



DESPLAZAMIENTO DEL ECUADOR MAGNETICO, PROXIMO ARRIBO AL OBSERVATORIO GEOMAGNETICO DE HUANCAYO

Domingo Rosales^{1*}, Erick Vidal¹, Silvano Orihuela¹

¹ Observatorio Geomagnético de Huancayo – Instituto Geofísico del Perú, Huancayo, Perú

Resumen

El ecuador geomagnético al igual que los polos geomagnéticos se están moviendo lentamente en el tiempo en dirección Norte – Sur y Sur – Norte. En 1917 el ecuador geomagnético estuvo en el Observatorio Geomagnético de Huancayo, cinco años antes del inicio del registro continuo del campo geomagnético en este punto. El desplazamiento hacia el sur del ecuador geomagnético continua hasta 1938. Entre el 17 al 19 de mayo de 1938 el ecuador geomagnético cambia su dirección de movimiento e inicia su retorno. Actualmente (Junio 2011) el ecuador geomagnético esta aproximadamente a 18 kilómetros al sur del Observatorio de Huancayo y se esta moviendo en dirección hacia el Observatorio. Estimaciones basados en observaciones absolutas muestran que el ecuador se mueve a una velocidad de 8.6 kilómetros por año, y en Julio del 2013 estará en el Observatorio de Huancayo, mientras que de acuerdo al modelo IGRF (Campo Geomagnético Internacional de Referencia) se estima que el ecuador geomagnético estará en Noviembre del 2013.

Abstract

The geomagnetic equator as the geomagnetic poles are moving slowly over time, in North to South and South to North direction. On 1917 the geomagnetic equator was on Huancayo Geomagnetic Observatory, five years before to the starting the continuous record of geomagnetic field on this point. The displacement of the geomagnetic equator to the South of Huancayo was until 1938, between 17 and 19 of May 1938 the geomagnetic equator changed its direction of movement and begins its return. Currently (June 2011) the geomagnetic equator is about to 18 kilometer to the South of Huancayo Observatory and it is moving in the direction towards the Observatory. Estimations based on absolute measurements shows that equator has been moving at a speed of 8.6 kilometers per year, and on July 2013 will be on Huancayo Observatory, while according to the model IGRF (International Geomagnetic Reference Field) the geomagnetic equator will be on November 2013.

Introducción

El ecuador geomagnético se entiende como la zona de la superficie de la Tierra donde el campo magnético es totalmente horizontal (es decir, tiene una inclinación igual a cero).

Así como los polos magnéticos se desplazan con el tiempo, de igual manera el ecuador magnético se va desplazando lentamente con el tiempo debido a los cambios magnéticos producido en el núcleo de la Tierra. Puesto que el campo magnético de la Tierra no es exactamente simétrico (es decir el Norte y el polo Sur magnético no son antípodas) ocasiona que también el ecuador magnético no sea simétrico, observándose que sobre la superficie de la Tierra el ecuador magnético rodea formando una especie de onda.



Campo Geomagnético Internacional de Referencia IGRF/DGRF

El IGRF (International Geomagnetic Reference Field) es una serie de modelos matemáticos del campo magnético de la Tierra y su variación secular (tasa de variación íter anual) basado en el modelamiento mediante armónicos esféricos que representa el “campo principal” generado por el núcleo de la Tierra. Cada generación IGRF comprende varios modelos que consta de cinco años de intervalo que son designados como “provisional” o “definitivo”. Una vez que un modelo se designa como definitivo se llama DGRF (Definitive Geomagnetic Reference Field) y ya no es revisado en las siguientes generaciones de los IGRF [MacMillan, 2007].

La mayoría de los usuarios del modelamiento IGRF son geofísicos interesados en la interpretación geológica regional de estudios magnéticos, otro grupo de investigadores vienen utilizando cada vez más en descripciones del campo geomagnético en los estudios de la ionosfera, la magnetosfera y el comportamiento de los rayos cósmicos en las proximidades de la Tierra.

