must have had a different origin (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1856). Poey (1857) reports an event in Martinique on the same day but reports no hour.**Commentary:** Earthquake rang bells. Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.***1850, October 21st*****Location:** St Thomas and Antigua**Data:** St. Thomas and Antigua. Severe in Antigua (Anon., 1855)***1850, December 19th 2137*****Location:** Aguas Buenas

Data: Campbell (1972) reports: Aguas Buenas, IV-V. Strong oscillatory Earthquake. Duration 20 seconds. Accompanied by subterranean noise. Origin in eastern part of Island (Reid and Taber, 1919 citing Governors Archives) Aguas Buenas (IV-V). Aguas Buenas, IV-V. Strong oscillatory Earthquake. Duration 20 seconds. Accompanied by subterranean noise. Origin in eastern part of Island (Poey, 1857).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1851, February 17th-27th

Location: Aguas Buenas

Data: February 17th, Aguas Buenas (V?). Origin in eastern part of Island . Several aftershocks, Feb. 20th-27th, 1851(Reid and Taber, 1919). Listed earthquakes for February 20th and 22nd in Puerto Rico (3). Aguas Buenas V? on 17th; Aguas Buenas IV-V on 20th, 1900 and 2058; Three shocks, San Juan City Hall walls cracked (location doubtful) on 22nd; Aguas Buenas V on 23rd about 0300; Aguas Buenas rather intense VI? on 27th 1905.

Commentary: The reference to earthquakes at Aguas Buenas in Puerto Rico need confirmation from primary sources.

1851, February 18th 1410

Location: St. Thomas

Data: A very smart shock of earthquake was experienced in this town yesterday, at about ten minutes past 2 o'clock, P.M. It was not however generally felt (Anon., 1851).

Commentary: Smart shock.

1851, February 20th 0330

Location: Puerto Rico, (Saint Martin?)

Data: Shock reported at Santa Martha, W.I. Poey (1857), (Anon., 1855)

Commentary: Possibly Saint Martin in the Northern Lesser Antilles.

1851, June 10th 0800

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (Perrey, 1856)

1851, December 16th

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (Anon., 1855)

1852, March 17th

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (Anon., 1855)

1852, May 17th

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (Poey 1857a, b)

1852, May 20th

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (Poey, 1857a, b)

1853, May 24th 0200

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas III RF (Perrey, 1845)

1853, September 19th 0600

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas VI-VII RF (Perrey, 1845)

1853, December 21st 2140

Location: St. Thomas

Data: Tomblin and Robson (1977) report: St. Thomas (III) 20.40 h. A slight shock.
Barbados Globe, 26.12.1853

Commentary: Slight Shock.

1854, April 9 0800-0900**Location:** St. Thomas**Data:** St. Thomas (Anon., 1855)***1854, June*****Location:** St. Thomas**Data:** Some light shocks were felt in St. Thomas in the month of June (Perrey, 1855).**Commentary:** Light shocks.***1855, May 25th 1500 and 1600*****Location:** St. Thomas**Data:** St. Thomas (Reid and Taber, citing Anon., 1855).***1855, December 14th 2015*****Location:** Salinas, Aguas Buenas**Data:** Campbell reports: Salinas (VI) RF and Aguas Buenas (V) RF. Said to be the strongest shock ever felt at Salinas. (AG) Origin probably in the southeastern part of the Island (Reid and Taber, 1919) Aguas Buenas (V). Salinas (VI) (CGS).**Commentary:** Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.***1856, August 28th 1300*****Location:** St. Thomas**Data:** Tomblin and Robson (1972) report: St. Thomas (VI) 13.00 h. A sudden, severe shock, causing rafters and beams of houses to creak. People rushed outdoors. The walls of a few stores were cracked. St. Thomas Times, 30.8.1856.**Commentary:** People rushed outdoors.***1858, February 24th 0400*****Location:** Puerto Rico, St. Thomas

Data: Widespread but apparently light. Reported from Puerto Rico, St. Thomas and other islands. There might have been more than one shock causing confusion in reporting (Reid and Taber, 1919). “St. Thomas and Puerto Rico. Shocks also reported this day from Martinique (4.09am), Guadeloupe (4am), Jamaica, St. Bartholomew and Curacao. (Poey, 1857). Severe shock in Martinique on this day (Perrey, 1861a), which may have been felt in Guadeloupe, but probably not as far as St. Bartholomew. The reports at other places are either erroneous, or they refer to independent shocks” (Reid and Taber, 1919).

Commentary: Not found in the Saint Thomas Tidende for February 28th through March 10th of 1858 hence dubious for St. Thomas. Needs confirmation from primary source for Puerto Rico. Possibly event in Venezuela basin or near Martinique.

1858, September 7th 1515

Location: Ponce, Manatí, Puerto Rico

Data: Temblor Ponce. El martes último a las once y minutos debió empezar el eclipse solar... con el temblor que durante el chubasco que cayó como a las tres, se dejó sentir de oscilación de E a 0 y que duró como veinte segundos. No fue muy fuerte, pero sin embargo, se dejó sentir (Anon., 1858a).

...Ayer, como a las tres y cuarto de la tarde, se dejó sentir en este pueblo un terremoto algo fuerte y de poca duración, por cuya última circunstancia nada tuvimos que lamentar afortunadamente; muy al contrario de lo que sucedió en Manatí el del año 46, pues dos casas de mampostería de las mejores que aquí existen, sufrieron en aquella fecha deterioros considerables (Anon., 1858b).

Commentary: Somewhat strong earthquake.

1860, October 23rd

Location: Mayagüez, Puerto Rico

Data: Mayagüez. Rather strong shock with some damage VI-VII RF (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1865).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Actas del Ayuntamiento de Mayaguez for October 28th and 29th do not mention an earthquake. Event is suspect.

1863, October 12th 0700 and 1020

Location: Saint Croix

Data: Campbell reports: St. Croix. Two shocks. One about 0700, III RF; one about 1020, IV RF. (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1875) No record of this shock being felt in Puerto Rico.

Commentary: Not found in the Saint Thomas Tidende from October 10th to October 31st of 1861 Needs to be checked in the Dansk Vestindisk Regierings Avis of St. Croix. Confirmation necessary from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Event is suspect.

1864, May 30th

Location: Mayagüez, Puerto Rico

Data: Mayagüez. Light shock (III) (Reid and Taber, 1919)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Actas del Ayuntamiento de Mayagüez for May 30th and June 6th make no mention of earthquake.

1864, September 6th

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico Light shock (Reid and Taber, 1919)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Actas del Ayuntamiento de Mayagüez for September 9th make no mention of earthquake.

1864, November 5th

Location: San Juan and Caguas, Puerto Rico

Data: Puerto Rico and Caguas (Puerto Rico probably means San Juan) (Reid and Taber, 1919)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1865, May 12th 0930

Location: St. Thomas

Data: Two strong shocks, the second the stronger; some damage. (Reid and Taber, 1919 citing, Fuchs, 1866; Perrey, 1867, 1875)

Commentary: People rushed outdoors.

1865, August 24th 0215**Location:** Puerto Rico**Data:** Puerto Rico, IV. Strong, undulatory shock lasting 45 seconds (Reid and Taber, 1919)**Commentary:** Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Actas del Ayuntamiento de Mayagüez for August 28th makes no mention of earthquake.**1865, August 30th 0145****Location:** San Juan, Barranquitas, Cidra, Isabela, Lares, Mayagüez, San Germán, Manatí, Ponce, Puerto Rico; Santo Domingo and Santiago de Los Caballeros, Dominican Republic.**Data:** “Anteayer entre una y dos de la noche se sintió en esta ciudad [Santo Domingo] uno bastante fuerte [temblor]. Durante como 18 segundos” (Anon., 1865a).

También se sintió en Santiago de los Caballeros el sacudimiento de la noche del 29 del pasado. La población no dejó de alarmarse, porque lo mismo que aquí duraría allá sobre 68 segundos (Anon., 1865b).

El 30 del mes pasado a las dos menos cuarto de la noche se ha sentido en esta Capital un terremoto que tuvo de duración un minuto aproximadamente, y el cual hizo mover los edificios fuertemente. En toda la isla se ha sentido igualmente, y según las informaciones que he recibido no han ocurrido desgracias por consecuencia de este fenómeno, si bien han sufrido en general los edificios públicos, de lo cual daré a vuestra excelencia detalles cuando me sean bien conocidos (Uresino, 1865a).

Consiguiente con lo que tuve - del actual cobre el temblor de tierra que se ha sentido en esta... la noche del 30 de Agosto último debo manifestarle, que según las noticias suministradas por los alcaldes y corregidores resulta que el temblor se hizo sentir notablemente en toda la isla principalmente en los pueblos de Barranquitas, Cidra, Ysabela, Lares, Mayagüez y San Germán, causando algunos deterioros en los edificios públicos y privados, que se bien no fueron de mucha consideración necesitando una pronto reparación ocasionaron gastos imprevistos, habiendo sido necesario hechar abajo la torre de la iglesia parroquial del referido pueblo de la Cidra por el mal estado en que la dejo el temblor a evitar desgracias, atendiendo a lo que expuso un arquitecto que la reconoció. La tarde del 7 del corriente hubo un fuerte temporal en diferentes pueblos de la Ysla de la Costa del Sur, habiendo ocasionado estragos de bastante consideración en la cosecha de café y otros frutos, sufriendo más los distritos municipales de Yauco, Mayagüez, Peñuelas, Ponce y S. Germán sin ocurrir desgracia personal (Uresino, 1865b).

Prolongado temblor de tierra, llamado de Santa Rosa, que consterna al vecindario (Neumann, 1913).

...El edificio cuartel de esta Villa (San Germán) para ver si ha sufrido algún deterioro a consecuencia del temblor de tierra experimentado en la noche del veinte y nueve al treinta del pasado (Quiñónez, 1865).

Campbell reports: Cracks formed in churches at Manatí and Ponce, VI? (Reid and Taber citing Episcopal Archives in San Juan). No report from other places. Origin probably in center part of the Island (Reid and Taber, 1919). A prolonged earthquake in Puerto Rico (Neumann, 1913). A large earthquake was felt (Limon, 1938). A prolonged earthquake in Puerto Rico Prolonged earthquake felt throughout the Island at 2:00a.m. (Font, 1903)... Origin probably in center of the Island. Apparently widespread and probably located on the Island and quite deep, 50 to 100 kms (Campbell, 1972).

Commentary: Event felt widely between Santiago in the Dominican Republic to the west and San Juan Puerto Rico on the East. Origin probably near western part of the island. Note- Actas del Ayuntamiento de Mayagüez for September 5th, and 12th make no mention of earthquake.

1866, January (February?) 7th 0800, 1300, 1830, 2015, 2300

Location: San Juan, Mayagüez, San Germán

Data: San Juan III. Shocks also felt at Mayagüez and San Germán on this day at 0800, 1300 and 1830 (Reid and Taber, 1919). San Juan III. Also felt at Mayagüez and San Germán. February 7th Mayagüez IV (shocks at 0800, 1300, 2015 and 2300) (Reid and Taber, 1919).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1866, February 14th 1900 and 2000

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas (VI RF) Reid and Taber (1919) citing Perrey (1870)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1866, March 26th

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico, III (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1870)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1866, April 8th 0450

Location: Ponce, Mayagüez, Aguadilla

Data: Western Puerto Rico V. Duration 20 seconds. Reported from Ponce, Mayagüez and Aguadilla. There was an aftershock on April 10th at 0300 (Reid and Taber, 1919, citing Perrey, 1870).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1866, July 26th 0100

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico V RF (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1870)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1866, August 6th and 7th 0800-0900

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico. Aftershock on August 7th in the morning (Reid and Taber, 1919 citing Perrey 1870)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1867, January 7th

Location: Puerto Rico

Data: "...Las fuertes sacudidas de la isla de Puerto Rico el día 7 [de enero] y manteniendo la agitación de sus ondas, en toda su extensión, durante los meses de enero, febrero, marzo y aún el presente de Abril [1867] (Revenga, 1867).

Commentary: Strong shocks.

1867, January 20th

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico (Reid and Taber, 1919, citing Perrey, 1872)

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1867, April 8th 0450

Location: Ponce, Mayagüez, Aguadilla, Puerto Rico

Data: "...Por último, a las 4 horas y 50 minutos de la mañana del 8 de Abril, hubo una fuerte sacudida en Puerto Rico, que se extendió a Ponce, Mayagüez y Aguadilla..." (Revenga, 1867).

Commentary: Strong shock.

1867, September 7th

Location: Río Piedras, Puerto Rico

Data: Río Piedras. A shock of short duration (Reid and Taber, 1919, citing Perrey, 1872).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1867, October 1st

Location: Puerto Rico

Data: Puerto Rico. Commencement of shocks that were felt for several months. The earlier shocks were not reported from St. Thomas and probably had no relation to the later ones which represented the Great Virgin Island earthquake of November 18th 1867 (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1872).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts. Garcia (1867) implies that "terremotos" were felt since June of 1867 in Isabela but the document is, at this point, very faded and hence difficult to read.

1867, October 29th

Location: Virgin Islands; Humacao, Puerto Rico

Data: Shocks reported felt in the Virgin Islands and at Humacao during the disastrous hurricane. Probably erroneous (Reid and Taber, 1919 citing Perrey, 1870 and 1872).

Commentary: The violent hurricane "San Narciso" occurred October 29th 1867 (Campbell, 1972).

1867, November 12th

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas Reid and Taber (1919) citing Perrey (1872)

1867, November 18th 1443

Location: Guadeloupe; St. Thomas, Tortola and St. Croix, St. Martin; San Juan, Mayagüez, Ponce, Naguabo, Aguadilla, Arecibo, Río Piedras, Arroyo, Vega Baja, Bayamón, Barros (near Bayamón), Manatí, Tabucos, Loisa, Juncos, Arecibo, Fajardo, Isabella, Cidra, Juana Díaz, Puerto Rico; not felt in Cuba and Santo Domingo (but references to light earthquakes felt about this time in the Dominican Republic).

Data: “After the earthquake took place, and just before the rollers were seen, many persons on La Plata’s deck saw smoke ascend from the island of Little Saba, about 5 miles from St. Thomas and shortly afterwards they were sensibly affected by a sulphureous smell. As La Plata steamed close past Little Saba, on the morning of the 20th instant, the island was seen to have quite an altered appearance- something like recent lava was seen on the middle slope; at another place, the Island has sunk considerably, and at the South-side a mass of rocks have fallen into the sea (Ray, 1868).

...News reaches St. Thomas on the 19th that both St. Croix and Tortola had experience exactly the same earthquakes and rollers, causing great alarm and some loss. At the West-End town of St. Croix an American war steamer had been lifted up by the rollers, and deposited in the middle of the town...

The following particulars have been kindly furnished us by another passenger on board La Plata, who was at St. Thomas when the earthquake occurred: About ten minutes to three on the afternoon of 18th instant, the island of St. Thomas, was visited by the most fearful earthquake it has ever experienced. Similar at first the rumbling of heavy carts, the noise increased as the wave seemed to roll on under the earth than gradually died away in the distance, the rocking of the earth increased with the rumbling, and kept increasing for over a minute and a half and altogether, close on three minutes elapsed ere all movement ceased.

The effect on the town was most disastrous, although few buildings were totally destroyed. Scarcely any brick or stone one escaped uninjured.

Near the moment of the first shock, the waters began to gradually recede from the shore. The panic stricken and shrieking inhabitants, whose heartrending cries for mercy, rendered yet more striking the dull and heavy stillness which pervaded all nature after the first shock, had barely had time to quite their houses and reach the open air, when another shock came and then was noticed the fearful aspect the sea was gradually assuming, far away about two miles from the mouth of the harbour-- slowly but surely rising--an immense wave came--gathering strength as It rushed, till, having reached the harbour entrance, this Immense wall-- not less than forty feet high--toppled over and broke, roaring, on what the hurricane had left standing. Ships were driven ashore or dragged from their moorings--wharves swept away. Wrecks ashore high and dry floated off--here a schooner was capsized--there one, left lying by the hurricane broad-side on, was righted and floated out to deep water. The harbour boats were nearly all smashed or carried far up the wharves, or on to the main street. Warehouses were completely gutted, and their contents strewn across the roads.

A second wave less intense followed the first, and then came a third! Little by little the Harbour resumed its former aspect, its surface, if anything, strewn with yet more wrecks... Still the Earthquakes earthquaked on from the first till dark - - no less than eight distinct and violent shocks were felt during the night--the rumbling hardly ceased--and the rocking, or trembling of the earth was incessant.

Daylight brought little cessation--the shocks if less frequent seemed more severe--and during the night of the 19th five most distinct and powerful Earthquakes occurred, and up to eight o'clock on the 20th, when the "La Plata" left the Harbour, into which she had been brought to coal, no less than 27 shocks from 4 to 30 seconds, had succeeded the first fearful one.

Extracts from the Log of the "Plata," Oct. 18th. 2.40--Experienced a very heavy shock of Earthquake, shaking the ship violently--cleared away all the covers from the boats--took in all awnings, and rigged the fore gear. 2.50--Observed a tremendous breaking sea in the offing advancing towards the ship, from the South, threatening her with destruction, the ship being then nearly broadside to it. About a minute afterwards, observed the ship to be canting swiftly round, bringing her stern towards the sea, providentially enabling her to ride over it. 2.55--Breaker struck the ship on the starboard quarter, stove in the bulwarks, and smashed the gig, tearing away hulks from alongside. Let go the starboard anchor, ship head working round to all points of the Compass, surphy-dingy washed away. Lowered cutters to pick up Negroes thrown out of the hulks by the breakers. Observed the stern copper to be displaced, and wood started—examined the stern, but found no leakage--found port after life boat stove in—lowered boats and landed the passengers" (Anon., 1867a).

Repeated shocks of earthquake, as many as four and five in the twenty-four hours, has spread dismay among the inhabitants (of St. Martin)... we have suffered no material injury (Ray, 1868).

Church in Bayamón damaged (Anon., 1868a).

Capital (San Juan) - Palacio de Intendencia Este edificio ha sufrido con los temblores de tierra deterioros en sus paredes y techo, quiere sigan reparación. Casa de Aduana- Ha surgido con los temblores de tierra en terminos de haber sido necesario apuntal un arco y el lintel de una punta; y el depósito... ha padecido, aunque poco. Quedó inútil para el servicio la palúa y el bote auxilliar por consecuencia del huracan.

Mayagüez - Casa Aduana. Ha experimentado algún daño por el huracan; y los temblores de tierra ha abierto grietas en sus paredes. La casilla del aduanero del puerto aduanero ha sufrido con el huracan.

Ponce y Guayama - Casas Aduanas. Tiene muchas grietas en sus paredes causadas por los temblores de tierra.

Naguabo y Aguadilla. Casas Aduanas. Con los temblores de tierra se le han abierto algunas grietas [en Naguabo huracan damage to casillas... quedando sin techo] [en Aguadilla no huracan damage].

Arecibo. Casa de Aduana. No damage.

Fajardo, Guayanilla, Cabo-Rojo, San Germán, Salinas. Hurricane damage only to Casa de Aduana in Fajardo and Salinas, otherwise absolutely no damage at all (Salvan, 1867).

Por el vapor español Montezuma hemos recibido periódicos de Puerto Rico hasta el 30 del pasado Noviembre y que contienen los por menores de los terremotos ocu-

rridos en aquella Isla el 18 del mismo y los días subsecuentes: Leemos en el boletín Mercantil de Puerto Rico del 25: El lunes 18 a las tres ménos diez minutos de la tarde, los habitantes de la isla de Puerto Rico fueron sorprendidos por el terremoto más violento y de mayor duración de cuantos se tiene memoria.

En esta ciudad, el sacudimiento vino acompañado de un ruido subterráneo aterrador y empezó por una oscilación N. S. terminando con una trepidación horrible que, aterrando a las personas más animosas, esparció por todas partes la consternación y el espanto. La población en masa se lanzó á las calles, y como al viese llegada su última hora, invocaba la misericordia Divina con exclamaciones y lamentos capaces de conmover el más empedernido corazón. Aun nos parece que las escuchamos y tiembla nuestra mano al trazar estas mal coordinadas líneas.

Los espíritus empezaban a tranquilizarse y muchas familias habían vuelto a ocupar sus casas, cuando a eso de las tres y media sintióse otro movimiento de la tierra, seguido a los pocos minutos de un nuevo sacudimiento, que fué la señal para que esta ciudad presentase un cuadro que en vano retenderíamos describir. Plazas y calles llenándose nuevamente de la muchedumbre que abandonaba sus hogares en busca de un lugar seguro, y en aquel momento las empresas de coches hubiesen tenido quinientos, todos se hubieran ocupado por el sin número de familias que deseaban salir de la ciudad, pero no teniendo posible obtener los carruajes necesarios, cada cual se alejaba como podía, saliendo a pie la mayor parte de la población: los que no lo efectuaron el lunes pasaron la noche en las plazas y muchos se trasladaron a bordo de los buques surtos en el puerto, hasta el día siguiente en que la emigración fué general, de tal modo que no quedaron en la ciudad ni seiscientas personas, a más de la guarnición, cuando sabemos que pasan de diez y ocho mil habitantes de esta capital. Nosotros la recorrimos el día 19 a las desde la tarde y ofrecía el lúgubre aspecto de una ciudad desierta.

Después de los tres sacudimientos del día 18 se sintieron otros, aunque leves, durante toda la noche. El 19 hubo varios, ha sucedido los días 20, 21 y 22 y ayer a las 9 de la mañana mientras escribíamos este artículo, otro sacudimiento que duró 12 segundos, ha vuelto a perturbar los ánimos porque fué bastante fuerte.

Todos los edificios del Estado y muchas casas particulares demuestran los estragos que les ha causado el terremoto, por lo cual el gobierno ha dispuesto que mientras se hacen en aquellos las reparaciones necesarias, los trabajos de las oficinas respectivas se ejecuten en tiendas de campaña levantadas en los altibajos convenientes para comodidad del público y de los empleados. Las tropas de la guarnición están acampadas bajo tiendas en el campo del Morro y el batallón de artillería lo está en una levanta en el espacioso patio de su cuartel.

Hé aquí la relación de las casas y edificios públicos que han sufrido con los temblores ocurridos en Puerto-Rico el 18 y siguiente...

Río Piedras - Pasado los primeros momentos de terror todos los vecinos hicieron una rogativa pública, desalojando las casas de mampostería que estaban muy resentidas y distribuyéndose entre las de madera. La torre del campanario de la Iglesia se resintió bastante, así mismo la cocina de la Convalecencia. Según hemos sabido a última hora se ha restablecido ya allí la calma y la confianza, y todo el vecindario se ha entregado a sus ocupaciones ordinaria.

Arroyo - Las sacudidas se sintieron con una intensidad terrible, deteriorando muchos edificios, aunque sin producir la caída de ninguno ni desgracias personales. El

mar en uno de los movimientos se retiró de la playa, volviendo a los pocos momentos a refluir con impetuosidad, y avanzando más de cuarenta metros; pero poco a poco volvió a ocupar su posición habitual.