El campo geomagnético registrado en el Observatorio de Huancayo

En 1919 se inicia la construcción del Observatorio de Huancayo, a cargo de la Institución Científica Carnegie de Washington Estados Unidos, siendo la “sala de absolutos” la primera instalación en ser construida, seguida por la “sala de variógrafos”. El 1 de Marzo de 1922 se da inicio al registro continuo del campo geomagnético en sus tres componentes H, D y Z, desde entonces han pasado un buen número de generaciones de geomagnetistas de distintas nacionalidades que han dedicado gran parte de su vida como “observadores del campo geomagnético” en el Observatorio de Huancayo, podríamos mencionar algunos como: W. F. Wallis 1922, W. C. Parkinson 1924, P. G. Ledig 1929, J. E. I. Cairns 1933, O. W. Torreson 1935, F. T. Davies 1937, P. G. Ledig 1941, A. A. Giesecke 1945 -1961, M. R. Casaverde 1962, F. Del Castillo, O. Veliz, S. Orihuela, D. Rosales, E. Vidal, entre otros, quienes juntamente con personal de apoyo han permitido que podamos contar con un registro continuo de casi 90 años [Johnston et al, 1948], [Giesecke et al, 1962].

Estudios históricos del desplazamiento del ecuador geomagnético en el Perú

Louis Feuillée, científico europeo entre 1709 y 1712 por encargo del rey Luis XIV, emprende estudios en la costa occidental de América del Sur y el Caribe, centrándose principalmente en las observaciones de los vientos, mareas y campo magnético, se estableció en Lima entre 1709 y 1710, dentro de sus trabajos Feuillée encontró que en 1712 el ecuador magnético estaba ingresando a territorio peruano aproximadamente a 3 grados de latitud Sur [Riveros-Zuñiga, 1951].

Alexander Von Humboldt en su viaje a los países equinocciales, llega a Colombia en el año 1801 y realiza observaciones magnéticas en Bogotá, luego se encamina hacia el Sur cruzando la cordillera de los Andes llegando a Cajamarca, y en 1802 Humboldt encuentra que la aguja de su compás se balanceaba perfectamente por lo que determino de una manera precisa el “ecuador magnético” que sirvió como referencia mundial por 35 años. Los instrumentos de geomagnetismo que utilizo Von Humboldt en su expedición fueron: Grafómetro de Ramsden, brújula de inclinación de 12 pulgadas, brújula de declinación de Le Noir, aguja magnética de 12 pulgadas, brújula de Freyberg y magnetómetro de Saussure [Garavito, 1989], [Rush, 2004].

En Marzo de 1823 Luis Isidoro Duperry durante su travesía desde el puerto del Callao a Taiti, pasa por Paita, circunstancia que aprovecha dos veces para hacer observaciones magnéticas determinando que el ecuador magnético se ha desplazado mas hacia el Sur de Cajamarca [Riveros-Zuñiga, 1949].

En 1838 Dupetit Thouars determina que el ecuador magnético se encuentra por Trujillo, en 1910 el Departamento de Magnetismo terrestre de la Carnegie (DTM) determina que el ecuador magnético se



encuentra por Cerro de Pasco, en 1938 la misma DTM determina que el ecuador magnético se encuentra entre Huancavelica e Ica [Paz-Soldan, 1869].

En 1955 luego del levantamiento de la “Primera Carta Geomagnética del Perú”, realizado por el entonces “Instituto Geofísico de Huancayo” se determina que el ecuador magnético se encuentra a unos 75 kilómetros al sur del Observatorio de Huancayo ver “figura 1”.