Ponce - En la playa, la retirada del mar, que dejó en seco en uno de los movimientos una fragata, produjo un pánico terrible que se aumentó al ver que a los pocos instantes se lanzaba una impetuosa ola é invadía algunas de las casas más próximas a la orilla. Algunos creyeron que la población iba a ser sumergida, y se llenaron de espanto; pero a los pocos momentos se restableció la calma el ver que el Océano volvía a tomar su primitivo cauce.

Vega Baja, Noviembre 19 de 1860 - Desde ayer a las tres menos quince minutos de la tarde, vivimos en continua zozobra y angustiada alarma.

A dicha hora dejóse sentir un movimiento de oscilación en la tierra, que duró setenta segundos en constante dirección de E. á O. Suave en su principio, hizose más sensible en su mitad, sín llegar jamás a ser violento. Más tarde, y a cosa de las cuatro, sintióse una más corta sacudida; y sucediéndose con inaudita frecuencia, otras y otras más en la noche de ayer y el día de hoy, en que hasta la hora en que escribimos van contadas once.

Por ahora, gracias a Dios, solo se nota una pequeña grieta en la fachada Sur de la torre de nuestra nueva Iglesia, único quebranto perceptible de nuestros edificios, así públicos como particulares, lo que debemos considerar como una fortuna atendido al gran número de casas de material que poseemos, y a que no se habían terminado todavía las obras del nuevo templo, por lo cual es mayor su exposición en estas repetidas convulsiones.

Ponce, Noviembre 20 de 1867. Como resultado del último de los terremotos que reseñó ayer, ha quedado nuestro hermoso templo rajado por algunas partes, temiéndose un desplome. Las chimeneas de las haciendas, con muy raras excepciones, han venido a tierra. Ayer, después de hechada al buzón mi carta, tuvimos otro terremoto a las nueve y cuarto de la mañana, pero de poca fuerza y duración, y a las doce de la noche otro. Hoy a las tres de la madrugada y a las nueve de la mañana hemos sentido dos, pero casi imperceptibles, todos de oscilación...

Bayamón, Noviembre 24 de 1867 - Al primer sacudimiento de la tarde del 18, obtuvimos la triste realidad de ver perdida nuestra preciosa Iglesia, que el vecindario todo conservaba como el blason de sus sentimientos religiosos.

Manatí, Noviembre 21 de 1867 - Reanudamos hoy nuestra correspondencia para el Boletín, la cual interrumpimos y cerramos anteayer martes a las doce y minutos de la noche, manifestando que ayer, como a las tres y pico de la madrugada y como a las ocho matinales, volvió a sentirse aquí bastante fuerte la termoción,... la siete de esta misma noche en que se sintió el último.

Ponce, Noviembre 19 de 1867... Serían las tres menos cuarto de la tarde, cuando se empezó á sentir un terremoto que cada segundo aumentaba más su fuerza; fué de oscilación Norte a Sur y su duración como de unos dos minutos. Ha sido tal su fuerza, que las campanas sonaron por espacio de un minuto, y ha dejado muy atrás al tán memorable de Santa Rosa.

Casi todos los edificios de mampostería han sufrido más ó menos en sus paredes; pero los que más han padecido con nuestro hermoso Teatro y la casa de don Carlos Cabrera, que han quedado, puede decirse, amenazando ruina.

...A las cuatro y seis de la tarde y a las diez de la noche volvió a temblar la tierra, pero fué corta la duración del temblor; esta madrugada a las cuatro ménos diez minutos volvió a temblar, siendo siempre de oscilaciones de Norte a Sur...

A última hora - Son las ocho ménos cuarto de la mañana y se ha vuelto a sentir otro temblor de tierra que, aunque no t n fuerte como el primero de los citados, no le ibas muy en zaga...

Noticias de San Thomas - El l nes 18 la isla de Saint Th mas, fué la escena de un desastroso terremoto acompañado de una horrible invasión del mar, cuyos efectos son indescriptibles. A las tres de la madrugada se oyó un ruido espantoso, al que sucedió inmediatamente una conmoción de toda la isla, de tal clase que es un prodigio el que todos los edificios no hayan sido derribados. Sin embargo, infinidad vinieron al suelo. Los habitantes estaban poseidos de un terror verdaderamente pánico, corriendo desolados por todas partes a centenares, y reuniéndose en un campo abierto gente al muelle de King, cayeron todos de rodillas esperando su última hora. A los 20 minutos, y ap enas había pasado el terror del primer sacudimiento, los millares de individuos que se hallaban en aquel sitio, vieron que el mar se acercaba   la ciudad bajo la forma de una muralla de treinta piés de alto, y extendiéndose por todo el horizonte El mar invadió la ciudad hasta una altura de cincuenta piés arrazando con todo. Las pérdidas son enormes. Durante aquella noche horrible, se sintieron varios temblores de tierra más   ménos fuertes. Por la mañana se repitieron con más intensidad, continuando todo el día y la noche siguiente.

En la pequeña isla de Saba ocurrió una erupción volcánica que cambi  enteramente la faz de la isla, la que se ha cubierto de innumerables grietas.

En Santa Cruz y Tórtola, la mismas calamidades tuvieron lugar. La primera fué inundada parcialmente: un vapor americano fué arrojado por las fuerzas de las aguas hasta la plaza del mercado. La isla ha quedado en ruinas. La de Tórtola ha sufrido considerablemente (Howard, 1867).

The hurricane experienced on these latitudes on the 29th [of October]... caused considerable injury in this island in the commercial agricultural interests, we have to lament also the considerable loss of human life .. received no damage to the buildings or other property... A day or two after the hurricane had passed over heavy rains... such as one very rarely seen... prevented communication on the Island... paralyzed.

[Severe Hurricane damage] at Fajardo, Humacao and Naguabo situated in the east end of the Island and more in proximity to St. Thomas suffered dreadfully from the gales which destroyed many buildings on the Estates and towns - the principal injury however was caused by the immense overflowing of the rivers to such an extent that all the lowlands were flooded... --- This was the state of things on the 18th when a series of earthquakes commenced in this island which have thrown the inhabitants into a complete state of consternation, so much so, that this City which is entirely built of bricks has been almost entirely abandoned by the population who have fled to the country for safety. -The first and most severe shock was experienced here at quarter before 3 o'clock PM- These shocks with more or less severity have been repeated at short intervals day and night up to the present time of writing. Though none of the edifices in the City have been thrown down a very considerable number are so much cracked in injured that they will likely have to be torn down for public safety. Considerable further injury has been done by the earthquakes in the sugar plantations by throwing down their chimneys and... damaging other buildings and works.

The earth continues to tremble and frequent strong vibrations are felt day and night that keep the inhabitants in the greatest state of alarm. The shock at St. Thomas and St. Croix on the 18th was very severe since we have no Intelligence from that island or have we any information from the surrounding islands. We have late data from Cuba and Santo Domingo and learn that the phenomenon was not felt on either of those Islands..." (Howard, 1867).

...The great earthquake followed by an outflow of the sea and the disastrous consequences attendant upon It, which occurred on this Island [St. Croix] on the 18th... light shocks of earthquake still continue at intervals" (Perkins, 1867a). Light shocks of earthquake still continue [St. Croix] (Perkins, 1867b).

Desde el 18 del actual a las tres de la tarde se están sintiendo en toda la Isla temblores de tierra de más ó menos extensión y duración. Resentiose desde el 1º que duró unos 22 segundos los edificios se han hecho más considerables sus deterioros a medida que el fenómeno subterráneo se ha ido repitiendo.

La vida ordinaria ha sufrido profunda perturbaciones, los negocios estan completamente paralizados, las familias han salido de sus habitaciones ordinarias para procuran en seguridad, la mayor parte en los campos y algunas de ellas en las plazas públicas, y en los pocos lugares que están sin fabrican en esta ciudad...

Desde las nueve de la mañana del 23 hasta hoy a la misma hora no se ha sentido temblor alguno de consideración, pero puede decirse que las conmociones a la vez no cesan (Anon., 1867b).

...Para reparaciones de las fortificaciones y edificios militares destrozados por los terremotos de Noviembre y Diciembre últimos [places with damage] cuartel de San Francisco. Barracas de Puerta de Tierra, real fortaleza, Puerta de San Juan, almacén Americano, almacén de polvora de Miraflores, almacén de polvora de San Geronimo, puente de San Antonio, castillo de San Cristobal. Cuartel de San Francisco... recorrida de las azoteas cuyo mal estado han originado los temblores de tierra (Anon., 1868b).

...Thro' slight vibrations are yet felt here almost every day, the alarm has greatly disappeared and the farlies which fled in... to the country when the first shocks of earthquakes occurred, are now coming back to this city which is assuming its usual aspect. The houses, which were not injured so much as it was at first reported, have been almost all easily repaired. None was thrown down by the earthquakes nor was it found necessary to pull any one down for safety. In the country the damages done to the buildings on the sugar estates have been repaired and the mills are now in full operation... (Jourdan, 1868a).

The earthquakes which began on the 18th of November 1867 and have since been frequent, seem to have had their origin by the bursting out of a submarine volcano in the sea somewhere about or between the Danish Islands of St. Thomas and St. Croix.

The reasons of this opinion are: 1. The great wave, which soon followed the first heavy shocks, was seen for some short time rolling on towards St. Thomas and Puerto Rico from the south to the north, while at the same moment another similar wave, perhaps even larger than the first, rolled in toward St. Croix from the north to the south, thus showing the volcanic eruption, which caused them, had occurred in the sea, somewhere between those two Islands and the force sent the water in both directions. 2. It is historical that, some 175 years ago, the small island of Saba (little Saba as it is called) just west of the harbour of St. Thomas, was an active volcano and on

the 18th and 19th of November last emitted smoke, thus showing the volcanic action was not distant. 3. Previous to November 10th 1867, earthquakes had not been felt at St. Croix. On that day they were and subsequently they have been simultaneously with the shocks felt at St. Thomas, showing thereby that a communication had and has been opened between the two islands.

The shocks extended to Puerto Rico, and were felt through the whole island, but the force of, and damage by them done to buildings, sugar estates- works and chimneys, was chiefly at the eastern end, the north side as far down as Arecibo and the south side as far as Ponce, about the middle part of this island. Below or west of these places, the other north or south side, was any damage done to buildings.

The great rolling wave passed into the harbors and over the beaches at the East end and down the south side of this island, but it did not extend to the north or west side.

The earthquake felt on the 17th of March was as strong as the shock felt on the 1st December last, since we continue to feel slight vibrations at short Intervals (Jourdan, 1868c).

2.30 P.M. [Tortola]. Terrific vertical earthquake fully quarter hour long sea sinking about 4 feet and suddenly rising 4 to 5 feet above first level. Strong current... to shore. Not 5 minutes pass... until 3 o'clock on 19th with one or more shocks, sometimes 3 in 5 minutes - in fact there appears to be a constant... of the earth (Porter, 1934).

The oldest inhabitant here knows no parallel to the sad calamity that happened here [St. Croix] yesterday, at about ten minutes of three o'clock P.M. Two very severe shocks of earthquake, one immediately after the other, occurred, these lasting over 3 minutes... The troubled sea, which had receded soon after from the shores, coming furiously, mountain-high, and dashing on the shore, as far as 100 yards, in some places. The greatest damage here was in Gallows-Bay, where upward of twenty small houses, were upturned or completely demolished, from the violence of this encroaching sea.

The people of Frederiksted - suffered - in a far greater degree... The sea washed up high in town; and many stores received great injury The water washing in, immense sheets...

Everything did not end here. Through monday night the inhabitants were again alarmed from many more severe shocks taking place; and the continuence of this... continued all day to-day, up to our going to press making in all some 18 or 20 shocks" (Anon., 1867c).

Tortola, 25th November 1867 ...On the 18th instant the Virgin Islands were visited by a severe earthquake which lasted fully fifteen minutes and was followed by numerous other shocks less severe at intervals not exceeding five minutes for over twelve hours; repeated shocks still occur, all appear to come from the north or north-west, save the first which came in from the northeast.

Immediately after the first shock had ceased the sea receded or rather sunk about four feet and immediately rose between four and five feet above its original level, submerging the whole of the lowest part of the Town sweeping before it nearly all the smaller dwellings which had not been entirely destroyed by the Late Hurricane...

With regard to the outer Islands, I have received reports that they have not sustained any injury. At Virgin Gorda large blocks of granite were rent during the first

shocks. At Peters Island the sea rose to so great a height above its original level that the inhabitants took to their boats and came across to Tortola.

At Salt Island, as in Tortola; the earth was observed to open in several places near the seashore and water rush upwards from the openings. On the hills in Tortola I am told there are some openings caused by the earthquakes... (Rumbold, 1867).

Guadeloupe at 3.18 p.m. In Sainte-Rose the sea withdrew a hundred metres down the beach; then a wave sixty feet high and three miles broad inundated the beaches and entered the houses causing much damage (Deville, 1867).

From the Archives in Ponce (Anon., 1867h):

Barrio 1. Relación detallada de los Individuos que han sufrido perdidas en terremotos del 18 y 19 de noviembre de 1867 [in or near Ponce]. Establecimiento de Juan Isidoro [lists botellas, potes frutas almibar, marrasquina, cantaros de barro, alcaparras, escupideras, tazas, botellitas, sacos, tarros barro ordinario, ollas de barro ordinario, tubo de quinque, frascos de vidrio etc]. Sr. Correjidor: Participo a vos. como el día 18 del actual con el terremoto me cayó una pared de 6 varas de largo y 3.5 de alto lo que le manifestó a vos. para los fines que convengan. N. R. Corsino Torres: Jefe de la guardia se le ha destruido completamente la cocina de su casa que hecho de manpostería y frente de la cerca de su comedor causandole una perdida de más de 200 pesos. Las chimeneas del Quemado fueron derrivadas por causa del temblor. Sr. Correjidor: Participo como en el temblor de tierra en los días 18 y 19 del mes pasado se inutilizó una escalera de manpostería. Edificios de manpostería han sufrido deterioro a causa de los temblores de tierra.

Barrio 1. Calle de la Concordia: pared de empalizada de 6 varas de largo y 3.5 de alto. La misma calle, una galería de manpostería con alto y bajo y las murallas del mismo material que circulan la casa. La proxima calle, escalera de manpostería inutilizada. Casa con varias grietas.

Barrio 2. Playa: varias casas con grietas. Iglesia: varios desperfectos.

Barrio 3. Calle de Grabor: varias grietas en casas. Calle Mayor: varios deterioros en el teatro.

Barrio 4. Calle de Mamira: grietas y otros deterioros. Proxima calle: grietas en casas de manpostería.

Barrio 5. Calle Mayor: varias grietas y desperfectos en galería de manpostería. Plaza: varios desperfectos.

Playa. El edificio Triglarío: varias grietas y desperfectos. Cumpliendo con lo dispuesto por vos. respecto a las perdidas ocasionadas por el terremoto del 18, debo manifestar que solo ha quedado a mí parecer inutilizada la casa de doña Antonia y en las demás no tengo conocimiento sobre otra evidencia alguna.

Barrio 5. nada paso.

Playa. En el día de hoy hasta esta hora que a las 2 de la tarde de hoy se han sentido 2 temblores de tierra; el primero a las 9 de la mañana y el segundo a las 11 menos cuarto. Los almacenes de manpostería de la comisaria sufrieron perdidas. En la mayor consternación y aflición de mis barrios y las familias de todas clases abandonaron sus casas así como todos los trabajos paralizados. Relación detallada de las perdidas del terremoto del día 19 de 1867. [perdida de vasos, botellas, damescura, tazas, chimenea] Relación de los efectos del terremoto del 18 de noviembre de 1867 (tazas,

platos porrones de barro, frascos, botellas, vasolio, ollas de barro, casuelas, poncheras, fuentes con tapa, gaforra anisado mallorca, damiesana, garrafon).

Bucana. Hacienda Isabel: chimenea destruida y la mitad del almacén se le ha caído y la Hacienda Santa Cruz se le cayó la chimenea por causas del gran terremoto.

Barrio Capitanejo: Por causa del terremoto he tenido perdidas y chimeneas que se han caído.

Barrio Machuelo Arriba: nada.

Barrio Portugues: nada.

Barrio Limon: perdidas insignificantes.

Barrio Marrueno: no hubo perdidas.

Barrio Guaraguaos: ...lo que es tocante es no haber habido perdidas en el terremoto, pero han habido calenturas y catorros desde el primer temblor (Anon., 1867h).

1867. Noviembre 18. Gran alarma por el advance del mar. Todo el pueblo huye hasta el Vigía. 1867 Noviembre y Diciembre. Continuos temblores de tierra [Ponce] (Neumann, 1913).

...La humilde iglesia con que a fuerza de sacrificios habrán reemplazado a la que por consecuencia de los terremotos de 1867 fué a ruinas [of Barros near Bayamón] (Anon., 1875a).

Noviembre 21 de 1867... Los edificios públicos [*sic*] que... a consecuencia del terremoto ocurrido en la tarde del día 18 del corriente, y los repetidos movimientos que se han sucedido hasta las ocho de la mañana del día de hoy. [Follows with detail on damage to edificios of: Real Carcel, Casa Ayuntamiento, Aduana, Presidio de Plaza y en toda la fuerte antigua [no damage here], teatro... (Hernández, 1867).

23 Noviembre 1867... Río Piedras... La Iglesia... ha sufrido muy poco limitándose principalmente las avenas, a haberse descompuesto unos pequeños arcos que sostienen el coro y sulida de la torre y también los arcos que en... la iglesia sostienen la cubierta del campanario. Todas estas degradaciones son fáciles de reparar... La carnicera tiene unas grietas de poca consideración y en cuanto a los edificios particular... solo uno amenaza peligro inminente de ruina mucho más por el interior que por la fachada reduciéndose en los demás a grietas de mayor ó menor entidad... y de fácil reparación -23 Noviembre 67, Loisa. En el día de ayer... la iglesia de Loisa habiendo observado que la bóveda principal de la Iglesia tiene tres grietas en toda de longitud de las cuales dai [*sic*] eran correspondientes a los rincones y llegaban hasta el... [more detail on damage given] (Churrua, 1868).

...En el templo parroquial de Juncos, en la parte interior de su bóveda, solamente se observa una grieta, que los vecinos sostienen que producida en el terremoto de año 1867 (Pérez, 1918).

...La iglesia de este pueblo [Arecibo] fabricada de mampostería y cubierta de bóveda se ha hallado que ha sufrido algo por los temblores pero no ha perjudicado en nada la utilidad de la obra; se ha dispuesto una reparación interina de las goterías... (Llonpot, 1867).

...Son las cuatro de la tarde y cojo la pluma para participarle la horrible catástrofe que acaba de ocurrir [in Fajardo]. Sería las tres y cuarto cuando empezamos a sentir un ligero temblor de tierra que, aumentando gradualmente, causó en pocos instantes grandes estragos, llenando se amarga congoja todos los carazuezo.... Templo... estaba en el suelo: sus paredes todas cuarteadas, el altar mayor en tierra, la nave se ha iz-

quiera caído, y en fin solo la nave se la viguiendo y una tercera parte del techo quedaron parades, pero todo amenazando la más completa ruina... (Lavaey, 1867a).

Del de la tarde de ayer que tuvo lugar [Fajardo] el horroroso terremoto de que cuenta a vuestro señor hasta esta fecha y hora que son las nueve de la mañana no ha cesado un momento de estabais sintiendola repetidos temblores más o menos fuertes (Lavaey, 1867b).

...En el terremoto ocurrido en el día 18, hemos tenido que lamentar la caída de este hermoso templo [of Fajardo]... los temblores, se bien en esta mañana son bastante suave y que no suelo terminasen muy en breve... [details on local prayers to avert more earthquakes] (Lavaey, 1867c).

...La Iglesia [of Fajardo]... está su mitad en el suelo y el resto inutil completamente la carniceria agrietada y parte de las paredes desconchadas por los últimos temblores de tierra... No tienen establecimientos en que elaborar las teniendo sus chimeneas y demás oficinas destruidas siendoles muy difícil la reparación... (Rojas, 1867).

26 Noviembre 1867... una sesión extraordinaria [in Isabela]... respecto al estado deplorable en que se encuentra la Santa Yglesia Parroquial por consecuencia de los fuertes temblores de tierra que viene asolando este castillo... parten a la altura en que se encontraba antes de los terremotos que se han sentido, no dudan de que esta Junio... (García, 1867).

...El terremoto de que dispone para llenarnos momentaneamente de terror y hacer a la larga inutiles por mucho tiempo los esfuerzos que pudieramos desplegar para reponer las perdidas materiales que tanto nos afectan. Efectivamente, la tierra parecía desquiciada de su eje, en el terrible 18 de corriente, ya sus fuertes y prolongadas succididas parece que no debía quedar piedra sobre piedra. La población se ha salvado; pero en las haciendas, las chimeneas, los trenes y los establecimientos han sufrido, siendo preciso fabricarlos de nuevo con toda premura a fin de aprovechar los pocos días que faltan para la zafra y no perder el escaso fruto y al vado de los temporales...

Nuestras iglesias, nuestras casas, los edificios públicos todos estan arruinados ó amenazando ruina por los repetidos terremotos que desde el 18 del pasado se suceden sin tregua y con violencia cada vez mayor, dos de Diciembre en mil ochocientos sesenta y siete (Mangual, 1867).

...Una casa temera, de mampostería para cuerpo de guardia y oficinas de politica en la marina de esta Villa - a las reparaciones ulteriores de dicho edificio y sus utensilios... ---Al daño que los temblores de tierra que vecinos experimentando desde el diez y ocho han causado en el lugar excusado de la Carniceria; acordó el Ayuntamiento que aquel quede cerrado hasta tanto que sea posible componerlo... (Anon., 1867i).

...Suplica de que, atendida la inseguridad que ofrecen los edificios de mampostería para habitantes por los temblores de tierra que estamos sufriendo desde el diez y ocho del corriente, le permita fabricar de madera en el sitio que posee- perdidos inmensas que no admiten termino de comparación con las producidas hasta ahora por los sacudimientos de la tierra... (Anon., 1867j).

...Se leyó una exposición del caballero sindico primero don Manuel María Mangual manifestando la angustiosa y miserable situación de esta Antilla por causa de las calamidades... como remedio que mitigue un tanto su lastimoso estado, que se solícito del Gobierno SM La Reyna quede la isla exenta de contribución real durante los dos años... el Ayuntamiento, por unanimidad, halló plausible la idea... (Anon., 1867k).

Marvel and Moreno (1984) give Archivo General de Puerto Rico references to damages caused by 1867 event in Juana Díaz and Cidra.

Ramón (1888) notes in reference to the Dominican Republic that

...después de esta fecha [1842] se han sentido ligeros temblores, particularmente a fines de 1867 y a principios de 1868...

Grenada - On monday... 5.20 p.m. ... an unprecedented fall took place in the tide which had but shortly before attained the high water mark of fully four to five feet-The reef in front of the lagoon showing its full extent and the surrounding shores standing out in bold relief for several feet below the usual height... In a very few seconds after the fall of the tide, preceded by a slight rumbling subterraneous noise, the water over the "green hole" was seen to rise a few feet and to be in great ebullition... forming a regular lake of boiling water... whilst a strong sulphurous odour pervaded the air. As quick as thought the sea rose to the extent of a little over four feet, pouring in one vast volume... Six times did this submarine phenomena show itself in eruption... when it suddenly ceased. Everything looking in its direction as if nothing had occurred...