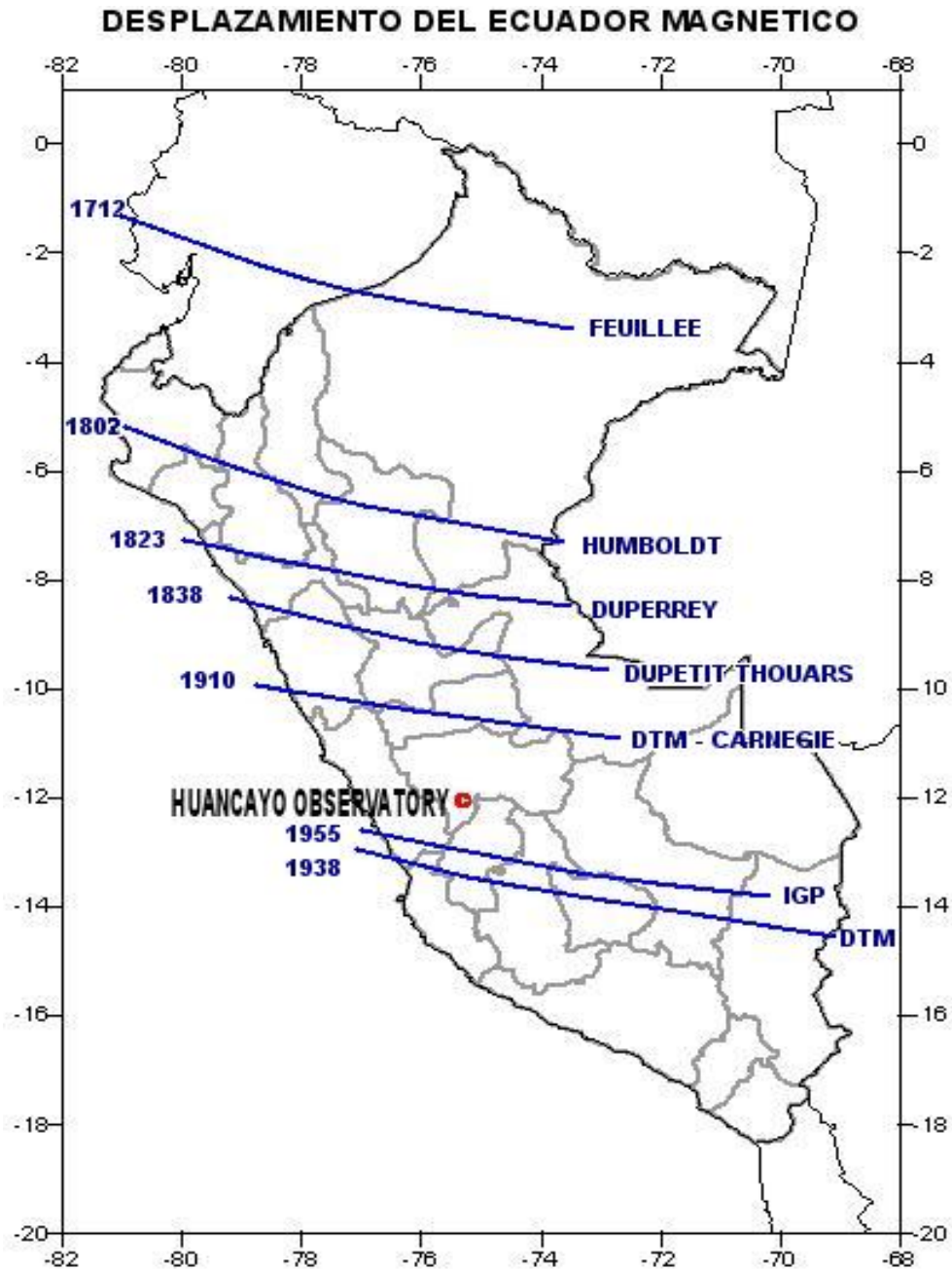


Figura 1 Desplazamiento del ecuador magnético en el Perú



Estimaciones de la fecha que pasara el ecuador geomagnético por el Observatorio de Huancayo

Mediante el modelamiento del IGRF-11 se estima que el ecuador magnético pasó en Marzo de 1917 por el lugar donde se construiría el Observatorio de Huancayo. En 1919 se inicio la construcción del Observatorio cuando el ecuador magnético para entonces ya había pasado hacia el sur y continuaba su desplazamiento alejándose del Observatorio.

Entre el 17 y 19 de mayo de 1938 se produce el máximo desplazamiento hacia el Sur del ecuador magnético “figura 1”, llegándose a registrar en el Observatorio de Huancayo la componente de Intensidad vertical “Z” el valor máximo de 1190 nT. A partir de dicha fecha el valor de dicha componente comienza a decrecer indicándonos que en dicha fecha el ecuador magnético cambia su desplazamiento de retorno hacia el Norte.