On Monday night, at 9 o'clock, we experienced a shock of earthquake; and a little before one on Tuesday morning, another shock was felt. They were slight and undualted perpendicularly. [Description of damage due to sea "began to flow and ebb with astounding rapidity... finally reaching in its rise to about 20 feet, and in incursions and recess to about 150 feet ...]... In the year 1705 when father Labat... visited the West Indies the spot where on this explosion or eruption took place on Monday was solid land, and a portion of the old town of St. George, first settled by the French. 'Tradition,' as we have written before 'tells of the site of the said town having been submerged by an earthquake...' (Anon., 1867f).

Most awful series of earthquakes were felt. Islands are in complete ruin, Tidal wave. Port of Spain Gazette, 11.12.1867

A violent earthquake. Several shops collapsed. Nearly all houses were severely damaged. Fifteen minutes after the first shock, a tidal wave invaded shops in the lower part of the town to a depth of several feet. After shocks were felt approximately every five minutes for the first twenty-four hours. Puerto Rico. Especially felt in north and east. The Govenor's Mansion was partly destroyed, and also the bell tower of the cathedral (Deville, 1867).

...Captain R. H. Bass, USN, Commander Submarine Squadron Ten in U.S. S. Fulton, writes me that you are interested in the history of the Virgin Islands and particularly seek information regarding the earthquake of 1867 and its effects on the *U.S.S. Monogahela*.

It is strange that except for the official report of the Commanding officer, Commodore S. B. Bissell, USN, and a brief mention in U.S. naval history textbooks, nothing has been written about this incident that I know of although it was one of the strangest disasters of maritime history.

The official report Commodore Bissell wrote was published in the issue of the Army and Navy Journal dated 21st December 1867. Based upon this report the facts are briefly as follows.

While anchored in the Harbor of Fredericksted, St. Croix, at 3:00p.m. on 18th November 1867 the earth trembled violently with a roar which sounded like the es-

cape of steam which lasted for about 30 seconds. The water in the Harbor began to recede to the south and the returning swell carried the *Monogahela* aground near shore. The water receded again very rapidly and this time the returning wave was a wall of water 25-30 feet high. This wave carried the vessel over the tops of the warehouses and into the first street of the town. When the water receded, the vessel was carried back and deposited on the edge of a coral reef just offshore. Commo. Bissell was of the opinion that if the ship had been carried out just a few feet farther over the edge of this reef, that it would have been a total loss. Actually, no serious damage was done to the ship, and equally miraculously only four men were lost all of these being in the ship's boats at the time. The coral reef provided a solid foundation upon which ways were built, the ship being buoyed up by India rubber camels and the vessel was launched from these ways in 10 feet of water about 100 feet from the beach. We are fortunate in having a photograph taken just before launching and I enclose a copy of it, compliments of the Naval Academy Museum.

It will interest you to know at about the same time the cruiser *De Soto* was torn from her moorings in the Harbor of St. Thomas and thrown upon the piles of a new wharf, the receding water carrying her into deep water again, with little injury. In the same Harbor the *Susquehana* barely escaped similar treatment. I know of no further details on these two incidents... (Wade De Weese, written comm. to I. Paiewonsky, 1953)

El temblor comenzó a las 2 y 42 minutos de la tarde. Desde la noche de Santa Rosa del año 1865 nadie había sentido un temblor tñ prolongado. Haciendo comentarios, discurriendo por las calles y visitando los sitios de más peligro, estaban las gentes temiendo sin duda lo que aún pudiera sobrevivir... En este momento se oye un grito... Un segundo después este grito simultáneamente repetido por millares de almas deja inhabitado el pueblo de Ponce. ¡El mar! ¡El mar! gritaba la multitud fuera de sí ¡El mar viene! Gritaban corriendo algunos hombres, llevando en brazos a sus hijos.

¡Corred! ¡Corred! ¡Al cerro! ¡Al cerro! Gritaban otros. Tal era la zozobra y la angustia que se retrataban en todos los semblantes y el afán con que hombres, mujeres y niños corrían, parecían un vasto campamento. Impresionado el pueblo con relaciones tan fabulosas como la desaparición de la Isla Tórtola con sus ocho mil habitantes, ante el inmenso peligro del mar cuyos límites sólo Dios conoce, nadie se detuvo a reflexionar.

Las gentes corrían hacia la altura más próximo: el espíritu de conservación hacía prodigios. A los gritos de ¡El mar! ¡El mar! la madre llamaba a sus hijos, la mujer a su esposo, y el aire se poblaba de gritos que desgarraban el alma. Aquí caía desmayada en tierra una joven, allí un niño buscaba a su madre, más allá, un viejo se arrastraba jadeante procurando en vano correr.

Arremolinábanse los niños en torno de sus padres, iban y venían coches y hombres a caballo conduciendo niños y mujeres que lloraban; y en medio de aquel desorden, de aquélla horrible confusión, en tan apurado trance, nadie acertaba a explicarse lo que pasaba en realidad.

¡La mar! ¡La mar! gritaban todos corriendo hacia el Vigía. Si algún hombre de ánimo bastante sereno intentara calmar aquel desconuelo, sus voces se habían perdido en el espacio. Todos creían ver las espumosas olas el mar agitándose sobre el pueblo. El camino que conduce a la playa jamás ha presentado un golpe de vista tan extraño.

Veíanse centenares de mujeres, hombres y niños, no caminando, sino corriendo hacia el cerro, cubiertos de copioso sudor, con la vista extraviada y el paso ya incierto. Algunos se caían en el medio del camino; nadie se detenía para levantarlos.

Otros hombres a caballo gritaban: ¡no correr! Ya pasó el peligro! Pero como el temor embargaba todos los sentidos, las gentes nada oían y todos se apresuraban a llegar al cerro, para contemplar desde allí el mar tranquilo, ¡tan tranquilo como antes!

Una hora después, restablecida la calma se supo que el mar, una media hora después del temblor, se retiró algún tanto, dejando en seco las playas, para bañarlas otra vez, al buscar su nivel. He aquí pues, el origen de tanto y de tan grande terror. Fontan (1868).

Below are excerpts of articles in *The Daily News Saint Thomas*, All are presented in the column "History Corner" by Isidor Paiewonsky during 1979. Therein he cites various sources of information about the event in 1867.

Text is quoted from pamphlet containing eyewitness report of passenger of *La Plata*:

... We anchored off the southern point of Water Island... our ship lying about two and a half miles from the town... Several of us passengers were leaning over the rail, watching the antics of the coal workers when without warning came such a shaking of the timbers of our ship as few mariners or passengers before had ever experienced! It was not a quivering of our ship, but a downright shaking which threatened to leave not one bolt in place, nor 2 planks together in the ship. It is difficult to describe the scene on board during this frightful earthquake!... (Paiewonsky, 1979a).

It was of no less than two and a half minutes duration. It was not one continuous shock. For some 4 or 5 seconds in the middle, there was an appreciable lull. Then it came again, if anything, with redoubled force... At 35 minutes past 2 o'clock a 2nd cloud of smoke appeared over Little Saba. This time it was white, like steam. Then it was we saw, looming behind that island, like a gigantic wall, a tremendous tidal wave rushing towards us. A small steamer happened to be passing outside. She turned her head to sea and rode over the wave; probably because she was in deep water. A moment more and the great wave reached Little Saba island, and in an instant that rock was a mass of foam, 100 feet high... One instant before the great wave struck us, the forward tackle of the life -boar broke, and it fell down nearly perpendicular. In the meantime, the terrible mountain of water rolled swiftly upon us. We had 5 minutes to prepare for the shock, and it may well be imagined, though it is impossible to describe, how those 5 minutes went. Down on our ship came the roaring sea, literally piled up on us at the rate of 50 miles an hour, with a perpendicular face of fully 40 feet. Fortunately for us, about half a mile outside of our position, Water Island ended in a low point. This point, exposed to the full force of the wave, met it like a wedge. It was observed that the moment the wave reached this Water Island point, it broke and dropped, so that when the wave struck our ship, it was perhaps not more than 10 feet higher than the taffrail. (A rail around the upper part of the stern). We had been lying all that morning head to sea; but the water receding from the shore like a mill race to meet the wave turned our ship around, so that we took the onslaught on our stern. When the first rush of water came on us, it turned our ship even more, and the main

force of the wave itself fell on out starboard quarter. Three waves in one it came, with the roar of 100 Niagaras; and contrary to all expectations the La Plata rose over it like a duck and was saved! he sea smashed the quarter deck to ribbons, twisting the davits like pinwire, breaking in pieces all the upper works on the side, and flooding all the saloons and after cabins. ...So the wave passed us, and in a short time beat in awful fury on the shore, its sound mingling with its echoes from the hills... (Paiewonsky, 1979b)

The main street of St. Thomas, running parallel to the beach, presented an extraordinary sight. Though fully 30 feet above the waters edge, and 2 or 300 hundred yards away, the whole space had been flooded several feet deep by the wave; and the agglomeration of wreckage in it was astounding... We looked around in vain for the massive American screwpile jetty that seemed to firm and strong the day before, and of which, now, not a vestige remained...

The La Plata was moored alongside the remains of the Royal Mail Company's coal-wharf, in a somewhat sheltered position, as a jutting point of land partially protected her from the run of the sea. Yet the great tidal wave had done its work here too. The destruction of the wharf and stores, unfinished by the hurricane, had been completed by the sea. Even in that sheltered corner, the storekeeper said, the water had rushed over everything, 16 feet deep and more (Paiewonsky, 1979c).

St. Thomas Tidende November 1867- In describing the Earthquake we must begin by stating the first great rumblings and shocks came from the Southwest, passed under our feet and proceeded in a Northeasterly direction. No sooner had the first terrific shocks ceased, than a spectacle presented itself that will never be obliterated from the memory of those who saw it. An ocean of water, of snowy whiteness, was seen at the southwest, beyond our harbour, majestically rolling onward towards us.

That part of the wave that entered the harbour, swept clear up into our principal streets. No store, from King's Wharf westward, but has from 4 to 5 feet of water in it. The losses of merchandise, therein, can easily be comprehended... We said, before, that the Wave's length must have been in the span of our islands. This we believe, for the Wave entered our harbour not only at the entrance, but into the Gregorie from the western and eastern ends of Water Island. Also, the Wave entered our harbour at the Haulover, so that the seashore and the streets at the western end of the town have suffered as badly as those that were exposed to the Wave that came in at the harbour entrance. At the Gregorie, where a village had sprung up within recent years, houses were picked up and carried a long way inland (Paiewonsky, 1979d).

St. Thomas Tidende November 30th, 1867- We have just learned from the Grenada Chronicle ..that on Nov. 18th., the same day of the great Earthquake here, a long hidden Volcanic Crater had come into action there, causing the waters of their Carenage to boil up and rise to a fearful height.

St. Croix Avis, November 19th, 1867- The oldest inhabitant here in Christiansted, knows no parallel to the calamity that happened yesterday at about 10 minutes of 3 o'clock p.m. Two very severe shocks of Earthquake occurred, one immediately after the other. These shocks lasted for over 3 minutes. Frightened people rushed from their houses to behold a troubled sea; a sea which, receding after shocks came rushing back, furious and mountain high, dashing inland as far as 100 yards in some places. Quick appraisal showed that the greatest damage done was at Gallows Bay where upwards of 20 houses were upturned or completely demolished.

The sea washed far into that town (Frederiksted). It came in immense sheets and many stores and buildings received injury. Several lives were lost and vessels driven ashore.

St. Croix Avis, November 29th, 1867- The distress caused to the inhabitants of West End is even greater. There, the heavy sea having no barrier to stop its impetuosity; no reef to break its force, boiled up and swept everything before it, shaking the foundations of large buildings and removing the smaller ones, carrying them no short distance from where they stood (Paiewonsky, 1979e).

Letter from T. M. Krause, Frederiksted, *St. Croix* January 7th, 1868- About 10 minutes to 3 p.m., I was lying on a sofa in my house, when suddenly a vibration of the earth commenced. This vibration continued so strongly that I and my children, with difficulty, made our way to the street... Suddenly there was a loud outcry, an awful human shriek that the sea had receded and was coming back on us... I hastened to a high point of land from which I could behold the sea; and the movement of it something to see. I beheld the second roll of an incoming tide. This tidal swell had created what seemed to be a large reef on which the water swirled, red and boiling as if in a pot.

At this time, I beheld a spectacular and frightening sight. The *U.S.S. Monongahela* a ship of war, anchored in Frederiksted's harbour, which had been left high and dry on her beam ends in the mud by the receding waters, was now caught in the oncoming awesome wave and placed on the shore. Another vessel, a large Brigantine, and a sloop, were also carried far up on land by the wave. Some lives were lost from the man-of-war and several on shore.

St. Croix Avis, January 17th, 1868- We paid a visit to Frederiksted yesterday, and found people busily looking after their ruined properties. Damage along Bay street was very great. Wooden buildings had been tossed about like corks and floated inland for considerable distances. Many substantial stone houses were completely destroyed.

Letter to the *St. Croix Avis* dated January 21st, 1868 from its correspondent C. (Frederiksted). Mr. Editor, your correspondent T. M. Krause, in his description of the Tidal Wave gives an idea of the latter that serves to distract the mind rather than describe the Phenomenon. When I compare Mr. Krause's statement with that of a most reliable other observer, important differences of observation stand out. This other reliable observer of the Phenomenon, to whom I refer, also took his stand on a high point of land that commanded a clear view of the sea and its movement. "He saw no 'reef thrown up.' Nor did the water appear 'red and boiling as if in a pot.'" "History tells us that this could have happened and has happened in other places. But this did not happen here, according to my informant who witnessed everything, coolly, calmly, and deliberately. "We believe that Mr. Krause's description was the result of optical illusion created by high nervous excitement brought on when 'the awful calamity that befell Lisbon' flashed through his mind. "As to another statement made by him regarding 'a reef,' it is well known that the bed of the sea, particularly on the western end of this island, is all sand. Therefore, what appeared to him as 'a reef' was evidently a large and temporary sand bank formed by one set of tidal movements and dispersed by another. "My reliable informant described the tidal action in this way. In the beginning the sea went out gradually a

short distance from the shore, then flowed back slowly towards the land. "The waters receded a second time beyond where the *U.S.S. Monongahela* was lying at anchor. Just, enough water was left at that point to prevent the *Monongahela* from keeling over into the mud. "Outside and beyond the warship, the sea rose majestically to a series of heights like a chain of hills of graduated heights, swelling to gain, velocity to overwhelm everything before it when its forward movement began. "The *Monongahela* seemed doomed, lying as it was at the base of the towering wave. Suddenly, to the joy of the beholder, the ship began to rise by degrees, as if a great force of – water was rising-under it; "Up, up went the *Monongahela*, so high as to be plainly seen from the rising ground at the back part of the town where people had run for safety. There was the *Monongahela* floating on the top of the great incoming wave, on an apparent level with the tops of the houses in Bay Street. Aboard the *Monongahela*, her desperate but trained crew finding that her heavy anchor and chain were a preventative to her rising, had from the beginning released said anchor and every inch of chain. Also, they had hoisted some sails in the hope that they might direct or influence the ship's landing ashore... The *Monongahela* landed in an open area of Bay street, but did not stay there. The massive, powerful receding waters which carried away lumber sheds and other buildings on the waterfront, deposited the warship with architectural precision on a ledge reef on the shore's edge.

There remained the *Monongahela*, for days, until human efforts were made to fix her more securely in position. Four crewmen were drowned during the episode, all of them being in the ship's boats in the harbour at the time. Three of the drowned men were picked up on the first day. The body of the fourth man was found floating in the harbour on the second day... (Paiewonsky, 1979f).

...The cruiser *De Soto* was severely damaged when the violent Earthquake and Tidal Wave, Nov. 18th, 1867, drove her on some iron piles in St. Thomas harbor... (Paiewonsky, 1979g).

From the manuscript: Time of the first buying of the Islands by the United States"... Clifton Hall, one of the oldest plantations in St. Croix; eight miles distance from either of the towns... Suddenly people began screaming: 'Look at the sea' The waters had receded, exposing an expanse of bare rocks. Now it was coming back in one great tidal wave... An hour later, a messenger arrived from Fredericksted to see if we were still alive and to say that the sea had smashed in and had taken out houses and had washed up the American warship, *Monogahela*, as well as other vessels, high on the land (Paiewonsky, 1979h).

Commentary: This is the famous, large earthquake and tsunami in the Virgin Islands.

1867, November 29th

Location: Tortola

Data: Not a day has passed since 18th without some shocks more or less severe (Porter, 1934)

1867, November 30th**Location:** Tortola; Santiago, Cuba**Data:** Several shocks (Porter, 1934). “El sábado 30 antes de la una del día se sintió uno regularcito, por la noche a las siete hubo otro según dicen; a la una de la noche del mismo otro bastante fuerte que puso en movimiento a la población, repitiendo una hora después aunque muy leve el estrechón siendo el trueno largo. Hemos oído decir que en el de la una de la noche no faltaron algunos personas estropeados. Por la madrugada la se veían muchas personas por las calles y casi todas las puertas abiertas...” (Anon., 1867g).**1867, December 1st 0720, 0945, 1225, 1250****Location:** Virgin Islands, Tortola; Puerto Rico**Data:** 07:20 min. A... sharp shock of earthquake followed by another in two minutes less severe. 9:45 slight shock. 12.25 p.m. sharp shock. 12.50 PM “about 2 min long” (Porter, 1934). Campbell reports: Aftershocks of earthquake of November 18th, VII-VIII. There were three shocks at 0710, 1210 and 1240 on this date. Damage in Virgin Islands and in Puerto Rico. See Reid and Taber (1919). Noticeable strong shakes were felt during early December (Neumann, 1913) A strong earthquake was felt in San Juan. Houses abandoned. There were also strong aftershocks on December 12th, 1867, and January 5th, 1868.**Commentary:** Apparently felt in Puerto Rico at 0710, 1210 and 1240 (Reid and - Taber, 1919).**1867, December 2nd 1250****Location:** Tortola**Data:** 12:50a.m. Sharp shock not long, one or two warnings before. Several warnings with slight vibration before daylight. 4:50p.m. slight shock, more rumbling - a slight shock about noon today (Porter, 1934).**1867, December 4th 0255 0530 2300****Location:** Tortola**Data:** 2:55a.m. sharp shock not long - 5:30a.m. A shock, slight. 11:00p.m. “sharp” shock (Porter, 1934).

1867, December 5th 1330**Location:** Tortola**Data:** 12:30p.m. Shock not very sharp (Porter, 1934).***1867, December 6th*****Location:** Tortola**Data:** PM. Sharp Shock (Porter, 1934)***1867, December 11th 0630*****Location:** Tortola**Data:** 6:30a.m. Sharp Shock (Porter, 1934)***1867, December 12th 1016, 1442*****Location:** Tortola, St. Thomas**Data:** 10:16a.m. A very sharp shock, from 6th to 11th. Several shocks not so severe. 02:42p.m. - sharp shock without any rumbling at first (Porter, 1934)

On Thursday last 12th, a few minutes after 10 o'clock a.m. another most severe shock of earthquake was felt here [St. Thomas]... At a little before three o'clock P.M. there was another shock, but in severity not to compare with the first (Anon., 1867d).

1867, December 12/13th 2230, 0400**Location:** Tortola**Data:** 4:00a.m. Slight Shock. A sharp shock at 10:30 last night (Porter, 1934)***1867, December 14th 2000*****Location:** Tortola

Data: 8:00p.m. Slight Shock (Porter, 1934). We are now within two days of four weeks since we had the first earthquake, and with occasional exceptions, it may be said, that not a day or night has passed without a shock being felt or some rumbling noise heard... Most of these are very feeble, and create no alarm... (Anon., 1867d).

1867, December 15th**Location:** Tortola**Data:** Several slight shocks, vibrations through night and before day (Porter, 1934)***1867, December 16th*****Location:** Tortola, St. Thomas**Data:** Some slight shocks through the 24 hours (Porter, 1934)... Shocks and rumbling have continued almost ever since (18th November in St. Thomas), fortunately, however, of no great severity, excepting the one of Thursday the 12th, from which time, nothing has been felt (Anon., 1867e).***1867, December 20th*****Location:** Tortola**Data:** At least a slight vibration with rumbling noise every day... (Porter, 1934)***1867, December 21st 1000*****Location:** Tortola**Data:** 10:00a.m. Sharp shock but not long, more a jerk, rumbling noise. Several slight shocks through day (Porter, 1934)***1867, December 22nd 0955*****Location:** Tortola**Data:** At daylight slight shock - at 9:55a.m. sharp shock - at 9:55a.m. sharp shock and much rumbling and distant shocks (Porter, 1934).***1867, December 23rd*****Location:** Tortola**Data:** One or two shocks this day or... through night (Porter, 1934)***1867, December 29th 1330 - 2355*****Location:** Tortola

Data: One or more slight shocks every 24 hours. 1:30p.m. shocks not very severe. 8:35 very severe shock fully 2 minutes long. Followed by another. 8:40, 8:55, 9:01 (no rumbling) slight shocks. 9:15 two sharp not long shocks, 9:57 slight shock, 10:06 two sharp shocks in succession, 11:30 sharp not long shock, 11:37 very short but sharp shock, 11:55 sharp shock (Porter, 1934).

1867, December 30th 0153-2200

Location: Tortola

Data: 1:53a.m. Sharp shock... slight between last and this. 6:10 shocks- two slight before, 7:53a.m. sharp not long shocks, 6:35p.m. sharp and long with great rumbling, 6:48 slight shock little rumbling, 6:55 slight shock, 7:17 slight shock, 8:05 slight shock, 10:00 sharp and long shock (Porter, 1934).

1867, December 31st

Location: Tortola

Data: Jerk 3:10a.m., 4:45 Sharp Shock, 5:50 Jerk (Porter, 1934)

1868, January 1st 1108

Location: Tortola

Data: 11:08a.m. slight shock- several vibrations since last jerk (Porter, 1934)

1868, January 2nd 0130, 0500

Location: Tortola

Data: 1:30a.m. sharp shock, 5:00a.m. slight shock (Porter, 1934)

1868, January 3rd 0500, 0700

Location: Tortola

Data: 5:00a.m. very sharp shock, 7:00a.m. slight shock through slight one or two slight shocks (Porter, 1934)

1868, January 4th 0100, 1100

Location: Tortola

Data: 1:00a.m. shock, 11:00a.m. shock (Porter, 1934)

1868, January 5th 0200, 0828

Location: Tortola

Data: 2:00a.m. shock, 8:28a.m. shock (Porter, 1934)

1868, January 16th 0530

Location: Tortola

Data: 5:30 long rumbling but no shock from 5th to date. Occasional rumbling and slight vibrations (Porter, 1934).

1868, January 17th 2205

Location: Tortola

Data: Noon a long rumbling. 10:05p.m. shock mild rumbling (Porter, 1934)

1868, January 19th 0850

Location: Tortola

Data: 8:50a.m. slight shock low rumbling (Porter, 1934)

1868, January 20th 0600

Location: Tortola

Data: 6:00a.m. rumbling (Porter, 1934)

1868, January 24th 1000

Location: Tortola

Data: 10:00a.m. sharp shock (Porter, 1934)

1868, January 26th 1015

Location: Tortola

Data: 10:15a.m. shock little rumbling (Porter, 1934)

1868, January 31st 1300

Location: Tortola

Data: 1:00p.m. slight vibrations, some shocks through night before (Porter, 1934)

1868, February 1st 0530**Location:** Tortola**Data:** 5:30a.m. slight shock (Porter, 1934)***1868, February 5th*****Location:** Tortola**Data:** Since 1st have not observed many shocks but two last night, one or two slight, and one this morning (Porter, 1934)***1868, February 8th 0720*****Location:** Tortola**Data:** Have not observed any until 7:20a.m. when one not very sharp (Porter, 1934)***1868, February 9th 0530*****Location:** Tortola**Data:** 5:30a.m. slight shock (Porter, 1934)***1868, February 10th 0500*****Location:** Tortola**Data:** 5:00a.m. slight vibration (Porter, 1934)**Comment:** The reference to a February 17th “severe shock causing no damage from the Port-of-Spain Gazette, 15.2.1868 (as cited in Robson, 1964) is, since Porter makes no mention of it, wrong or a misquote.***1868, March 10th*****Location:** St. Thomas, Antigua and Puerto Rico**Data:** Violent shock (Reid and Taber, 1919)**Commentary:** An error. Not supported by any primary source. Reid and Taber (1919) cite Fuchs (1869). They note that in the work of Fuchs “there are a number of errors... does not seem to have been sufficiently careful and critical”. Probably a

misquote of the event of March 17th. This is a non-existent event and should be noted as such in further catalogs.

1868, March 17th 1915

Location: St. Thomas, St. Croix; Tortola; San Juan, Puerto Rico

Data: From a report on earthquake sent to Commodore B. T. Lando, Superintendent of the United States Observatory at Washington

...Yesterday 17th instant at quarter past seven P.M., a severe shock of earthquake has been felt here; the duration was about 30 seconds, a series of slight shocks continued during the day and some houses suffered crevices, but as far as now, no great damage is reported - we have received news from St. Thomas; the same earthquake was felt there but lightly. The principal movement on the 17th was from E... and preceded by a subterranean noise which created a general panic... (Jourdan, 1868b).

The earthquake felt on the 17th of March was as strong as the shock felt on the 1st December last, since we continue to feel slight vibrations at short intervals (Jourdan, 1868c).

I have the honor to inform you that another... shock of earthquake was felt in this island as a few minutes past 7 o'clock yesterday morning. It's duration was about sixty seconds. At Frederiksted I am informed by the consular agent the sea rose four feet which is the only time this phenomenon has occurred since the first great earthquake of the 18th November last. The inhabitants of that town were greatly terrified remaining in the streets and above the doors of their houses and the stores on the street fronting the sea were closed.

I have heard of no very serious injuries being done. Some buildings upon estates in the country destroyed by the first earthquake have again shaken down. In... and duration, I consider this shock second only to the one of November 18th. Many slight shocks have been felt during the last 24 hours... (Perkins, 1868c).

Sharp shock of earthquake and long - followed by two others less severe - sea rose in lagoon and stirred up the... and a strong current... out to sea... in the harbour. Tide rose a trifle in the harbour (Porter, 1934).

Today... we [St. Thomas] have to record another shock which occurred yesterday morning at fifteen minutes after seven. The duration was about thirty seconds, but the vibrations... not so powerful as on the 18th November. It was observed that the sea receded several feet. No particular damage occurred further than the bursting of a few old condemnable wall-works (Anon., 1868b).

Damage to cathedral details from 18th of November event and March 17th “...del corriente. [Also details of damage to]: Real Audiencia, Intendencia, Iglesia de San Francisco, Iglesia de San José, Convento de Carmelitas, Palacio Episcopal, Casa de Beneficencia...” la encuentra en buen estado”, deposito mercantil, Presidio de la

plas...” Se han abierto algunas grietas insignificantes”, Real Carcel, Pentitla, Teatro, Mercado, Sociedad Economica, Consejo de Administración, Casa de Correos, Tribunal de Comercio.

17 de Marzo 1868. He reconocido la cárcel de esta ciudad y en su consecuencia debo manifestarle que los deterioros sufridos por el temblor de tierra del 17 de esta mañana no han sido de gran consideración pero como quiera que permanezca sin componer las numerosas grietas que se abrieron desde las primeros temblores... todo el edificio está en un estado bastante malo. [additional data given on minor damage to Cathedral and lack of additional damage to iglesia de San José, presidio [minor damage], correccional de la pentilla] (Churrua, 1868).

Commentary: Strong Aftershock of November 18, 1867 event.

1868, April 20th

Location: Tortola

Data: Slight rumbling (Porter, 1934)

1868, April 21st

Location: Tortola

Data: Slight rumbling through day. Slight shock... before 9:00p.m. (Porter, 1934)

1868, April 26th

Location: Tortola

Data: Sharp shocks after 1:00a.m., slight shocks before 4:00a.m. (Porter, 1934)

1868 May 15th 1305

Location: Tortola

Data: 12:05p.m. slight shock with rumbling (Porter, 1934)

1868, May 21st 1300

Location: Tortola

Data: 1:00p.m. slight shock rather long rumbling (Porter, 1934)

1868, May 28th 2230

Location: Tortola

Data: 10:30p.m. slight shock (Porter, 1934)

1868, June 6th 2045

Location: Tortola

Data: 8:45p.m. long rumbling, slight shock (Porter, 1934)

1868, June 7th 0450

Location: Tortola

Data: 4:50a.m. slight rumbling (Porter, 1934)

1868, June 9th 1400

Location: Tortola

Data: 2:00p.m. rather sharp shock with long rumbling (Porter, 1934)

1868, June 10th 1725

Location: Tortola

Data: Slight shock with rumbling at 5:25p.m., rumbling at noon (Porter, 1934)

1868, June 16th

Location: Tortola

Data: After midnight a sharp shock (Porter, 1934)

1868, June 30th 0340

Location: Tortola

Data: 3:40a.m. sharp but short shock (Porter, 1934)

1868, September 10th 0300 0700

Location: Tortola

Data: 3:00a.m. slight shock, 7:00a.m. sharp shock with long rumbling before (Porter, 1934)

1868, September 22nd 0230

Location: Tortola

Data: 2.30a.m. sharp shock long rumbling (Porter, 1934)

1868, December 1st 2015

Location: Tortola

Data: 8:15p.m. long rumbling slight shock (Porter, 1934)

1868, December 2nd 0340

Location: Tortola

Data: 3:40a.m. long rumbling (Porter, 1934)

1868, December 6th 1940

Location: Tortola

Data: 7:40p.m. "strange" rumbling, slight vibration (Porter, 1934)

1868, December 17th 2150

Location: Tortola

Data: 9:50p.m. sharp shock, long rumbling from west (Porter, 1934)

1869, January 23rd 1700

Location: Tortola

Data: 5:00p.m. sudden rumbling and slight vibration (Porter, 1934)

1869, September 17th 1500

Location: Puerto Rico

Data: Campbell reports: One strong and many weaker shocks which followed. Some claim the first shock to have been nearly as strong as the earthquake in St.

Thomas in 1867, but this statement is believed to be exaggerated (Reid and Taber, 1919).

Commentary: Not a primary source and thus needs confirmation from gazetas or local actas de cabildo or other eyewitness accounts.

1874, August 26th 0615

Location: Puerto Rico

Data: A severe shock in the morning at Puerto Rico. Vibrations lasted two minutes; houses rocked, V-VI (Reid and Taber, 1919). Yesterday I (Gov. Sanz of Puerto Rico) received the following telegram: “News from other sources inform me of an earthquake having occurred on that island which caused considerable damage. Your silence makes me think the event was not of importance; answer by cable.” The Governor’s answer to Spain was: “neither the earthquake nor other news has in any way affected the tranquility of this island” (Anon., 1874a).

Shepherd and Lynch (1992) report Intensity VI, San Juan “Earthquake at 6:15 this morning. Vibration lasted two minutes. Houses swayed to an incredible extent. Inhabitants much alarmed. No casualties reported” (Anon., 1874b)

1875, December 9th 0120

Location: Mayagüez, Vega Baja, Arecibo, Manatí, Ponce, San Juan, Puerto Rico

Data: “Temblor de Tierra. A las 1 y veinte minutos de la madrugada de hoy 9 se sintió un fuerte y prolongado terremoto que despertó a la mitad de la Capital. No hubo desgracias ni desperfectos que sepamos” (Anon., 1875b).

Copiamos de la prensa de Mayagüez - Temblor de tierra. -A la una y media de la madrugada de hoy se ha dejado sentir un fuerte temblor de larga duración, de trepidación al principio y variando en oscilación de Norte a Sur en seguida. No tenemos que lamentar desgracia alguna: los edificios han soportado este sacudimiento sin graves averías. -Sintieramos que en algún otro punto de la Isla o fuera de ella, haya causado algunos estragos porque la fuerza de este temblor hace sospechar que tenga su origen en otro punto (Anon., 1875c).

Terremoto. A las una y media de la madrugada del día 9 del corriente se experimentó un fuerte y bastante prolongado temblor de tierra que hizo lanzarse de sus casas a las calles a gran parte de los habitantes de esta Ciudad [San Juan], afortunadamente no causó daño alguno de importancia en los edificios ni hay que lamentar ninguna desgracia personal (Anon., 1875d).

La iglesia de Vega Baja ha padecido muy poco a consecuencia del movimiento de tierra y reparada consecuentemente y prontamente podrá estar en perfecto estado de seguridad.

No sucede lo mismo con las iglesias de Manatí y Arecibo. En la primera ha quedado muy resentida la torre que de muy antigua tiene en su fachada posterior y han sufrido más o menos algunos de sus muros principales. Sin embargo de esto, en estado... siempre su acontecimiento extraordinario no ofrece un peligro inmediato si se acude prontamente a remediarlo, debiendo proceder a efectuar inmediatamente en reparación completa, antes que la permanencia de sus desperfectos o las degradaciones que puedan producir las lluvias, empeoren en estado y se haga más difícil en remediarlo.

La iglesia de Arecibo es la que a juzgar por sus efectos ha experimentado con más violencia el sacudimiento de la tierra que ha desplomado, pondeado y agrietado parte de sus muros y abierto la mayor parte en las bóvedas por las juntas de las claves ó por las de los rincones. Su estado actual ofrece por lo tanto extraordinario gravedad y aunque no sea imposible de remedar exagera una urgente reparación, difícil y costosa. No es este el lugar de entrar en detalles sobre los desperfectos ocurridos su cada cuya de sus partes... (López, 1875).

Cordova (1968) reports that in 1875, without specifying the date that:

tuvo lugar uno de bastante duración y violencia para agrietar las bóvedas y los muros de las iglesias en varios pueblos de la isla, dejándolas en estado ruinoso; para abrir grietas en muros de edificios públicos y casas particulares y derribar sólidas chimeneas de ladrillos en algunas haciendas de canas. No hubo perdidas de vida.

Neumann (1913) reports “Aún recordamos el fuerte temblor de tierra que se sintió en Ponce la noche del 8 de diciembre de 1875, que fue de trepidación y algo prolongado, que hechó abajo algunas chinemeas de los ingenios de la jurisdicción”.

Rockwood (1876), Reid (1911). Intensities Arecibo VII “On the night of the 8th and 9th an earthquake occurred in Porto Rico by which the town of Arecibo was almost entirely destroyed. Two churches and only six houses remaining” (Rockwood, 1876).

Campbell reports: Severe at Arecibo, VII-VIII. A report reads “Only two churches and six houses remaining “. Since Arecibo never had but two churches, this account is an exaggeration. A more correct report is that one church was so badly damaged the dome had to be taken down. Some high structures badly damaged. Elsewhere, there was little or no damage but the shock was reported strong (Reid and Taber, 1919) A strong earthquake was felt in Ponce. Tremors were prolonged which threw down some chimneys at sugar mills (Neumann, 1913). The Island experienced another strong earthquake (Coll y Toste). Another strong earthquake shook Arecibo. Did

much damage to the church and the priests' quarters (Limon, 1938). Arecibo VII-VIII. Church badly damaged. Little damage elsewhere. Must have been on the Island and quite deep, 50-100 kms (Campbell, 1972).

Commentary: Neumann's report of event being felt and causing damage in Ponce has not yet been verified by first hand reports. Other reports suggest source north of western part of the island.

1876, January 7th 0400 0430 0433

Location: St. Thomas

Data: Three shocks of earthquake were experienced here yesterday morning. The first at about 4 o'clock; the second at about half past 4, which was very severe; and the last about 3 minutes later (Anon., 1876). St. Thomas. Second shock at 0430, very severe, VI (Reid and Taber, 1919)

1878, July 12th

Location: St. Thomas

Data: Severe V-VI (Reid and Taber, 1919)

Commentary: No reference in the *St. Thomas Tidende* for the period July 11th to July 28th of 1878 and hence probably an error. St. Thomas, Severe V-VI (Reid and Taber, 1919). Non-existent event, should be noted as such in further catalogs.

1879, May 25th

Location: Puerto Rico, St. Croix and Tortola

Data: A severe shock was felt in Bermuda at same time (Reid and Taber, 1919, citing Rockwood, 1880)

Commentary: Not mentioned in either the *St. Thomas Tidende* (May 25th/June 4th1879) nor the *St. Croix Dansk Vestindisk Regieringle Avis* (May 25th/June 7th) hence for the Virgin Islands probably an error. Needs confirmation from a primary source and thus needs confirmation from eyewitness accounts for Puerto Rico. Event is suspect.

1880, August 21st

Location: Isabela, Arecibo, Puerto Rico

Data: "...La iglesia [of Isabela] había sufrido notablemente a consecuencia de dicho temblor... [damage due to] los temblores que hace años los pusieron en ese estado... la continuación de los temblores que se han sentido en esta con especialidad en de hoy hecho que referido pilar se encuentre un estado por la rajaduras que se le han ocasionado compose sostener la carga de la torre la cual coro... las diferentes grietas que se advierten..." (Anon., 1880a). Church in Arecibo damaged by earthquake on August 21st, 1880 earthquake, repairs to be complete in the years 1884 (Marvel and Moreno, 1984, citing Anon., 1880b, 1884).

1882, March

Location: Ponce

Data: "Quizás debido a corrientes sísmicas cuyo origen no se determinó, allá en días de Marzo de 1882 el mar se retiró por dos ó tres veces en la rada de Ponce, más de diez metros de su nivel común en las orillas" Neumann (1913).

Commentary: Tsunami? observed in Ponce caused, apparently, by a distant earthquake.

1883, February 19th 1900

Location: NW of Puerto Rico

Data: Ship Siddartha reported a sharp earthquake in the Mona Passage. Ship trembled as if dragging over a hard bottom but found no soundings at 30 fathoms. The ship's position was 20°04' N and 67° 45' W (Reid and Taber, 1919).

1883, September 2nd

Location: San Juan, Puerto Rico

Data: "...Temblor de Tierra. Parece que se sintió uno muy ligero ante noche en este ciudad..." (Anon., 1883)

1886, September 19th 0314

Location: St. Thomas

Data: St. Thomas, Sharp Shocks (Tomblin and Robson, 1977; citing Barbados Globe 1886.9.20)

Commentary: Event in Virgin Islands or Jamaica?

1886, October 20th**Location:** North of Anegada**Data:** Ship *Wilhelmina* at 19°21'N and 64°22'W felt an earthquake accompanied by noise like distant thunder. It seemed like the ship was running over rocks, though water depth was more than 2,000 fathoms (Reid and Taber, 1919).**1888 January 4th 0555****Location:** St. Thomas**Data:** Tomblin and Robson, (1977): St. Thomas (V). A sharp shock of earthquake. Barbados Globe, 1.5.1388**Commentary:** Event in Virgin Islands or Jamaica?**1888 May 21st****Location:** St. Thomas**Data:** Tomblin and Robson, (1977): St. Thomas (IV). About midnight a rather strong shock Barbados Globe, 28.11.1889**Commentary:** Event in Virgin Islands or Jamaica?**1889 November 27th****Location:** St. Thomas**Data:** Tomblin and Robson, (1977): St. Thomas (V). A sharp shock of earthquake. Barbados Herald, 28.11.1889**Commentary:** Event in Virgin Islands or Jamaica?**1890, August 15th about 0150****Location:** Juana Díaz, Ponce, Adjuntas, Arecibo, Aguadilla, Barros, Dorada, Isabela, Las Marías, Toa-Alta, Yabucoa, Yauco, Caguas, Puerto Rico**Description:** Telegraphed reports from town mayors to governor in San Juan. All from Anon. (1890). "Juana Díaz: Anoche a la una y media de la madrugada se sintió un fuerte movimiento oscilatorio de la tierra de duración de treinta y cinco segundos. Único desperfecto conocido un ligero agrietamiento en la clave puerta por un apal [*sic*] yglesia que reconocido no ofrece peligro de ninguna manera. Despacho telegráfico, 15 Agosto 1890, 10:35.

Ponce: dos de esta madrugada se sintió un temblor de duración 8 a 10 segundos. Alcalde cárcel... participa que grietas de la misma se han agrandado. Los demás edificios públicos y particulares no han sufrido desperfecto alguno. Despacho telegráfico, 15 Agosto 1890, 19:30.

Adjuntas: ...dos madrugada se ha sentido fuerte temblor de tierra calculada su duración 25 segundos. Ninguna desgracia que lamentar.

Arecibo: a las dos menos cinco minutos sentido en esta villa un fuerte y prolongado temblor de tierra, el sacudimiento hizo hacer sonar los campanas y iglesias y salvamento naufragos.

Aguadilla. Habiéndose sentido a las dos menos ocho minutos de la madrugada de hoy, un fuerte temblor de tierra de oscilación, tengo la... no ha originado desperfecto alguno en los edificios públicos ni particulares.

Municipal de Barros. Tengo el honor de manifestar a Ud. que a las dos de la madrugada de hoy, se sintió un temblor de tierra algo intenso que empezó de oscilación y concluyó de trepidación.

Dorado. A la una y media de la mañana del día de hoy se ha sentido en este pueblo un prolongado y fuerte temblor de tierra con movimientos de trepidación y oscilación de Norte a Sur acompañado de un ruido subterráneo bastante sensible. En los edificios de mampostería de este pueblo no ha ocurrido no vedar alguna digna de mencionar lo mismo de en los de los campos.

Isabela....Dos menos diez, y ocho minutos de la madrugada de hoy se ha sentido en esta localidad durante 65 segundos un pronunciado temblor de tierra que dió principio con un movimiento de trepidación que a los pocos segundos y con ruidos subterráneos se convirtió en a oscilatorio de Oeste a Este sin que afortunadamente haya habido que lamentar perdida en las personas ni en las casas...

Las Marías. A las dos menos cuarto de la Madrugada del día de hoy se dejó sentir en esta población un fuerte temblor de tierra de bastante duración y cual se repitió dos veces más en el intervalo de 15 minutos... Ni los edificios públicos ni los particulares han sufrido desperfecto alguno...

Toa Alta... A las dos de la madrugada de hoy, se sintió en este pueblo, un fuerte y prolongado temblor de tierra, sin que ocasionara pérdidas ni desgracias personales...

Yabucoa. Como a las dos de la mañana de hoy, se sintió en esta localidad un terremoto de alguna duración pero no de gran fuerza. Hasta ahora no se tiene noticia de que haya causado desperfecto en ningún edificio.

Yauco. En la madrugada de este día y hora de las dos, se ha sentido en esta población un fuerte temblor de tierra de oscilación y trepidación que duró unos quince segundos. Felizmente no ocasionó más novedad que el terror de las personas que la sintieron.

Caguas 1:30 AM 35 sec. Slight damage.

Commentary: Strong event, widely felt, but no significant damage.

1892, February 22nd**Location:** St. Thomas (V)**Data:** In the morning. A sharp shock. Barbados Herald, 25.2.1892**1895, Marzo 19th****Location:** Arecibo, Puerto Rico**Data:** An earthquake occurred in Arecibo (Limon, 1938)**1896, August 2nd just after 0400****Location:** St. Thomas**Data:** Tomblin and Robson (1977): St. Thomas (V) A few minutes after 0400, a sharp shock of earthquake. Barbados Advocate 4.8.1896, Jamaica Post 4.8.1896.**Commentary:** May refer to St. Thomas parish in Jamaica.**1898, Marzo 20th 0805****Location:** Las Marías, San Juan, Puerto Rico**Data:** “Relativo a los desperfectos causados en la iglesia y casa escuela del pueblo de Las Marías por un temblor de tierra” (Anon., 1898a).

A las ocho y cinco minutos de la mañana de hoy se ha sentido en esta capital [San Juan] un ligero temblor de tierra que duró pocos segundos, creyendose que haya sido general en toda la Isla juzgar por las noticias telegráficas recibidos (Anon., 1898b).

Commentary: No manuscript just title page, without date of event (just month of manuscript) for Anon. (1898a).**1899, January 1st 1530****Location:** Vieques, Puerto Rico**Data:** Duration 4 seconds (Reid and Taber, 1919)

1899, March 22nd**Location:** San Juan, Puerto Rico**Data:** San Juan felt (Reid and Taber, 1919).***1899, July 6th*****Location:** Isabela, Puerto Rico**Data:** Felt at Isabela (Campbell, 1972 citing local weather bulletin)***1899, July 10th*****Location:** Lajas, Yauco, La Isolina, Utuado, Ponce, Puerto Rico**Data:** Lajas. Strong V. Yauco also felt two shocks. Another shock at 0200 on July 11th (Reid and Taber, 1919). Felt at Yauco, La Isolina, Lajas, Utuado, and Ponce (Campbell, 1972 citing local weather bulletin).***1899, August 8th and 9th 1115-1200, 0130*****Location:** Cidra, Manatí, Puerto Rico**Data:** Cidra, two shocks (Reid and Taber, 1919). Felt at Cidra on August 8th. First August 9th shock felt at Manatí (Campbell, 1972 citing local weather bulletin). At 0130 August 9th shock felt at Manatí, Cidra (Campbell, 1972 citing local weather bulletin).***1899, August 13th*****Location:** Isabela, Puerto Rico**Data:** Isabela evening, (Reid and Taber, 1919)***1899, September 4th 2245*****Location:** La Isolina, Puerto Rico**Data:** La Isolina. (Reid and Taber, 1919). Movement from west to east, lasting a few seconds (Campbell, 1972 citing local weather bulletin). 1899 September 4th 2245. La Isolina.***1899, September 26th*****Location:** Canóvanas, Puerto Rico

Data: Felt at Canóvanas (Campbell, 1972 citing local weather bulletin)

1899, December 7th and 27th ?, 1621

Location: Isabela, Coloso, Puerto Rico

Data: December 7th at Isabela. December 27th at Coloso at 1621 (Reid and Taber, 1919)

Appendix II

Catalog of Significant Earthquakes for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands 1900-1943

1906, September 27th 1047

Location: San Juan, Caguas, Santurce, Yabucoa, Arecibo, Mayagüez, Arecibo, Ponce, Río Piedras, Isabela, Manatí, Juana Díaz, Moca, Hatillo, Fajardo, Coamo, Humacao, Guayama, Añasco, Río Grande, Carolina, Toa Alta, Vega Baja, Trujillo Alto, Bayamón, Ciales, Cayey Puerto Rico; Saint Thomas, Santa Cruz; Santo Domingo, Santiago de los Caballeros, Dominican Republic; Isla de Cuba (Santiago); Isla Margarita; Florida

Data: “A sharp earthquake shock occurred at 10:47:30 A.M. the 27th; increased in force until 10:47:35; continued for an interval with irregular, diminished force; increased rapidly to a maximum at 10:47:55. A slight movement was distinguished for 25 seconds after the maximum reached at 10:47:55. The vibrations were short and sharp, with an apparent general wave movement from east to west. The accompanying sound, as heard in the Weather Bureau Office, was as if a heavy piece of furniture were being dragged across the floor.

There were no premonitory signs. The water of the bay was slightly agitated; no accompanying wave. The walls and ceilings of some buildings were cracked but no material damage was done.” (Thompson, 1906).

El Temblor de Tierra. A las 11 menos 17 mts. de la mañana [San Juan] de hoy se han sentido dos fuertes temblores de tierra, que han durado cerca de medio minuto., mediando entre ellos una ligera intermitencia... Afortunadamente no ha habido que lamentar desgracias personales, ni deterioros de consideración en los edificios: pequeños desconchados en algunos y una grieta en un muro del Ayuntamiento, en este edificio se apuntalaron las puertas... En el edificio de la Audiencia, cayeron frente a la Sala de lo criminal pequeños desconchados.

Tenemos entendido, según se dice, que se ha agrietado una pared de la Iglesia de Santana, y en la Colectiva han habido su desperfectos, la misma que en la arquería del edificio del Banco Español; Hotel Inglaterra, Intendencia, etc., etc... De Obras Públicas no hemos podido obtener datos, porque el descuido y abandono del sismógrafo le han hecho inservible para la presente ocasión (Anon., 1906a).

Los Temblores en Caguas, Septiembre 27 1906. Hoy, diez y media de la mañana, se produjo un terrible temblor de tierra que duró veinte segundos (Martínez, 1906).

La escalera de la Escuela de Caridad de niños de Santurce se ha agrietado con motivo del temblor de tierra que se sintió esta mañana. En la oficina telegráfica de la Policía Insular se han recibido informes de varios pueblos de la Isla, referentes a haberse sentido con gran intensidad en casi todos dichos pueblos el temblor de tierra de esta mañana, habiéndose agrietado las paredes de la casa escuela de Yabucoa. En Arecibo se sintió fuerte y prolongado el temblor” (Anon., 1906b).

El Temblor de Ayer. En Mayagüez. El periódico “Unión Obrera” recibido hoy trae los siguientes informes: “A las 10.45 minutos se produjo una oscilación sísmica en la ciudad de Mayagüez que duró más de 20 segundos... El temblor es uno de los más poderosos que han sentido las personas más ancianas de Mayagüez. Daños causados en Arecibo por el temblor de Ayer. La Iglesia Católica, la casa que ocupaba la Corte de Distrito, las escuelas Jefferson, Baldorioty, y Lincoln, la casa de don Agustín Collazo, la de la sucesión Balseiro Juliá, la del señor Coll y Cuchí y otras más han sido agrietadas. En el establecimiento de Botellerías de don Francisco Sanchez cayeron muchas botellas de los escaparates, igual sucedió en la tienda de don Corpus Gomez, que perdió tres docenas de botellas de diferentes licores. Muchos edificios más han sido averiados. Casi todos los edificios escolares han sido agrietados, las escuelas Baldorioty, Lincoln, Jefferson han sufrido pequeños desperfectos...

Efectos del temblor en Ponce (del Águila). Con motivo del temblor de tierra que hoy a las 10.40 A. M. se ha sentido en esta ciudad, agrietáronse las paredes de los edificios escolares de la calle Mendez Vigo y las Grammar School de la calle del Comercio, la casa... vive... Sergio Bernier y también se han notado grietas en las paredes de la Plaza del Mercado.

Uno de los arcos correspondientes al Departamento Sur del Asilo de niños de Santurce, ha sufrido importantes averías con motivo del temblor de tierra de ayer.

También el edificio que ocupan en Río Piedras “los niños desamparados” ha sufrido considerables desperfectos, al extremo que han tenido los asilados que abandonar la parte alta de dicho edificio.

El cabo López, del puesto de policía de Isabela, telegráfico ayer tarde a 4 y 34 minutos, que con motivo del temblor de tierra, el bracero Pedro Gandía, que trabajaba en la trinchera de la Compañía del Ferrocarril al huir desplomóse una piedra que hirióle gravemente en la cabeza, además de ocasionarle una fuerte contusión en la espalda y otras, leves (Anon., 1906c).

El temblor de ayer (del Águila de Ponce)... Al sentirse el primer temblor... pero al sentir la segunda conmoción que fue mucho más fuerte que la primera, casi todo el pueblo se lanzó a la calle... Los alambres del teléfono, los cables del alumbrado eléctrico y de los “trolleys” se movían rápidamente.

Edificios agrietados [further details on damage, in part repeats details given previous day].

La Conmoción Terrestre de Ayer (del “Pueblo” de Arecibo): “Ayer poco después de las 10 A.M. sintióse un fuerte temblor de tierra en toda la ciudad. La afirmación general de los entrados en regular edad es que muy pocos se han sentido en Arecibo como el que relatamos [very different in Ponce and San Juan] [follow with details of damage caused by earthquake].

Editorial. A few moments after the seismic phenomenon was felt in San Juan, the general feeling of dismay and stupor was intensified by the incredible report that the magnificent seismograph which had existed in San Juan during the former sovereignty had been stored away as useless lumber, thanks to the wisdom of our tutors...

El terremoto en Manatí. Septiembre 28 de 1906. Pánico horrible... algunos edificios de mampostería fueron ligeramente agrietados (Anon., 1906d).

Sobre el temblor del día 27, dice "El Águila", de ayer: "Los puentes tendidos en la carretera que une a Ponce y Juana Díaz, han sufrido desperfectos por consecuencia del temblor del viernes pasado... (Anon., 1906e).

Notas de Moca. Acaba de sentirse en este pueblo un temblor de tierra que ha producido un pánico extraordinario... en verdad, que nunca habíamos sentido un fenómeno sísmico tan fuerte y prolongado... (Anon., 1906f).

Desde Arecibo. Ayer sintióse entre 10.20 y 10.30 una fuerte conmoción sísmica... calculándose su duración 5 segundos.

Entre los daños que ha causado dicha conmoción... la iglesia católica, coté "La Mallorquina", casa del abogado Coll, las escuelas Lincoln, Baldorioty y Jefferson, etc.

Unos marinos que recorrían la bahía pescando, notaron un movimiento extraño en las aguas del mar (Anon., 1906g).

Desde Hatillo. El fenómeno sísmico... con motivo de mencionado movimiento de oscilación, la iglesia romanista quedó con algunas grietas y la infeliz Rita López se impresionó de tal modo, que tuvo un parto prematuro (Anon., 1906h).

More details of damage to buildings in San Juan. Refers to Weather Bureau for further detail [Bureau de Tiempo]. Also notes Impresiones y Noticias. "...se nos asegura que ayer, durante el terremoto, el mar estuvo muy violento, estrellándose con furia sobre el viaducto de la Puerta de San Juan. Durante el fenómeno, un gran ruido subterráneo se sintió en la ciudad, que produjo la mayor alarma... Copy of seismogram for earthquake on front page. Varios telegramas del terremoto en la Isla.

Fajardo, Septiembre 27. En este momento, días de la mañana, conmoción sísmica. Iglesia de mampostería agrietada. Algunos aleros de casas viejas desplomadas con estruendo...

Coamo, Septiembre 27. Terremoto bastante fuerte 10 y 43 minutos. Gente alarmada. Muchos desperfectos.

Río Piedras, Septiembre 27. Terremoto a las once menos cuarto. Muchas casas agrietadas. Incluso la del municipio, que sufrió algunas averías.

Caguas, Septiembre 27. En estos momentos se ha sentido en esta ciudad un fuertísimo temblor de tierra, ocasionando alarma en la población. Varias casas de mampostería han tenido averías y muebles han sufrido desperfectos al caer al suelo.

Humacao, Septiembre 27. Se ha sentido fuerte conmoción, produciéndose la constante alarma. La iglesia católica sufrió ligeros desperfectos.

Guayama, Septiembre 27. A las diez y cincuenta se sintió fuerte temblor de tierra. ...La iglesia protestante resultó con las paredes agrietadas.

Añasco, Septiembre 27. Temblor de tierra ocurrido en la mañana de hoy, hizo daño en edificios..., ayuntamiento, central telefónica y correos.

Isabela, Septiembre 27. Temblor de tierra hoy, causado grandes grietas en la Iglesia Católica, ayuntamiento...

Los telegramas que recibimos... de Coamo, Arecibo, Aguadilla, Mayagüez, Río Grande y Carolina informan... solamente en varios edificios hubo pequeños desperfectos (Anon., 1906i).

Desde Carolina. Septiembre 27. Como a las once menos cuarto de la mañana de hoy, sintióse aquí un fuerte sacudimiento de la tierra, durando 20 segundos.

...Con motivo del temblor de tierra acaesido, se derrumbó una parte de un edificio que existió en estado de ruinas, en la antigua hacienda...

Iglesia de Río Piedras. Nos informan de Río Piedras que el terremoto de anteayer causó grandes desperfectos en la torre y columnas del templo de la iglesia católica de aquella población, dejándola en estado ruinoso.

Más de Ponce. [eyewitness accounts of earthquake] (Anon., 1906j).

Desde Toa-Alta....Con motivo del terremoto, en la campana del reloj de la casa alcaldía se oían aquí toques como si una mano la hiciera sonar tanto, ese edificio como si que sirve para el culto católico, han sufrido grietas de alguna consideración, por diferentes partes, ofreciendo peligros en el caso de que el fenómeno se repita. Corresponsal.

Desde Aguadilla....con motivo del fenómeno sísmico algunas casas y edificios de la población se han agrietado. Mario Morales (Anon., 1906k).

El temblor en Vega Baja. Septiembre 27... a las 10.40 de la mañana se sintió un fuerte temblor acompañado de un ruido subterráneo, repitiendo como a los 5 minutos con más fuerza y propagación de ruido... Sufrieron desperfectos varias casas...

El temblor en Trujillo Alto. Septiembre 28. A las once menos veinte minutos hizo un temblor de tierra, que no podemos precisar su duración; pero sí que ha sido el más fuerte de los que hemos sentido....Los niños de las escuelas abandonaron los salones á causa de una grieta en la pared del centro de edificio...

Noticias circuladas anoche informaban que el fenómeno se había sentido con gran intensidad en Saint Thomas, Santa Cruz, Isla de Cuba (en Santiago de Cuba con más fuerza) y otras islas... desde Margarita hasta la Florida.

Informase que hace tres noches hubo un pequeño movimiento sísmico, notado por algunas personas de esta ciudad.

Créese, que la duración del primer periodo del temblor, el de oscilación, fue de cinco segundos y medio; la del segundo, trepidación, de cuatro y medio.

...La fábrica de tabacos de Bayamón, se informa que presenta grietas. Los tabaqueros se arrojaron fuera del edificio seguidamente de sentir el fenómeno.

El temblor en Bayamón. Septiembre 26. -A las 11 menos cuarto A. M. se sintió en esta ciudad un terrible temblor de tierra... En la fábrica de tabacos... los edificios moverse como una hamaca...

La iglesia católica ha sufrido bastante, así como se ha agrietado el edificio de la escuelas públicas (Anon., 1906l).

En Ciales una chimenea fue derivada por el temblor. El miércoles á las once menos cuarto de la mañana, sintióse en esta población un fuerte temblor de tierra, cuyas trepidaciones duraron próximamente diez ó quince segundos.

Entre los desperfectos causados... el derrumbe de una chimenea... y el agrietado de las paredes... (Anon., 1906m).

Una desgracia ocurrió en Cayey el día del temblor....Varias casas de mampostería se agrietaron entre ellas el colegio. No hubo otra desgracia personal que la de una mujer que se arrojó desde una de las ventanas de la "colectiva" estando próxima a dar a luz. Su estado es grave" (Anon., 1906n).

Esta mañana [in Santiago de los Caballeros Dominican Republic] a eso de las 10 y cuarto se sintió un fuerte temblor de tierra" (Anon., 1906o).

Cordova (1968) reports that: "tuvo lugar uno violento que afortunadamente solo abrió en algún lugar alguna vieja herida no bien restañada todavía".

Campbell (1972) says:

The shock was felt from Santo Domingo to St. Thomas, a distance of 500 kms; and probably still further east. It was strong all over Puerto Rico, not less than V in any part of the Island. At San Juan, objects were overturned and people were frightened. Duration 50 sec., rising gradually to a maximum then diminishing. Reports were received from many towns but without details. The seismograph at Vieques made a good record. It indicated a distance of about 140 kms to origin, in a NW-SE line. Origin believed to be about 50 kms north of Puerto Rico about opposite the middle or a bit further west; about 19° N and 66 1/2° W. No sea wave. The reported damages were widespread; about 19 Puerto Rico communities reported intensities varying from V to VII. A more complete detailed account is in the Reid and Taber (1919). Puerto Rico V. At about 10:15 a severe and prolonged shock (Robson, 1964). A heavy double shock earthquake was felt throughout the Island. The earthquake became noticeable at 10:47:30 AM, increased rapidly in intensity with short sharp vibrations. There was an apparent east to west direction, reaching a maximum at 10:47:35 AM, after which the energy seemed to decrease somewhat for about 10 sec., and then again increased reaching the greatest energy at 10:47:55 AM. The vibrations then rapidly decreased in intensity but continued perceptible until about 10:48:20 AM. The walls of some buildings were cracked; some clocks stopped and great confusion among people resulted but no material damage was done. At least V in all parts of the Island. Caguas, VI-VII. Río Riedras, VI-VII. Cayey, V. San Juan, VII. Bayamón VI-VII. Origin 50 miles north of Puerto Rico.

Commentary: Strong earthquake felt throughout the island. Minor cracking in buildings in several towns. No report of major damage.

1918, October 11th 1014

Location: NW Puerto Rico

Data: The following reports were sent by telegrams to the government in San Juan by the local mayors. Data all come from (Anon., 1918a)

Juana Díaz- Edificio donde esta la oficina (de la Alcaldía) con grandes desperfectos.

Carretera Las Marías- Km 18 obstruyese derrumbes ayer tarde, movimiento sísmico no ha terminado.

Manatí Obras metálicas, mataplatanos, Cialitos, Morovis y Vega sin novedad.

Mayagüez- 10/25/1918, La alcantarilla de km 3.5 ramal de Cabo Rojo sufrió caída de parte del arco y un pretíl y se le hizo una nueva grieta. El puente sobre el Caño Corazón carretera a la correccional... fué deslocada. Las Vegas km 17.9 se hizo una grieta vertical a un muro de alcantarilla. Añasco-Mayagüez km 35.3 se abrieron nuevamente grietas antiguas que habían sido reparados en una obra de ladrillo y piedra. Mayagüez-Las Marías km 2.9 el muro de alcantarilla...grieta vertical, km 21.3 tubo roto. Derrumbes se repitieron en todas las carreteras aumentando el su total en unos 600 (ms?). Derrumbes difíciles a entrar en carreteras #13 y 14... en Las Vegas quedan pocas, Sacudida del 23 por la noche hizo nuevos escombros.

Sección Cataño-Bayamón Casilla residencia del capatár Higinio Soler km 4+8 tiene grietas de consideración en los marcos de las puertas y ventanas. Puente deno-

minado Valdés km 6+8 tiene en el estribo de la parte hacia Cataño grietas bastante consideración.

Sección Santurce-Bayamón Puente de Báscula Km 1+637 sufrió en el estribo de la parte hacia Santurce una grieta de consideración que ha hecho retroceder la mitad del estribo hacia el mar como 1/2". Puente km 9+6 sufrió grietas. Puente de mampos-tería km 11+950 grieta sería en centro de bóveda.

Sección Bayamón- La Carmen Casilla residencia sobresante km 13+030 sufrió grietas de consideración residencia de camionero Emiliano Garcia km19+240 también sufrió grietas de consideración

Sección Bayamón-Comerío Puente km2+800 estribo hacia Bayamón grietas muy serias. Puente La Plata Km 14+3 tiene grietas en alteas

Yabucoa- 10/25/1918 Movimiento Sísmico de anoche no ha causado ningún daño puentes en construcción

10/25/1918- Pueblos costa norte hasta Isabela al parecer no han sufrido gran cosa. Aquella en Aguadilla nuevos daños de importancia edificios particulares... Familias abandonan la población hacia los campos. Las noticias Mayagüez son muy contradictorias. Se opina ha sufrido mucho más.

10/29/1918- Inspeccionados- hoy nuevamente puentes Guayabo, Santi, Ponce demuestran grietas verticales hacia aguas raíz Loza. Puente Guayabo a más grieta sobre pita del medio. Solicito inspección de Aguadilla a Depto. de Interior.

11/4/1918 Mayagüez- Fuerte avenida Río Yagüez arrastró tramo atravesado en su cause. Suponemos lo haya doblado por el centro estar cortados casi todos los remaches. Caudal aguas impide precisar exactamente daños si los hay.

11/5/1918 Suben Río Manatí, Ríos Inabon, Jacaguas, descabrado, y Santa Isabel.. Fuerte Avenida.. Utuado-Adjuntas lluvia torrencial Mayagüez, agua en Carr. #2 Km 2+300 Quebrada Grande, Sabalos.

11/5/1918 Cayey Km 61-68 Derrumbes.

11/6/1918 Tallaboa, Peñuelas, Ponce derrumbes.

11/13/1918 Terremoto ayer causó nuevos daños Mayagüez Chalet sobrestante se desplomó más obrase Mayagüez, San Germán, y Monte Grande bien Ramal Cabo Rojo km 3X950 alcantarilla roto.

The houses destroyed in this town (Aguadilla) were mostly located on the seashore in barrios "Higüey" and "Pueblo Nuevo" at the southern end of Progreso St. between this, and the sea", "A considerable number of dwellings were destroyed at a place named "Bajura de Vadé" in Barrio "Maleza Alta".

Mayagüez- "...Mayagüez se encuentra 25% destruido 25% seriamente averiado y el resto esta en buenas condiciones. Muchas casas pequeñas en la playa destruidas y averiadas por el agua." "Después de telegrama último Alcalde aparecieron dos muertos más siendo el total de estos 38 (Anon., 1918b).

The following are entries in the daily diary of the Redentorist Fathers; (?) indicates unintelligible text:

Mayaguez, October 26th, 1918- Today I will try to set down the awful occurrences that happened in Mayagüez this awful fortnight. As far as possible I will try to narrate them in the order of their occurrence. The earthquake. Friday October 11th. St. Fermín's day at 10:15 in the morning Mayagüez suffered a terrible earthquake. It is sim-

ply impossible to give an adequate idea of this terrible (earthquake) visitation. The noise was terrifying. It began with an oscillating movement and ended with a trepidation. Everyone ran to the street. A cloud of dust covered the city. People running wild-eyed with blanched?... Many hysterical. The fathers at once went to the schools, to the hospitals, the asylum, the playa school. Ruins covered the streets everywhere. By a miracle God's goodness, all our children, over 1500, were saved. All the sisters lives spared. All the fathers and brothers spared. Only Sister Ferboyn had a bad fall down the stone steps of the patio. She herself says she was hurt by the terrible strain trying to save the children as they went down those stairs which jumped and shook like crazy. No bones were broken, but she suffered a severe strain.

Tidal wave- The next scare and perhaps the most terrifying event of the morning was the cry "ya se viene el mar" A tidal wave is coming. Automobiles, wagons, cars, crowded going toward the city at full speed. "El mar, el mar, ya se viene el mar" [the sea is coming to cover us]. Hundreds of terrified men and women, the whole population of the playa, going as fast as they could to reach the Plaza de Colon. From there they went to the cuesta de Salud [how well named] and the mesa [the highland overlooking the city]. This exodus of tired terror stricken Mayagüez was horrifying. ...?.. there was reason for fearing. Mr. De Pass, the postmaster, told me the other day that after the earthquake everyone at once had to leave the town post office and no one could enter anymore because the place was ruined. Mr. De Pass at once went to the playa post office to close the safe and stow away or save the valuables. Suddenly he noticed the people were running out in the street. He rushed out, heard the cry "El mar, el mar" [the sea, the sea] and went as fast as possible to get his auto near the Aduana [Custom House]. By the time he got there the water was a foot deep. He cranked his auto, but just as he started to jump in a 5 foot wave covered him. A small yacht shot past him. A ford car encased in a packing case was carried along in the waters. One of the ?Bianchi? big trucks was carried across the street. The water went as far as the playa church. So there was good reason for fear.

Now the disaster that overtook the Habanera [the big cigar factory] in the first earthquake became known. That big building filled with hundreds of men and women making cigars crumbled like a cardboard box dealing death and destruction crushing the lives out of many. Another scene of disaster was the Playa Public School whose thick cement columns crumpled like pieces of chalk. They say that 8 children a teacher and a janitor were killed. There are no safe rules to be followed in earthquakes. The reverend Father who went through this building an hour after the earthquake found some rooms intact. Others with the ceiling fallen. Had the teachers remained in the building she would have been saved. She was killed by the falling cornices. On the other hand, many of the children were killed by the ceiling falling on them. One teacher José Velez saved many by an act of heroism when he saw the ceiling falling he bent over caught the weight of the metallic ceiling on his shoulders and this allowed the children to escape under him. [Explosion and Fire in college of agriculture station] All the while big black smoke arose from the burning building of the agriculture college [the college of mechanical arts] the earthquake has caused an explosion and fire resulting in a total loss \$40,000 with many valuable instruments (experiments?) which cannot be replaced when lost.

Short summary of losses in the church. The church towers are cracked, ruined. St. Vincent school a ruin. Candelaria sisters convent total loss. Playa school ruined en-

tirely. (Siervas?) al Mariás convent total loss. Hospital in ruins. Spanish colegio unsafe. Whole plaza de colon ruined. Balboa, a district near the bridge a mass of ruins. Many houses on Mendez Vigo ruined. Ruins in the Playa. 735 houses in ruins in Mayagüez [according to Correspondencia of October 24th]. Every house that was built of masonry is ruined. Every brick house is ruined. Only first class buildings of reinforced cement stood the test. Combination iron and cement structures, like the market place, also in tact. Our house new and compact, is the wonder of the town. Not a crack in the construction.

Relief work began at once. At noon when the sisters had come back from the mesa and the tidal wave scare was over. Reverend offered their house as a shelter to the sisters. They did not want to accept (So some of ?) brought coffee and crackers to the plaza. The sisters gave most of this at once to the poor. Then it began to rain, so the sisters were forced to accept our offer, but all stayed on the kitchen floor everyone was terrified. We sat down to a little soup and coffee but no one could do much. In the course of the afternoon when it became known how great was the ruin the fathers offered the house for whatever use it could be put to. Toward evening it was published that the home guard and (Firemen?) would help to guard the city. We invited all in the service of the city to come at any time they might for soup and coffee an offer which was gratefully accepted and made use of. The city was in complete darkness. We had a lantern at our Mendez Virgo Street (?) and all night long they came to refresh themselves at the Redentorist house. It was really a blessing for ourselves and for the sisters. It kept us busy and occupied because all night the shocks continued. We used up all the coffee we had on hand and our? and? Then one of? the sisters gave all the candles? with it. Spanish sisters toasted us some ? We took in all the Spanish sisters who wanted to come. We had also invited the (Siervas?) de Maria, who visit the sick in their houses, whose house was entirely unsafe and afterwards destroyed but they did not dare to leave the little shed in which they? in a little out house of the kitchen as they did not dare pass through their house in the dark when at any moment another earthquake might bury them in the ruins...

All night long there were constant tremors and we were kept in constant fear. But at half past four came a big shock which frightened everyone and drove us all in fear and trembling waiting for the morning. It was a dreadful two hours...

Meanwhile the work of helping the injured and the government of the city suffered a kind of paralysis. The provisional mayor lost his own house and besides did not measure up to the situation. Mr. De Pass as post master and major of the home guards took charge of things. It seems the authorities in San Juan and military only found out as it were by chance and then did not visualize the extent of the catastrophe...

The Presbyterian church, having a central location had been taken over as headquarters by Colonel Stanton who arrived from San Juan... All communications with San Juan had been cut off so it was impossible to tell Rector there how serious the situation was. Nobody in San Juan realized the extent of the catastrophe. On Saturday morning we managed to send off a cable... We all settled down to a kind of routine in the house - the wounded some 40 or so number occupied the chapel floor... only one of the patients died.

The routine was punctuated at times by an extra violent earthquake. I say extra violent because I believe the earth has not been wholly quiet since the first shock.

Thus we had one on Saturday October 12th at 4:30 am, another ?? several on Sunday night. Others on Monday night made us all nervous. A big one the following Friday or Saturday and a tremendous one almost as bad as the first on Thursday or Friday. It did lots of damage knocked down some walls, cracked more houses and made more walls unsafe and took away all confidence from most of the people. We see that the disaster was partly known in the states as early as October 14th a fairly accurate account appearing in the Boston Herald.

November 2nd, 1918- People are still very nervous on account of the continuance of the earthquakes... Work is progressing ? down the old buildings, repairing etc...

November 12th, 1918- A pretty heavy earthquake at about 8 am frightening the people... But at 5:40pm came a first class shake in many respects as hard as the first one of October 11th. Our own house suffered somewhat (over the ? at the ends of the corridors). In the church the whole cornice over the high altar fell down. We did not know that it had been constructed of brick. The ends of the walls of the church are badly cracked. Our house must have been 5 feet out of plumb judging from the mark a crucifix made on the wall. A distinct wave motion was both seen and felt in the country among others by Mr. Garwood the Dean of the Agricultural College. Our house on the finca where the sisters are staying was shaken violently... The earth kept shaking all night pretty heavy shake at 11:45p.m. ...Slight tremors have been felt since then every day.

November 25th, 1918-... in the neighboring village or rather the ruins of the neighboring village of Añasco the sisters went to Añasco and kept on going there for a few weeks, but it was not so much the influenza as sheer misery and starvation (Anon., 1918c).

San Juan (Puerta de Tierra) October 11th, 1918- Today is a day never to be forgotten in Porto Rico. About 10:20 am without the least forewarning the earth shook and rocked something frightfully. Earthquake! cried everybody. The house shook like a sail in a storm; so violently that it rang the community bell and the hanging electric lights swayed and banged against the ceiling. All made a fast exit to the street. The first shock was followed by a second just as severe throwing furniture around the house and causing fear in the hearts of all. It seemed the earth was going to open and swallow us all. The streets were filled with people yelling and crying; all down on their knees calling on God and our Lady for help and protection. There was pandemonium in school. In some of the classrooms part of the plaster fell from the ceiling and other movable articles were thrown around the room in disorder. The sisters kept their wits about them however. The children all knelt down and prayed and made all kinds of promises not to miss mass again etc. etc. then the sisters led them out of the building. Many of the parents had rushed to the school for their children- Great damage was done in all parts of the island, except San Juan according to reports- The church tonight was simply? crowded with people for the rosary and October devotions.

October 13th, 1918- Report has it that Mayagüez has suffered greatly from the earthquake.

October 14th, 1918- Father Lynch returned to Mayagüez in an automobile. The trains are not running owing to damages caused to the roads by the earthquake on Friday.

October 15th, 1918- The first reports of disaster in Mayagüez and surrounding towns were mild in Comparison to what the ?...e reports reveal. The city is a mass of

ruins. Our house is practically the only one standing. The church has been badly damaged; the school and sister's house practically destroyed. But, the marvel is that not a single child in our schools was hurt; several in an adjoining school building were killed. The priests and sisters are safe.

October 17, 1918- Very Rev. Father Visitor returns from Mayagüez giving us vivid accounts of the disaster- they have turned our house into a base hospital to care for the sick and wounded. The Spanish sisters and also our own have quarters in our house. So called soup kitchens have been organized in different parts of the town dispensing food to the poor and homeless.

October 25th, 1918- Last night, 24th, just before midnight another violent earthquake almost as violent as the first.

October 26th, 1918- The midnight earthquake caused considerable damage throughout the island. The church in Mayagüez is in a deplorable condition.

November 1st, 1918- The fervor [religious] caused by the earthquake still continues.

November 13th, 1918- This evening about 6:00 another violent earthquake (Anon., 1918d).

Letter to the Earthquake board states that 262 petitions have been received for Aguadilla houses being lost totally or partially, many of them lost by the inrush of the sea. Will rebuild in the same place as where houses used to be- Approved by Governor on May 24th, 1920 (Anon., 1918e, 1920).

Esta mañana a las 9.35 sintióse en esta ciudad [Santo Domingo] un fuerte temblor de tierra, ondulatorio, que sembró la consiguiente alarma en esta población. El fenómeno duro mas o menos 35 segundos y no causó daños materiales, excepto en el establecimiento comercial del Sr. Rafael Montás donde por derribado un tramo de bebidas. Los habitantes de Santo Domingo de Guzman, alarmados ante la seísmica sacudida, echarónse a las calles y parque, especialmente al Colón que se vió colmado por particulares y oficinistas.

Esta mañana, una hora despues del temblor del tierra, notose con estupor por los marinos de este puerto que las aguas del Ozama descendieron bruscamente mas o menos un pié de su nivel ordinario y luego ascendieron como dos pies de dicho nivel. Pequeños embarcaciones que habian junto a la ceyba quedaron en seco con el primer movimiento del rio y, en el segundo, flotaban en máxima cantidad de agua. Estos movimientos de ascenso y descenso del rio continúan marcándo se cada 40 minutos hasta la hora en que escribimos, 1 P.M., en que el Sr. Francisco Catrain, Quien ha constatado dichos movimientos, nos suministra esta interesante información (Anon., 1918f).

Santiago, Octubre 11. Esta mañana fuerte sacudimiento tierra causó alarma general. Nos se sabe hayan ocurrido desgracias.

Puerto Plata, Octubre 11. Sintióse esta mañana movimiento seísmico de larga duración... No hubo daños ni se registro ninguna desgracia. Movimiento tuvo lugar como a las nueve y treinta minutos.

Samaná, Octubre 11. Como a las nueve y cuarenta minutos de la mañana de hoy se sintió el más fuerte temblor de tierra de que se tenga conocimiento en esta localidad. ...No se tienen noticias de que haya ocurrido desgracia alguna ni tampoco de daños materiales.

Sánchez, Octubre 11. Hoy, como a las nueve y cuarenta minutos de la mañana forusimo temblor con movió esta población originando la alarma consiguiente. Se estima la duración del movimiento en cuarenta segundos. No se ha registrado desgracia alguna... Este uno de los más fuertes temblores Que aquí se han sentido (Anon., 1918g).

Edificio Agrietado. Durante el fuerte temblor de tierra que se sintió aquí el jueves a las 9 y 20, se agrietó por muchas partes el edificio que ocupa el tribunal de Primera Instancia de este Distrito Judicial (Anon., 1918h).

San Tomas, 11.- una sacudida prolongada de temblor ha sido sentida aquí a las 10.15 esta mañana, no se señalan daños (por cable frances al List in Diario) (Anon., 1918i).

De Azua, Octubre 12. Ayer, a las 9.30 AM. se sintió una fuerte commoción seismica, de bastante duración, la cual afortunadamente no ocasionó ninguna desgracia. No obstante, se pararon muchos relojes de pared... (Anon., 1918j).

De Palaenque. Octubre 12. El dia 10 del presente, como a las diez AM., se sintió un fuerte temblor de tierra que duró treinta segundos y como a los diez minutos de pasar ésto, se retiró el mar del radio en que estaba, como 30 pies y por algunos partes dejó seco como 20 metros y en su regreso subió 5 pies más del nivel que tenia antes de retirarse cuya acción se repitió 6 veces quedando luego en su esta natural...

De Higuey. Octubre 12. Ayer, viernes, a las 9.30 de la mañana sintióse un fuerte temblor de tierra de muy larga duración, repitíendose con la misma intensidad 5 minutos después. Otro temblor se sintió a las 10.5. Otro más, a las 11.15, otro a las 12.20; otro a las 1.40 p.m. y otro a las 7.48 de la noche. Desde las 9.30 de la mañana hasta las 1.40 p.m. estuve temblando la tierra de un modo casi imperceptible.

Hoy, por la madrugada, sintiéronse 2 temblores; de poca intensidad. La iglesia está seriamente agrietada. El Corresponsal (Anon., 1918k).

Personas llegadas hoy de Higuey nos dicen que la commoción de viernes produjo daños de consideración en el templo de aquella ciudad. Serios desperfectos han afeado su parte interior...

El mar se abalanzó, como una avalanche arrolladora, sobre Punta de Canas y puso en grave peligro la existencia de los moradores. Una infeliz mujer pareció entre las aguas (De La Tarde de La Romana) (Anon., 1918l).

Commentary: See Reid and Taber (1919), for more details of this well-known destructive earthquake.

1918, Octubre 13

Location: Santiago, Hispanola; Ponce, San Juan Puerto Rico; St. Thomas

Data: Santiago, Octubre 14. Anoche sintiose en esta ligero movimiento terraqueo... (Anon., 1918p)

Puerto Rico (V) At 1.00 a.m. A shock was felt in Ponce and San Juan (Port-of-Spain Gazette, 15.10.1918). St. Thomas (111). At 1.00 a.m. A slight but prolonged earthquake (Port-of-Spain Gazette, 15.10.1918).

1943, July 28th 2302 and 1943, July 29th 2102**Location:** Puerto Rico

Data: From *El Mundo* July 29 (Anon., 1943a) a local newspaper in Puerto Rico we have the following reports: “Anoche, a las 11:06 se sintió en San Juan y Santurce el primero de dos temblores que según cálculos del Negociado del tiempo duró cerca de un minuto. A las 11:09 se sintió el segundo que fue de menos duración y se sintió más en Santurce. Los movimientos sísmicos se sintieron también en Guaynabo y en Ponce, según información que pudimos recibir anoche cuando una alegada congestión de servicio en la Compañía de teléfono nos impidió comunicarnos a tiempo con otras poblaciones de la Isla”.

El Mundo July 30 (Anon., 1943b): Fueron 19 los temblores registrados antenoche. Empezaron a las 11:02 p.m. y terminaron a las 7:45 a.m. El epicentro fue cerca del Canal de la Mona, registrados en E.U. La Isla fue sacudida antenoche 19 veces por temblores que se registraron desde las 11:00 de la noche del miércoles hasta las 8:00 de la mañana del jueves según informes del Observatorio Magnético Insular. El Sr. Carl A. Ludy, director del Observatorio, informó ayer que uno de los más fuertes estremecimientos ocurridos en la madrugada del jueves averió los sismógrafos del Observatorio.

Agregó el director Ludy que el epicentro del terremoto evidentemente fue cerca de Canal de la Mona y que lo más probable es que los temblores hayan sido registrados por estaciones sismológicas del continente. En este sentido la agencia noticiera Prensa Unida, informó en la mañana de ayer “que uno de los temblores de tierra más severos registrados por el sismógrafo de la Universidad de Fordham en los últimos años, ocurrió como a 1,500 millas al sur de Nueva York, en las cercanías de Cuba ó la Republica Dominicana con la posibilidad de que hayan ocurrido daños sustanciales en las Indias Occidentales. El primer temblor se registró a las 11:07 p.m. y fue seguido por varios otros de menor intensidad que evidentemente ocurrieron cerca del mismo sitio.

El despacho cablegráfico de Prensa Unida informa además que los temblores fueron registrados por el sismógrafo del Colegio Weston, Massachusetts en donde se opinó que el mismo pudo haber afectado a P.R. “En la estación sismológica del Colegio Weston se informó que el temblor fue registrado en la misma hora que en la Universidad Fordham agregando que fue uno de los temblores más fuertes registrado este año y que ninguno de los ocurrido en la Indias Occidentales durante los últimos diez años puede compararse con el que se sintiera anoche. Se indicó que el epicentro fue en un punto a 1,655 millas al sureste de Boston”.

En P.R. el primer estremecimiento ocurrió exactamente a las 11:02 de la noche del miércoles cuando la mayor parte de la población se había retirado a sus hogares. Miles de personas salieron precipitadamente de sus casas al sentir el primer temblor especialmente en las ciudades más grandes de la Isla en donde la mayoría de los edificios son de concreto. Sin embargo, en la mañana de ayer jueves no se habían informado desgracias personales ó daños a la propiedad según la versión obtenida en los cuarteles generales de la Policía. Se esperan informes finales.

El director del Observatorio Insular informó que espera recibir informes finales de E.U. antes de poder determinar con exactitud el curso seguido por los temblores. Dijo el señor Ludy que los instrumentos de su Observatorio registraron 19 temblores en total, el más fuerte de los cuales ocurrió 2 ½ minutos después de las 11:00 de la noche; otro se sintió a las 1:39 de la madrugada del jueves; otro a las 2:17; otro fue registrado 4 ½ minutos antes de las 3:00 de la madrugada y otros dos, uno poco más fuerte, a las 3:10 y a las 3:25 de la mañana. Entonces, ocurrieron otro diez temblores de menos intensidad, el último de los cuales se registró a las 7:45 de la mañana.

El director Ludy declaró que los dos instrumentos que resultaron averiados dependen de fibras para su funcionamiento y que siendo las fibras muy finas, se rompieron debido a la fuerza del primer temblor que según dijo fue muy intenso. Comentó el señor Ludy que frecuentemente ocurren temblores que tienen su epicentro en el Canal de la Mona.

Anteanoche, al registrarse los primeros temblores en Ponce, parte de la Defensa Civil fue movilizada, según nos informó el Dr. Carlos Muñoz McCormick, director de la Defensa Civil quien empezó a recibir informes de la isla poco después de registrarse el primer temblor. Desde Humacao nuestra corresponsal nos informó lo siguiente “de bastante intensidad resultó el temblor de anoche. Se produjo alarma general especialmente entre el público que salía del teatro”.

En la República Dominicana- Ciudad Trujillo informa a Prensa Unida que a las 11:04 de la noche del miércoles se sintió allí un fuerte temblor sin que se registraran daños ni desgracias personales. El temblor se sintió en toda la isla.

Explicación de la Telefónica- “Como resultado de los temblores de tierra ocurridos en la noche del 28 en las centrales telefónicas, especialmente los de San Juan, Santurce y Hato Rey recibieron un número considerable de llamadas que sobrecargaron las líneas”.

Las líneas de larga distancia sufrieron interrupciones y pasaron algunas horas antes de que la telefónica pudiera restaurar el servicio.

En Mayagüez- A las 11:00 p.m. se sintieron dos fuertes temblores de tierra que ocurrieron casi seguidos uno del otro y que duraron cerca de un minuto. Los estremecimientos se repitieron a eso de la 1:00 de la madrugada y luego a las 3:00 y a las 4:00 pero con menor intensidad. Según informó la Policía no hubo daños ni accidentes personales, sin embargo, el teléfono sufrió interrupciones. Los habitantes de Mayaguez comentan el hecho curioso de que el reloj de la Iglesia presbiteriana en la Marina se paró a las 11:00 de la noche en punto cuando se sintió el primer estremecimiento.

En Ponce- No hubo desgracias personales ó daños que lamentar con excepción de los cables de luz eléctrica que se partieron en algunos sitios, especialmente en la calle Molina, frente al cuartel policiaco. Al romperse los cables se produjo un pequeño incendio.

En Caguas- No se registraron daños a la propiedad ni daños personales.

En Puerto Príncipe- Informó Prensa Unida que en esta ciudad se sintió un temblor que duró 2 segundos a las 10:03 de la noche del miércoles. El movimiento iba dirigido de este a oeste. Pueblos a 10 km de distancia nada sintieron y la mayor parte de la población se enteró de los temblores cuando leyó los diarios de la mañana.

Temblor se sintió en Europa- Prensa Unida informa que según la radio Alemana en Gena, el sismógrafo de Belgrado registró fuertes temblores de tierra a las 4:13 de la

madrugada, que continuaron hasta las 6:00 de la mañana. “Aparentemente —dice el despacho— el epicentro fue en el Mar Caribe.

Exactamente, a las 9:04 se sintió anoche otro temblor de tierra en San Juan y Santurce que duró 14 segundos y el cual según nos informó el Negociado del Tiempo fue de menor intensidad que los registrados durante la noche del miércoles. Un telegrama de Ponce nos informa que el temblor fue sentido allí también pero que no hubo daños. Con este suman veinte los temblores de tierra registrados en P.R. durante los últimos dos días.

El Mundo July 31 (Anon., 1943c): Weston también registra otros temblores. Daniel Lineham, director de la estación Sismológica de Weston College, informó que 15 estremecimientos con su centro localizado posiblemente en las Antillas, habían sido registrados durante un periodo de 24 horas que terminó anoche a las 12:00. Dijo el sr. Lineham que la más fuerte de todas las conmociones se sintió a las 7:00 de la noche y que tuvo una duración de tres horas (?), siendo mucho más fuerte el otro registrado poco antes de la medianoche del miércoles. El centro de estos temblores ha sido localizado a 1,655 millas al sureste de Boston por el noreste de P.R.

Puerto Rico suffered a moderate seismic shock... We have not received any reports of damage to dwellings on the Island due to the above mentioned earthquake (Lundy, written comm., 1944).

Commentary: Although this earthquake was of significant magnitude ($7.5M_w$), there was no damage anywhere on the island of Puerto Rico.

References for Appendices I and II

- Anonymous*, 29 de enero de 1509, “Registro General de Reales Ordenes, Sevilla, desde el 20 de septiembre de 1507 hasta el 29 de marzo de 1509,” *AGI Indiferente General* 1961.
- , 4 de julio de 1623, “Hubo un gran temblor que damnificó el cabildo de la Ciudad de Santo Domingo, se abrió el muro, peligro de caerse...”, *Audiencia de Santo Domingo*, 1, Doc. 166.
- , 2 de abril de 1663, “Sobre que a la Iglesia de San Juan de Puerto Rico...”, *AGI Audiencia de Santo Domingo* 535a.
- , 1667, “Prorrogar a la Ciudad de Puerto Rico, La Merced del Alcabala del Viento por Cuatro Años”, *AGI Audiencia de Santo Domingo* 536.
- , 21 de octubre de 1673, “Carta a la Audiencia de Santo Domingo”, *AGI Audiencia de Santo Domingo* 245.
- , 1777, 6th of september (Saint Croix) *The Royal Danish America Gazette* 8:1015, University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 29 de octubre de 1680, “Petición del Cabildo, Justicia y Regimiento de la Villa de San Germán, Jurisdicción de la Ciudad de San Juan de Puerto Rico”, *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.

- , 23 de octubre de 1688, “Informe sobre fábrica de la parroquia de la Villa de San Germán”, *AGI Audiencia de Santo Domingo* 541.
- , September 3rd, 1785a, “Severest shock in living memory reported. 2c”, *The Times of London*, London, England.
- , September 8th 1785b, “Further details of recent shocks. 2c”, *The Times of London*, London, England.
- , September 15th 1785c, “Tortola: shock lasting over a minute reported; some damage”, 3d., *The Times of London*, London, England.
- , July 14th 1786, “Slight shock of Earthquake on Tortola followed by storm”, 2c, *The Times of London*, London, England.
- , 11 de junio de 1787a, “Se pasa al Gobernador Informe sobre daños causados por temblor de tierra”, *Actas del Cabildo de San Juan Bautista de Puerto Rico 1783-1789*, publicada en 19661, Oficial del Gobierno de la Capital, San Juan, Puerto Rico.
- , 9 de julio de 1787b, “Se acuerda la participación de la ciudad en los actos de acción de gracias luego del terremoto”, *Actas del Cabildo de San Juan Bautista de Puerto Rico 1783-1781*, publicada en 19661, Oficial del Gobierno de la Capital, San Juan, Puerto Rico, AGI Biblioteca S 309/08.
- , 1789, “Estado general que comprende el número de vecinos y habitantes que existen en la isla de San Juan de Puerto Rico”, A61, *Audiencia de Santo Domingo* 2288.
- , 26 de octubre de 1801, “Oficio del Cabildo por su ausencia a los actos del cumpleaños del Príncipe de Asturias”, *Actas del Cabildo de San Juan Bautista de Puerto Rico 1798-1803*, publicada en 19681, Oficial del Gobierno de la Capital, San Juan, Puerto Rico., AGI Biblioteca S 309/ 10.
- , 18th of May 1818, “Saint Thomas”, *Tidende* 2:109. University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 1824, *Annales de Chimie et de Physique*, Masson, Paris, v. 27, 378.
- , 1825a, Ocurrencia Notable. 20 de junio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 6:144:572, AGI Biblioteca.
- , 1825b, Ocurrencia Notable. 27 de julio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 6:174:700, AGI Biblioteca.
- , 1828a, Caguas. 18 de septiembre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 9:224:896, AGI Biblioteca.
- , 1828b, Rincón. 20 de diciembre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 9:304:1216, A61 Biblioteca.
- , 1828c, *Annales de Chimie et de Physique*, Masson, Paris, v33, 408.
- , 1829a, Sabana Grande. 17 de enero, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:15:59, AGI Biblioteca.

- , 1829b, Rincón. 19 de enero, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:16:61, AGI Biblioteca.
- , 1829c, Morovis. 20 de enero, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:17:67, AGI Biblioteca.
- , 1829d, Adjuntas... Yauco. 7 de febrero, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:33:13 1, AGI Biblioteca.
- , 1829e, Piedras... Caguas... Gurabo. 14 de marzo, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:63:252, AGI Biblioteca.
- , 1829f, San Germán. 25 de marzo, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:72:287, A61 Biblioteca.
- , 1829g, Yabucea... Maunabo. 27 de marzo, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:74:296, AGI Biblioteca.
- , 1829h, Juncos... Guarabo... Piedras. 9 de junio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10: 137:548, AGI Biblioteca.
- , 1829i, Loysa. 6 de junio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:135:240, AGI Biblioteca.
- , 1829j, Humacao... Luquillo... Naguabo. 13 de junio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 10:141:564, AGI Biblioteca.
- , 1830a, Naguabo. 13 de abril, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:88:351, AGI Biblioteca.
- , 1830b, Humacao. 13 de abril, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:88:351, AGI Biblioteca.
- , 1830c, Loisa. 15 de junio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:90:36, AGI Biblioteca.
- , 1830d, Aguadilla. 19 de julio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:171:684, AGI Biblioteca.
- , 1830e, Aguada. 19 de julio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:171:684, AGI Biblioteca.
- , 1830f, Pepino. 19 de julio, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:171:684, AGI Biblioteca.
- , 1830g, Corozal. 12 de agosto, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:192:768, A61 Biblioteca.
- , 1830h, “Un temblor de Tierra. 28 de agosto”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 11:206:822, AGI Biblioteca.
- , 1831a, “Un temblor de Tierra. 20 de Mayo”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 12:120:480, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1831b, “Estadística en el mes de septiembre. 10 de octubre”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 12:242:968, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1831c, [Temblor], 14 de octubre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 12:246:984, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.

- , 1831d, [Temblor], 15 de octubre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 12:247:987, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1831e, [Temblores], 31 de octubre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 12:2260:1010, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1832a, [Temblores], 25 de noviembre, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 1:141:564, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1832b, “Estadística en el mes de noviembre. 27 de diciembre”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 1:155:622, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833a, “Estadística en el mes de abril. 14 de mayo”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:56:23 1, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833b, “Estadística en el mes de mayo. 11 de junio”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:68:280, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833c, “Estadística en el mes de mayo. 22 de junio”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:73:299, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833d, “Estadística en el mes de julio. 20 de agosto”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:98:399, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833e, “Estadística en el mes de julio. 24 de agosto”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:100:408, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833f, “Estadística en el mes de septiembre. 15 de octubre”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:122:496, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1833g, “Estadística en el mes de septiembre. 19 de octubre”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 2:124:504, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1834a, “Estadística en el mes de abril. 20 de mayo”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 3:215:868, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1834b, “Estadística en el mes de abril. 12 de julio”, *Gaceta del Gobierno de Puerto Rico* 3:238:960, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Biblioteca.
- , 1842a, 22nd of June, “Dreadful Earthquake in Haiti, and Awful loss of Life” *The Dominican* 1:11:3, Public Record Office, Kew, London, England *Co 76-1.
- , 1842b, 17th of August. Santo Domingo, *The Dominican* 1:19. Public Record Office, Kew, London, England *Co 76-1.
- , 1842c, “13th of May. The Late Earthquake”, *The Morning Journal* Kingston, Jamaica, 1, Public Record Office, Kew, London, England *Co 1 A-6.
- , 1842d, “17th of May. The Voyage of the Steamer Tweed”, *The Morning Journal, Kingston, Jamaica* 1, Public Record Office, Kew, London, England *Co 142-6.

- , 1842e, 25th of May. *Letter from Santo Domingo*, Saint Thomas Tidende 26:5330.
- , 1842f, 22nd of June, “[Santo Domingo Earthquakes]”, *Jamaica Morning Journal*, 16 June 1842, Saint Thomas, Tidende 26.
- , 1842g, *The Charleston Daily Courier*, 6th June 1842, Charleston, North Carolina.
- , 1842h, *The Charleston Daily Courier*, 9th June 1842, Charleston, North Carolina.
- , 1842i, *The Charleston Daily Courier*, 20th June 1842, Charleston, North Carolina.
- , 1843a, *Letter of June in Dispatches from U.S. Consuls at Guadalupe, January 21st, 1833-December 31st 1850*, Volume 2, US National Archives, Washington DC.
- , 1843b, “8th of February. Roseau, February 8th 1843. An Earthquake”, *The Dominican* 2:44, Public Record Office, Kew, London, England *Co 76-1.
- , 1843c, “3rd of May. Earthquake in Antigua”, *The Dominican* 2:56, Public Record Office, Kew, London, England *Co 76-1.
- , 1843d, “1st of March. Antigua. Dreadful Visitation by Earthquake (from the Weekly Register)”, *The Dominican* 2:47, Public Record Office, Kew, London, England *Co 76- 1.
- , 1843e, 22nd of March, “Extract from a Letter, dated Nevis 9th February 1843”, *The Dominican* 2:50, Public Record Office, Kew, London, England *Co 76- 1.
- , 1843f, 2nd of March, “Earthquake in the West Indies”, *The Morning Journal, Kingston Jamaica* 2, Public Record Office, Kew, London, England *Co 142-6.
- , 1843g, 3rd of March, “Dreadful Earthquake, Some Particulars of the Late Earthquake”, *The Morning Journal, Kingston, Jamaica* 2, Public Record Office, Kew, London, England *Co 142-6.
- , 1843h, 6th of March, “Further Particulars on the Earthquake”, *The Morning Journal, Kingston, Jamaica* 2, Public Record Office, Kew, London, England, *Co 142-6.
- , 1843i, 8th of February [Earthquake], *Saint Thomas Tidende* 27:5405, University Library, Copenhagen.
- , 1843j, March 9th, “Earthquake at Saint Thomas”, 7a., *The Times of London*, London, England.
- , 1843k, *The Charleston Daily Courier February 9th*, Charleston, South Carolina.
- , 1843l, *The Charleston Daily Courier February 10th*, Charleston, South Carolina.

- , 1843m, *The Charleston Daily Courier February 11th*, Charleston, South Carolina.
- , 1843n, *Archivo Historico Nacinal*, Madrid, Hacienda Legajo No. 1067, No. 39.
- , 1844a, May 9th and 16th, “From St. Johns, P. R. [and] Earthquake at Guayama, PR”, *Charleston Daily Courier*, South Carolina.
- , 1844b, *Actas del Cabildo de San Juan, Puerto Rico*, tomo 1844, caja 16, Fondo Documentos Municipales, Archivo General de Puerto Rico.
- , 1844c, *Actas del Cabildo de Caguas, Puerto Rico*, tomo 5, 1844, Archivo Histórico de Caguas, Puerto Rico.
- , 1844d, *The Barbadian, May 25th*, Barbados, W. I.
- , 1844e, *Independent press, May 16th*, Saint Lucia, W. I.
- , 1846a, *Índices y registros de entrada de expedientes 1776-1W*, Audiencia de Santo Domingo 2347.
- , 1846b, *Da parte del temblor de Tierra notado en esta capital el 28 del presente mes sin que causara daño alguno en los edificios de la misma. 29 de noviembre*, Archivo Histórico Nacional, Madrid, Ultramar 5066, * 12.
- , 1846c, *Participa que el temblor de Tierra sentido el 28 de noviembre el pasado periodo de que dió conocimiento en 29 del propio mes mismo 426 no ha causado daño alguno en esta isla. 14 de diciembre*, Archivo Histórico Nacional, Madrid, Ultramar 5066, * 12.
- , 1847, *La Gazeta de Puerto Rico*, December, San Juan, Puerto Rico.
- , 1851, 19th of February. [Earthquake], *Saint Thomas Tidende* 5:428, Saint Thomas, Virgin Islands.
- , 1855, *Daily National Intelligencer*, Washington, D.C.
- , 11 de septiembre de 1858a, “Temblor”, *El Fénix* 4155:2, Ponce, Puerto Rico.
- , 18 de septiembre de 1858b, “Temblor”, *El Fénix* 4156:4, Ponce, Puerto Rico.
- , 31 de agosto de 1865a, “Crónica Interior. Temblor de Tierra”, *El Patriota* 1:2, Santo Domingo, Dominican Republic. Copy in Library of Sociedad Amantes de la Luz, Santiago de los Caballeros.
- , 14 de septiembre de 1865b, “Temblor de Tierra”, *El Patriota* 1:4. Santo Domingo, Dominican Republic. Copy in Library of Sociedad Amantes de la Luz, Santiago de los Caballeros.
- , 1867a, “Frightful Earthquakes at St. Thomas, Tortolla and St. Croix”, *The Gleaner* [a newspaper], November 25th, 1867. Dispatches from U.S. Consuls at Kingston Jamaica, March 5th, 1864-December 6th, 1868. Roll 22, Vol. 22. US National Archives, Washington DC.
- , 25 de noviembre de 1867b, “Con motivo de los terremotos e inundaciones ocurridos en Puerto Rico, se dispone, por Real Decreto de 10 de Diciembre de

- 1867, conceder franquicias a la importación de varios artículos de consumo alimenticio, de aplicación al cultivo, y aparatos mecánicos para la industria”, acompaña un ejemplar de la gaceta de Madrid de 5 de diciembre de 1869, y varios recortes de diferentes gacetas, aludiendo a las medidas adoptadas en la isla, Archivo Histórico Nacional Ultramar 1128, #43, Madrid, Spain.
- , 1867c, 27th of November, *St. Thomas Tidende* 21:90. *St. Croix [Earthquake]*, from *The Avis of November 19th*, University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 1867d, 14th of December, *St. Thomas Tidende* 21:93, St. Thomas [Earthquake], University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 1867e, 18th of December, *St. Thomas Tidende* 21:96, St. Thomas [Earthquake], University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 1867f, 18th of December, *St. Thomas Tidende* 21:96, *Grenada, from the Chronicle, November 23rd*, *Volcanic Eruption*, University Library, Copenhagen, Denmark.
- , 11 de Diciembre de 1867g, *Gaceta de la Habana*, Periódico Oficial del Gobierno, miércoles, *295, Cuba, Found in Biblioteca Nacional, Madrid.
- , 1867h, “Sobre las pérdidas con el huracán y los temblores de Tierra”, Archivo Histórico de Ponce, Puerto Rico legajo, 35, caja 34a, exp. 9.
- , 25 de noviembre de 1867i, *Actas del Cabildo de Mayagüez, Puerto Rico. 1867*, Archivo Histórico Municipal de Mayagüez, Puerto Rico.
- , 2 de diciembre de 1867j, *Actas del Cabildo de Mayagüez, Puerto Rico, 1867*, Archivo Histórico Municipal de Mayagüez, Puerto Rico.
- , 9 de diciembre de 1867k, *Actas del Cabildo de Mayagüez, Puerto Rico. 1867*, Archivo Histórico Municipal de Mayagüez, Puerto Rico.
- , 1868a *Archivo de San Juan, Puerto Rico* Exp. 123, Caja 10.
- , 9 de mayo de 1868b, *Remisión de Fondos para reparación de los daños causados por el terremoto en los edificios militares*, Archivo Histórico Nacional Ultramar 1109, *77, Madrid, Spain.
- , 1874a, *La Gazeta de Puerto Rico*, August, San Juan, Puerto Rico.
- , 1874b, *Antigua Times*, August 29, Antigua, W. I.
- , 2 de agosto de 1875a, “Suscripción para reedificar la Iglesia de Barros, *Boletín Eclesiástico de la Diócesis de Puerto Rico*, 17:15:179.
- , 10 de diciembre de 1875b, “Temblor de Tierra”, *Boletín Mercantil de Puerto Rico*, 35:146.
- , 12 de diciembre de 1875c, “Temblor de Tierra”, *Boletín Mercantil de Puerto Rico*, 35:147.
- , 15 de diciembre de 1875d, “Terremoto”, *Boletín Mercantil de Puerto Rico*, 35:14B.
- , 7th of January 1876, [Earthquake], *St. Thomas Tidende* 30-3, University Library, Copenhagen.

- , 22 de agosto de 1880a, “Expediente relativo a la reparación de la Iglesia Parroquial de Isabela del terremoto de 21 de agosto de 1880”, Archivo General de Puerto Rico, *Documentos Municipales*, Serie Isabela, Caja 105, Expediente 1699, San Juan, Puerto Rico.
- , 1880b, Archivo de San Juan, Puerto Rico, Exp. 1699, Caja 107.
- , 2 de septiembre de 1883, “Temblor de Tierra”, *Boletín Mercantil* 45:103, San Juan, Puerto Rico.
- , 1884, Archivo de San Juan, Puerto Rico, Exp. 1700, Caja 108.
- , 1890, Archivo de San Juan, Puerto Rico, Fondo Obras Públicas, Exp. 8, Legajo 205, Caja 159.
- , 31 de marzo de 1898a, “Relativo a los desperfectos causados en la Iglesia y Casa Escuela del Pueblo de Las Marias por un temblor de Tierra”, Archivo General de Puerto Rico, Obras Públicas, *Edificios Religiosos*, Legajo 43, Caja 91, * 2899, San Juan, Puerto Rico.
- , 20 de marzo de 1898b, “Temblor de Tierra”, *Boletín Mercantil* 60:34, San Juan, Puerto Rico
- , 27 de septiembre de 1906a, “El Temblor de Tierra”, *Boletín Mercantil* 68:228, San Juan, Puerto Rico.
- , 27 de septiembre de 1906b, “El Temblor de Tierra en Yabucoa”, *Boletín Mercantil* 68:228, San Juan, Puerto Rico.
- , 28 de septiembre de 1906c, “El Temblor de Ayer”, *Boletín Mercantil* 68:229, San Juan, Puerto Rico.
- , 29 de septiembre de 1906d, “El Temblor de Ayer del Águila de Ponce”, Editorial, “El Terremoto en Manatí”, *Boletín Mercantil* 68:230, San Juan Puerto Rico.
- , 30 de septiembre de 1906e, “Sobre el temblor del día 27...”, *Boletín Mercantil* 68:23, San Juan, Puerto Rico.
- , 1 de octubre de 1906f, “Desde Moca”, *The Puerto-Rico Eagle* 5:1460, San Juan, Puerto Rico.
- , 2 de octubre de 1906g, “Desde Arcibo”, *The Puerto-Rico Eagle* 5:1461, San Juan, Puerto Rico.
- , 4 de octubre de 1906h, “Desde Hatillo”, *The Puerto-Rico Eagle* 5:1463, San Juan, Puerto Rico.
- , 28 de septiembre de 1906i, “El Temblor de Tierra”, *La Democracia* 17:4498, San Juan, Puerto Rico.
- , 29 de septiembre de 1906j, “Desde Carolina, Iglesia de Río Piedras”, *La Democracia* 17:4499, San Juan, Puerto Rico.
- , 30 de septiembre de 1906k, “Desde Toa-Alta. Desde Aguadilla”, *La Democracia* 17:4500, San Juan, Puerto Rico.
- , 27 de septiembre de 1906l, “La Tierra tembló hoy en la isla”, *La Correspondencia de Puerto Rico* 17:5718, San Juan, Puerto Rico.

- , 29 de septiembre de 1906m, “En Ciales”, *La Correspondencia de Puerto Rico* 17:5720, San Juan, Puerto Rico.
- , 30 de septiembre de 1906n, “Una desgracia ocurrió en Cayey el día del temblor”, *La Correspondencia de Puerto Rico* 17:572 1, San Juan, Puerto Rico.
- , 27 de septiembre de 1906o, *Temblor. Listin Diario* 5:1247, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 1913, “Catalogue Chronologique des Temblements de Terre ressentis dans l’île D’Haiti des 1551a 1900”, *Bulletin Semestrial de L’Observatoire Methero-logique de Seminaire’College St. Martial*.
- , 1918a, “Información contenido en telegramas y cartas sobre daños causados por el terremoto de 1918”, San Juan Archives, *Obras Públicas, Asuntos Varios*, Exp. 1, Legajo 210, Caja 163.
- , 1918b, “Información sobre terremoto de 1918”, San Juan Archives, *Obras Públicas, Asuntos Varios*, exp.:1ª, legajo 208, caja A-G.
- , 1918c, “Nuestra Señora de La Candelaria, Mayagüez, PR”, *Chronicles #3* 1915-1924, Redentorist Archive, San Juan, Puerto Rico.
- , 1918d, “San Agustín, Puerta de Tierra, Puerto Rico”, *House Chronicle* Vol. #1, February 13th, 1913 - December 31st, 1923, Redentorist Archive, San Juan, Puerto Rico.
- , 1918e, “Información sobre terremoto de 1918”, San Juan, Arhives, *Obras Públicas, Asuntos varios*, caja 161, legajo 208.
- , 11 de octubre de 1918f, “El temblor de esta mañana”, *Listin Diario* 30:8818, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 12 de octubre de 1918g, “La República al día”, *Listin Diario* 30:8819, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 14 de octubre de 1918h, “Crónica General- Edificio Agrietado”, *Listin Diario* 30:8820, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 5 de octubre de 1918i, “El terremoto en Puerto Rico”, *Listin Diario* 30:8821, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 16 de octubre de 1918j, “De Azua”, *Listin Diario* 30:8822, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 17 de octubre de 1918k, “De Palenque”, *Listin Diario* 30:8823, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 22 de octubre de 1918l, “De La Tarde de La Romana”, *Listin Diario* 30:8827, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 25 de octubre de 1918m, “La temblores de anoche”, *Listin Diario* 30:8830, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 26 de octubre de 1918n, “La República al día”, *Listin Diario* 30:8831, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 28 de octubre de 1918o, “De La Romana”, *Listin Diario* 30:8833, Santo Domingo, Dominican Republic.
- , 15 de octubre de 1918p, “Santiago”, *Listin Diario* 30:8821, Santo Domingo, Dominican Republic.

- , 1920, “Información sobre terremoto de 1918”, San Juan, Arhives, Obras Públicas, Asuntos varios, caja 161, legajo 208.
- , 1943a, *El Mundo July 30th*, San Juan, Puerto Rico.
- , 1943b, *El Mundo July 30th*, San Juan, Puerto Rico.
- , 1943c, *El Mundo July 31st*, San Juan, Puerto Rico.
- Arana Soto, S., 1968, *Historia de nuestras calamidades*, San Juan, Puerto Rico, 210 pp.
- Asenjo, F., 1883, *Ephemerides de la isla de Puerto Rico*, San Juan, Puerto Rico, 107 pp.
- Balseiro, V., 25 de noviembre de 1846, “Expediente instruido a consecuencia del estado ruinoso en que han quedado reducidas la yglesia y ermita de Arecibo con motivo del terremoto”, Archivo General de Puerto Rico, *Obras Públicas, Edificios Religiosos*, legajo 7, caja 75, * 2-18, San Juan, Puerto Rico.
- Black, C., September 8th 1785, “Quake damage on Tortola”, 3d., *The Times of London*, London, England.
- Boscowitz and Pitman, 1890, *Earthquakes*, George Routledge and Sons London, England, 395 pp.
- Cadilla, F. M., 1961, Los Ochocentistas, *Rumbos*, Barcelona, España.
- Campbell, J., 1972, “Earthquake History of Puerto Rico”, *Weston Geophysical Seismicity Investigation*, Aguirre Nuclear Plant Site, PRWA, Amendment #11, USAEC, Docket # 50-376, 104 pp.
- Charlevoix P. Pierre-Francois-Xavier de, 1781, *Histoire de l'isle Espagnole de S. Domingue*, British Museum Library.
- Churrua, P., 1868, “Distrito Oriental. Expediente relativo de los terremotos verificados en 17 de marzo”, Archivo General de Puerto Rico, *Obras Públicas, Asuntos Varios*, legajo 205, expediente 3.
- Coll y Toste, 1918, *Boletín Histórico de Puerto Rico*, vol. V, San Juan, Puerto Rico.
- , 1925, *Boletín Histórico de Puerto Rico*, vol. XII, San Juan, Puerto Rico.
- Cordova, P., 1968, *Memorias Geográficas, Históricas, Económicas, y Estadísticas de la Isla de Puerto Rico*, Int. de Cultura Puertorriqueña, San Juan, Puerto Rico, v II-VI.
- Correa, P., 1817, “Inventario de las Alajas, Ornamentos, y demás perteneciente a la Parroquia de la Villa del Arecibo”, AGI Audiencia de Santo Domingo 2526.
- Cueny, P. A., 16 of February 1843, “Letter to Secretary of State from U.S. Consul”, Dispatches from U.S. Consuls at Martinique, March 2, 1832-December 31st 1850, Volume 2, US National Archives, Washington DC.
- Dabian, J., 23 de mayo de 1787, “El Gobernador de Puerto-Rico, dando cuenta de los perjuicios causados en la extensión de la Isla de su mando por un recio temblor de tierra acaecido en dos del corriente mes...”, *AGI Audiencia de Santo Domingo*, 2307.

- De las Casas, B. F., 1927, *Historia de las Indias*, M. Aguilar ed., Madrid, 3v.
- Deville, Charles Sainte-Clair, 1867, *Sur le tremblement de terre du 18 Novembre aux Antilles*, C. R. Acad. Sci., Paris 65, 1110-1114.
- Dorantes, A. N., 1620, "Carta a la Audiencia de Santo Domingo", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.
- Fayrer, C., March 7 1843, "Earthquake at St. Thomas", 5e, *The Times of London*, London, England.
- Fernández, E., 1995, *Proceso histórico de la conquista de Puerto Rico (1508-1640)*, San Juan, Puerto Rico 92 pp.
- Feuillard, M., 1983, *Liste des seismes ressentis connus 1657-1982*, Guadeloupe WI, 34 pp.
- Fontan y Mera, V., 1868, *La Memorable Noche de San Narisco y los temblores de Tierra*.
- Fuchs, C. W. C., 1866-1871, "Die Vulcanischen Erscheinungen der Erde, 1865-1885", *Leonhards Jahrbuch fur Min. Geol. Und Palaeontol.*
- , 1873-1887, *Title unknown*, Tschermaks Minn. Mittheil.
- García Martínez, M. 1801, "Inventario de Cartas compilado por Manuel García Martínez en 1801 y agregado del Archivo de Nueva España", *Audiencia de Santo Domingo* 2346.
- García, M., 26 de noviembre de 1867, "Actas de Cabildo- Isabela", Archivo General de Puerto Rico, *Documentos Municipales, Actas de Cabildo*, caja 3, San Juan, Puerto Rico.
- González Font, J., 1903, *Escritos sobre Puerto Rico*, San Juan, Puerto Rico, 211 pp.
- Gordo, F., *et al.*, April 14th 1673, "Carta a la Audiencia de Santo Domingo", *Audiencia de Santo Domingo* 165.
- Grases, J., 1971, *La sismicidad histórica del Caribe*, informe que presenta el Ing. José Grases G. a la Junta Directiva del Comité Conjunto del Concreto Armado, Caracas, FUNVISIS, Caracas.
- Gutenberg, B., 1956, *Great Earthquakes 1896-1903*, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 37, #5, pp. 608-614.
- Hernández, J., 1867, "Distrito Oriental. Expediente de los terremotos verificados en los meses de Noviembre y Diciembre", Archivo General de Puerto Rico, *Obras Públicas, Asuntos Varios*, legajo 205, expediente 3.
- Herrera, A. de, 1730, *Descripción de las Indias Occidentales*, Madrid, British Museum Library.
- Hesinbothom, R. S., 1843, "Letter of U.S. Consul to Secretary of State, February 12", Dispatches from U.S. Consuls at Antigua. February 28 1839-November 28, 1850, Volume 3, Roll 3, US National Archives, Washington DC.
- Howard, C., 1867, "Letter of US Vice Consul to Secretary of State, November 30th", Dispatches from United States Consular Representatives in Puerto Rico January 2nd-November 30th 1867, Vol. 10, Roll 11, US National Archives, Washington D.C.

- Iñigues, Perez, H., 1975, *Relación de Sismos ocurridos en la Isla de Santo Domingo (1551-1975)*.
- Jourdan, A., 1868a, "Letter of US Consul to Secretary of State, February 14th", Dispatches from United States Consular Representatives in San Juan, Puerto Rico. Jan 6th- December 14th, 1868, Volume 11, US National Archives, Washington D.C.
- , 1868b, "Letter of US Consul to Secretary of State, March 18th", Dispatches from United States Consular Representatives in San Juan, Puerto Rico. Jan 6th- December 14th, 1868, Volume 11, US National Archives, Washington D.C.
- , 1868c, "Letter of US Consul to Secretary of State, April 10th", Dispatches from United States Consular Representatives in San Juan, Puerto Rico. Jan 6th- December 14th, 1868, Volume 11, US National Archives, Washington D.C.
- Knox, J., 1852, *A Historical Account of St. Thomas*, New York.
- Landa, F. M., 9 de noviembre de 1530, "Carta del Gobernador de Puerto Rico".
- Larrera, J., April 30th 1692, AGI Audiencia de Santo Domingo 535a.
- Lavaey, M. L., 18 de noviembre de 1867a, "Carta de Fajardo sobre temblores", Archivo Histórico Diocesano, *Correspondencia-Parroquias*, G-43, San Juan, Puerto Rico.
- , 19 de noviembre de 1867b, "Carta de Fajardo sobre temblores", Archivo Histórico Diocesano, *Correspondencia-Parroquias*, G-43, San Juan, Puerto Rico.
- , 24 de noviembre de 1867c, "Carta de Fajardo sobre temblores", Archivo Histórico Diocesano, *Correspondencia-Parroquias*, G-43, San Juan, Puerto Rico.
- Ledru, A. P., 1957, *Viaje a la isla de Puerto Rico*, Univ. de Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico, 178 pp.
- Lescubel, C. de, 1844, *Da cuenta del temblor de Tierra sentido en esta Capital el 19 en la noche y el 20 por la mañana no haber ocurrido desgracias*, Archivo Histórico Nacional-Madrid, Ultramar 5064, *26.
- Limón de Arce, J., 1938, Archivo Histórico, Editorial Ángel Rosado, Manafí, Puerto Rico, 602 pp.
- Llonpot, O., 25 de diciembre de 1867, "Carta de Arecibo sobre temblores", Archivo Histórico Diocesano, *Correspondencia-Parroquias*, 1827-1915 G-42, San Juan, Puerto Rico.
- López Bayo, M., 15 de diciembre de 1875, "Reconocimiento de las Iglesias de Arecibo, Manatí y Vega Baja por consecuencia del temblor de tierra acaecido en la madrugada del día 9 de diciembre de 1875", Archivo General de Puerto Rico, *Obras Públicas, Edificios Religiosos*, legajo 75, caja 105, * 39-740, San Juan, Puerto Rico.

- López Morla, J., 21 de julio de 1706, “Expediente sobre la Fábrica, material de aquella Catedral, Años 1693 a 1709”, A61 *Audiencia de Santo Domingo* 580.
- Mallet, R., 1850, *Report on the facts of earthquake phenomena*, British Assoc. Adv. Sci., London, Reports, pp. 1-89.
- , 1851, *Report on the facts of earthquake phenomena*, British Assoc. Adv. Sci., London, Reports, pp. 272-320.
- , 1852, *Catalogue of recorded earthquakes from 1606 B.C. to A.D. 1850*, pp. 1-176.
- , 1853, *Report on the facts of earthquake phenomena*, British Assoc. Adv. Sci., London, Reports, pp. 118-212.
- , 1854, *Report on the facts of earthquake phenomena*, British Assoc. Adv. Sci., London, Reports, pp. 1-326.
- Mangual, M., 2 de diciembre de 1867, *Documentos históricos*, tomo 1, Archivo Histórico Municipal de Mayagüez, Puerto Rico.
- Mardenaligo, S., 1844, *Partes en los que se comunican los temblores de tierras ocurridos en la isla el 20 de abril y 21 de octubre*, Archivo Histórico Nacional-Madrid, Ultramar 5064, *26.
- Marín, R., 1877, “La Villa de Ponce considerada en tres distintas épocas. Estudio histórico, descriptivo y estadística, hasta fines de año 1876”, editoriales publicadas en el periódico *La Crónica*, Establecimiento Tipográfico El Vapor; Ponce, Puerto Rico.
- Martínez Barrios, D., 1946, *Consideraciones sobre la historia sísmica de la República Dominicana*, Universidad de Santo Domingo, v. XLIV.
- Martínez, J., 27 de septiembre de 1906, “Los temblores en Caguas”, *Boletín Mercantil* 68:228, San Juan, Puerto Rico.
- Marvel, T. S. and Moreno, M. L., 1984, *Architecture of Parish Churches in Puerto Rico*, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico.
- Mason, M., 1843, “Letter of April 21st in Dispatches from U.S. Consuls at Guadalupe, January 2nd 1833-December 31, 1850”, Volume 2, US National Archives, Washington DC.
- Matos, 1787, “Comprende el expediente obrado el año de 1787 sobre el reconocimiento del hecho de la santa iglesia catedral que se temió amenazan próxima ruina con motivo de los temblores de aquel año”, Archivo General de las Indias, *Audiencia de Santo Domingo*, 2525.
- McCann, W. R., 1985, “On the Earthquake Hazards of Puerto Rico and the Virgin Islands”, *Bull. Seism. Soc. Amer.* 75(1), 251-262.
- , 2009, *Brief History of Early Seismic Recording in Puerto Rico*, http://www.iris.edu/seismo/stations/puerto_rico/references/seismic-recording_history_Puerto_Rico/

- Mestre, J. F. and Dabian, J., 16 de mayo de 1787, Informe, "Copia del original que existe en Secretaría de Gobierno de mi cargo, a que me remito, Puerto Rico, 23 de Mayo de 1787, Diego Couar", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 2307.
- Mestre, J. F., 9 de mayo de 1787, "Reconocimiento practicado de resultas del temblor grande de tierra y repetidos que sobre vinieron en el día dos del corriente..." *AGI Audiencia de Santo Domingo*, 2307.
- Milne, J., 1911, *A catalogue of destructive earthquakes: AD 7 to AD 1899*, British Association for the Advancement of Science, Annual Report, Portsmouth.
- Mission, J., 1838, *Reminiscences of a 46 year residence in the Island of St. Thomas in the West Indies*, Nazareth PA, Copy found in Royal Library, Copenhagen, Denmark.
- Montero, W., 1989, "Sismicidad histórica de Costa Rica 1638-1910", *Geof., Int.* 28-3, 531-559.
- Navarra, B., October 1st 1615a, "Testimonio de Luis Lima", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.
- , October 1st 1615b, "Testimonio de Muñoz Moya", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.
- , October 1st 1615c, "Testimonio de Vicente López", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.
- , October 1st 1615d, "Testimonio de Sebastián Ávila", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 165.
- Neumann, Gangia, E., 1913, *Verdadera y auténtica historia de la ciudad de Ponce*, p. 258, Ponce, Instituto de Cultura Puertorriqueña.
- Noel, C., 1979 (1914), *Historia Eclesiástica de la Arquidiócesis de Santo Domingo*, tomo 2, Editorial de Santo Domingo, Santo Domingo, Dominican Republic.
- Oldendorp, G. G. A., 1777, *History of the Mission of the Evangelical Brethren in the Caribbean Islands of St Thomas, St Croix and St. John* (translated by Vladimir Barac and Arnold Highfield) Barby.
- Ortiz, A., September 10th 1688, "Carta a la Audiencia de Santo Domingo", *AGI Audiencia de Santo Domingo* 535a.
- Pacheco, J. F.; Sykes, L. R., 1992, *Seismic moment catalog of large shallow Earthquakes, 1900 To 1989*, BSSA 82, 3, 1306-1349.
- Paiewonsky, I., 1979a, "Historic Corner", *The Daily News*, St. Thomas, July 30th, 1979.
- , 1979b, "Historic Corner", *The Daily News*, St. Thomas, August 6th, 1979.
- , 1979c, "Historic Corner", *The Daily News*, St. Thomas, August 20th, 1979.
- , 1979d, "Historic Corner", *The Daily News*, St. Thomas, November 5th, 1979.
- , 1979e, "Historic Corner", *The Daily News*, St. Thomas, November 12th, 1979.

- , 1979f, “Historic Corner”, *The Daily News*, St. Thomas, November 26th, 1979.
- , 1979g, “Historic Corner”, *The Daily News*, St. Thomas, December 3rd, 1979.
- , 1979h, “Historic Corner”, *The Daily News*, St. Thomas, December 10th, 1979.
- Palm, E. W., 1955, *Los monumentos arquitectónicos de la Española*, 2 tomos, Universidad de Santo Domingo, Ciudad Trujillo, República Dominicana.
- Pérez, 1918, 1 de noviembre de 1918, “Juncos, Correspondencia-Parroquias 1916-1918”, G12 *Archivo Histórico Diocesano*, San Juan, Puerto Rico.
- Perkins, E. H., 1867a, “Letter of US Consul to Secretary of State, November 23rd”, *Dispatches from United States Consuls in St. Croix, August 22nd-December 11^s, 1869, Volume 7, Roll 7, US National Archives, Washington DC.*
- , 1867b, “Letter of US Consul to Secretary of State, December 11th”, *Dispatches from United States Consuls in St. Croix, August 22nd-December 11th, 1869, Volume 7, Roll 7, US National Archives, Washington DC.*
- , 1867c, “Letter of US Consul to Secretary of State, March 18th”, *Dispatches from United States Consuls in St. Croix, August 22nd-December 11th, 1869, Volume 7, Roll 7, US National Archives, Washington DC.*
- Perrey, Alexis, 1843, *Note historique sur les tremblements de terre aux Antilles Comptes rendues de l'Academie des Sciences de Paris*, 16 1283-1312.
- , 1845, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser., pp. 325-392.
- , 1846, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser.
- , 1852, “Tremblements; de terre ressentis en 1851”, *Bulletin de l'Academie de Bruxelles* 19 353-396.
- , 1853, “Tremblements de terre ressentis en 1852”, *Bulletin de l'Academie de Bruxelles* 20 39-59
- , 1855, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser., v. IV, pp. 1-112
- , 1856, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser., v. V, p.113.
- , 1859-1875, *Mem. Couronnes*, Acad. Royale des Sciences de Belgique, Collection #8, Vol. VIII-XXIV.

- , 1861a, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser., v. IX. pp. 3-108.
- , 1861b, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.*, Dijon, 2d ser., v. X, pp. 109-161.
- , 1864, “Notes sur les tremblements de terre en 1861, avec supplements pour les anneis anterieures”, *Bulletin de l'Academie de Bruxelles*, 16 1-112.
- , 1865, “Bibliographie seismique: Catalogue de livres, memoires et notes sur les tremblements de terre et les phenomenes volcaniques”, *Mem. Acad. Sci.* Dijon, 2d ser., pp. 1-70.
- , 1867, “Notes sur les tremblements de terre en 1866 et 1867, avec suppliments pour les; annes anterieures”, *Bulletin de l'Academie de Bruxelles* 1-223.
- Poey, A., 1855, *Tablas cronológicas de los temblores de tierra sentidos en la Isla de Cuba desde 1551 a 1855*, Paris, Seismic Research Unit, UWI St. Augustine, Trinidad.
- , 1857a, “Une revue bibliographique contenant tous les travaux relatifs aux tremblements de terre des Antilles”, *Annuaire Meteorologique de France* 5 227-252.
- , 1857b, “Catalogue chronologique de tremblements de terre ressentis dans les Indies-Occidentales, 1530-1857”, *Annuaire de la Soc. Meteor. de France*, 5, pp. 75-127.
- , 1858, “Une revue bibliographique contenant tous les travaux relatifs aux tremblements de terre des Antilles”, *Annuaire de la Soc. Meteor. de France*, 5, pp. 227-252
- Ponce de León, J. and Santa Clara, A. de, 1582, “Memorias de Melgarejo”, *AIG Audiencia de Santo Domingo*.
- Porter, G. H. A., 1934, “Diary relating to the Great Hurricane and Earthquakes in the Virgin Islands 1867-1869”, MS 161_29, Presented to the West Indies Committee by WH Porter in 1934, Institute of Commonwealth Studies, 27 Russell Square, London, England.
- Quiñónez, J., 1865, *Entry for 23 Septiembre 1865 en libro de Actas, Ayuntamiento de la Villa de San Germán*, Archivo Histórico Municipal San Germán, Puerto Rico.
- Ramírez de Arellano, Rafael, 1933, “Los huracanes de Puerto Rico”, *Boletín de la Universidad de Puerto Rico*, Serie 3, #2, Universidad de Puerto Rico, 76 pp.
- Ramón, José, *Reseña General Geográfico-Estadística*, Imprenta de García Hermanos, Santo Domingo, República Dominicana.
- Ray, C., 1868, “Letter to Secretary of State, January 10th”, Dispatches from U.S. Consuls at St. Martin, January 17th, 1864-June 30th, 1906, Roll 3, Volume 3, US National Archives, Washington DC.

- Real Díaz, J. ed., 1968, *Catálogo de las cartas y peticiones del Cabildo de S. J. Bautista de Puerto Rico (siglos XVI-XVIII)*, Instituto de Cultura Puertorriqueña, San Juan, Puerto Rico, 311 pp.
- Reid, H. F., 1911, *List of strong shocks in the United States and Dependencies*, British Association for the Advancement of Science, Report for 1911, 41.
- Reid, Harry Fielding; Taber, Stephen, 1919, "The Puerto Rico Earthquake of 1918", House of Representatives, 66th Congress, 1st Session, Document No. 269. November 19th, 1919, Report of the Earthquake Investigation Commission.
- , 1920, *The Virgin Islands Earthquakes of 1867-1868*, *Bull. Seism. Soc. Amer.* 10, 1, 9-30.
- Revenga, L. J., 30 de mayo de 1867, "Marcha general de la Gran Revolución Sísmica del año 1865-1867", *Revista Hispanoamerica* 6:10:57:302-305.
- Robson, G, 1964, "An Earthquake catalogue for the Eastern Caribbean 1530-1960", *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 785-832.
- Rockwood, C. G., 1876, "Notices of Recent American Earthquakes", *American Journal of Science* 12 25-30.
- , 1880, "Notices of Recent American Earthquakes", *American Journal of Science* 19:295-299.
- Rodríguez, F., 5 de diciembre de 1842, "Necesita esta Santa Iglesia Parroquial [Añasco] para Reparar", Archivo General de Puerto Rico, *Gobernadores Españoles, Obras Públicas*, caja 226, San Juan, Puerto Rico.
- Rojas, C. de, 15 de diciembre de 1867, "Carta de Fajardo sobre temblores. Archivo Histórico Diocesano", *Correspondencia-Parroquias*, 6-43, San Juan, Puerto Rico.
- Roman, A. A., 16 de abril de 1844, "Actas de Cabildo – Isabela", Archivo General de Puerto Rico, Documentos Municipales, Actas de Cabildo, caja 1, San Juan Puerto Rico.
- Rosales, M. I., *et al.*, 25 de septiembre de 1843, "Hecho la recomposición de esta Santa Iglesia Parroquial [de Añasco]...", Archivo General de Puerto Rico, *Gobernadores Españoles, Obras Públicas*, caja 226, San Juan, Puerto Rico.
- Rumbold, A., 4th of December 1867, *St. Thomas Tidende* 21:92, Tortola [Earthquake], University Library, Copenhagen, Denmark.
- Salivia, L. A., 1972, *Historia de los Temporales de Puerto Rico y las Antillas (1492 a 1970)*, San Juan, Puerto Rico, editorial Edil, 385 pp.
- Salvan, 1867, *Relación expresiva de los daños...*, Archivo Histórico Nacional Ultramar #1097, Madrid, España.
- Shepherd, J. and L. Lynch, 1992, "An earthquake catalogue for the Caribbean Part I, the pre-instrumental period 1502-1900", in *Report of the Second Technical Workshop Sesimic Hazard Project- Latin America and the Caribbean*, pp. 95-158, Melbourne, FL.

- Taylor, C. E., 1895, *An Island of the Sea. A. Thomas, Danish West Indies*, Book found in the Royal Library, Copenhagen Denmark. Much of the book is based upon oral tradition.
- Thompson, E. C., 1906, *Monthly Meteorological Report*, San Juan, Puerto Rico. Forms 1014A, U.S. Department of Agriculture, Weather Bureau, United States National Archives, Washington D.C.
- Tio, A., 1956, *Fundación de San Germán*, San Juan, Puerto Rico, 274 pp.
- Tomblin, J. M. and Robson, G. R., 1977, *A catalogue of felt earthquakes for Jamaica with references to other islands in the Greater Antilles*, Ministry of Mining and Natural Resources, Mines and Geology Division, Special Publication # 2, Hope Gardens, Kingston, Jamaica, 243 pp.
- Uresino, F., 1865a, *Da Cuenta de un temblor de tierra que tuvo lugar un 20 [sic 30] de Agosto*, Archivo Histórico Nacional Ultramar 5089, Madrid, Spain.
- , 1865b, *Manifesta detalladamente los danos causados por el temblor de tierra que se sintió en la Ysla la noche del 30 de Agosto último, y da cuenta de un temporal que hubo la tarde del 7 del actual*, Archivo Histórico Nacional Ultramar 5089, Madrid, Spain.
- Udías, A., 2003, *Searching the Heavens and the Earth: The History of Jesuit Observatories*, Kluwer Academic Publishers, AH Dordrecht, The Netherlands, 369 pp.
- Utrera, Fray C., 1927, *Noticias Históricas de Santo Domingo*, Vol. 5 y 6, Editora Taller, Santo Domingo, República Dominicana.
- Von Hoff, K. E., 1840, “Geschichte de durch Uberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche”, *Gotha*, Vol. 4, Earthquakes and volcanic eruptions from 3460 a.c. to 1832 p.c.
- , 1841, “Geschichte de durch Uberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche”, *Gotha*, Vol. 5, Earthquakes and volcanic eruptions from 3460 a.c. to 1832 p.c.
- Weston Geophysical, 1972, “Seismicity Investigation- Aguirre Nuclear Plant Site PRWRA, Amendment 11 to Preliminary Facility Description and Safety Analysis Report”, Aguirre Nuclear Plant #1, US Atomic Energy Commission Docket # 50-376.
- Zayas, M., 1846, “Expediente instruido a consecuencia del estado ruinoso en que han quedado reducidas la yglesia y ermita de Arecibo con motivo del terremoto”, Archivo General de Puerto Rico, *Obras Públicas, Edificios Religiosos*, legajo 7, caja 75, # 2-18, San Juan, Puerto Rico.

Edición del
Instituto Panamericano de Geografía e Historia
realizada en su Centro de Reproducción
Impreso en **CARGRAPHICS**
RED DE IMPRESION DIGITAL
Calle Aztecas núm. 27
Col. Santa Cruz Acatlán
Naucalpan, C.P. 53150
Edo. de México
Tels: 5363-0090 5373-5529
2011

ESTADOS MIEMBROS DEL INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Argentina

EL IPGH, SUS FUNCIONES Y SU ORGANIZACIÓN

Belice

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia fue fundado el 7 de febrero de 1928 por resolución aprobada en la Sexta Conferencia Internacional Americana que se llevó a efecto en La Habana, Cuba. En 1930, el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos construyó para el uso del IPGH, el edificio de la calle Ex Arzobispado 29, Tacubaya, en la ciudad de México.

Bolivia

Brasil

Chile

En 1949, se firmó un convenio entre el Instituto y el Consejo de la Organización de los Estados Americanos y se constituyó en el primer organismo especializado de ella.

Colombia

Costa Rica

El Estatuto del IPGH cita en su artículo 1o. sus fines:

Ecuador

1) Fomentar, coordinar y difundir los estudios cartográficos, geofísicos, geográficos e históricos y los relativos a las ciencias afines de interés para América.

El Salvador

2) Promover y realizar estudios, trabajos y capacitaciones en esas disciplinas.

Estados Unidos de América

3) Promover la cooperación entre los Institutos de sus disciplinas en América y con las organizaciones internacionales afines.

Guatemala

Solamente los Estados Americanos pueden ser miembros del IPGH. Existen también las categorías de Observador Permanente y Socio Cooperador del IPGH. Actualmente son Observadores Permanentes: España, Francia, Israel y Jamaica.

Haití

Honduras

México

El IPGH se compone de los siguientes órganos panamericanos:

Nicaragua

1) Asamblea General

2) Consejo Directivo

Panamá

3) Comisión de:

Cartografía (Santiago, Chile)

Paraguay

Geografía (Buenos Aires, Argentina)

Perú

Historia (Sao Paulo, Brasil)

Geofísica (San José, Costa Rica)

República Dominicana

4) Reunión de Autoridades

5) Secretaría General (México, D.F., México)

Uruguay

Además, en cada Estado Miembro funciona una Sección Nacional cuyos componentes son nombrados por cada gobierno. Cuentan con su Presidente, Vicepresidente, Miembros Nacionales de Cartografía, Geografía, Historia y Geofísica.

Venezuela



Nota Editorial • Estratigrafía de secuencias en un modelo dos y medio dimensional (2.5-d) del Cono de Río Grande, Brasil *Luis Antonio Castillo López, Thais de Souza Kazmierczak y Farid Chemale Jr.* • Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología *Manuel Aranedo C., María Soledad Avendaño R. y Gerardo Díaz Del Río* • Observaciones gravimétricas y nivelaciones en proceso del terremoto del 3 de marzo de 1985, Chile *Manuel Aranedo C. y M.S. Avendaño* • Análisis de la predicción de precipitaciones mediante correlaciones canónicas en el NE de Argentina *Omar V. Müller y Norberto O. García* • Análisis Morfotectónico de la Isla Puerto Rico, Caribe *Mario Octavio Cotilla Rodríguez y Diego Córdoba Barba* • Estimación de la precipitación mensual por un método de *downscaling* en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina *Laura Brandizi, Mario Sequeira, Sandra Fernández y Juan Carlos Labraga* • Catalog of felt earthquakes for Puerto Rico and neighboring islands 1493-1899 with additional information for some 20th century earthquakes *William McCann, Lawrence Feldman and Maribel McCann*

ISSN-0252-9769