Para poder estimar la fecha en que el ecuador geomagnético pase por el Observatorio de Huancayo se han empleado dos tipos de datos. Uno mediante el uso del modelamiento IGRF-11 y el otro a partir de las observaciones absolutas de los 3 últimos años registrados en el Observatorio de Huancayo (Enero 2009 a Mayo 2011), registrándose en total 576 observaciones. Las observaciones absolutas fueron realizados con un magnetómetro DIFLUX (teodolito no magnético con sensor fluxgate) y un magnetómetro de protones, registrándose las componentes Declinación “D”, Inclinación “I” e Intensidad Total “F”, y fueron pasados a las componentes H, D y Z.

A partir de las observaciones absolutas para las componente H, D y Z se obtiene las proyecciones mediante un ajuste de regresión lineal que nos permite estimar las magnitudes en función del tiempo de cada magnitud, además nos permite estimar la fecha en que el ecuador geomagnético pasara por el Observatorio de Huancayo y comparar con lo estimado por el modelo IGRF-11.

Las ecuaciones de la regresión lineal en función del tiempo obtenidas partir de las observaciones absolutas para cada componente son:

$$H(t) = 25503.3 - 61.4*(t-2009.0) \quad [\text{nT}] \quad (1)$$

$$D(t) = -1.5367 - 0.1546*(t-2009.0) \quad [\text{grados}] \quad (2)$$

$$Z(t) = 284.9 - 63.3*(t-2009.0) \quad [\text{nT}] \quad (3)$$

Cuando el ecuador magnético se encuentre en el Observatorio se tendrá que la Intensidad Vertical Z sera igual a 0, por lo tanto a partir de la ecuación (3) tomando $Z(t) = 0$, se tiene que:

$$t = 2013.5 \quad [\text{año}] \quad (4)$$

De la ecuación (4) podemos estimar que en Julio del 2013 se encontrara el ecuador magnético en el Observatorio de Huancayo, (4) en (1) y (2) se tiene que:

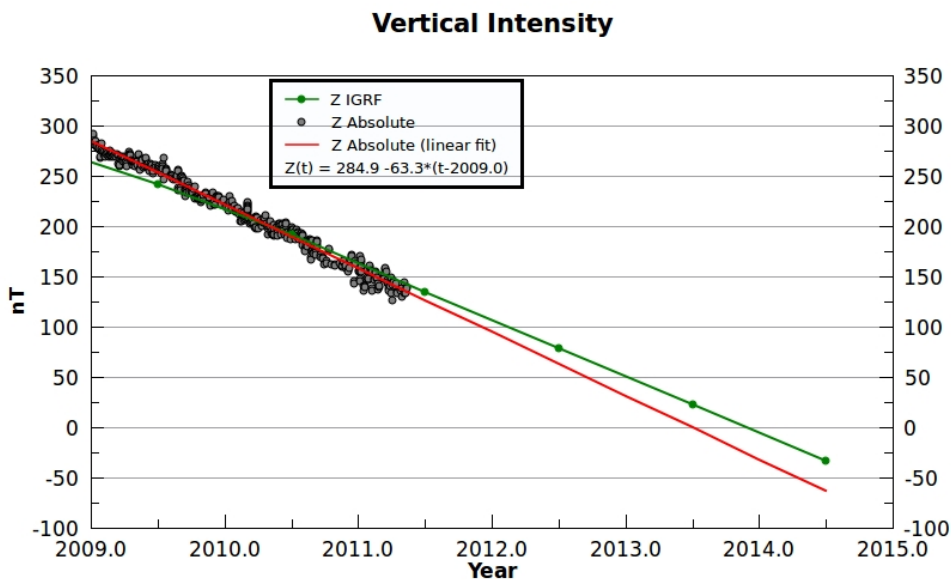


Figura 2 Intensidad Vertical (Z) IGRF y Observaciones Absolutas.



$$H(2013.5) = 25227 \quad [\text{nT}] \quad (5)$$

$$D(2013.5) = -2.3 \quad [\text{grados}] \quad (6)$$

$$Z(2013.5) = 0 \quad [\text{nT}] \quad (7)$$

Según el modelo IGRF-11 se estima que el ecuador magnético estará en el Observatorio en Noviembre del 2013.

$$t_{IGRF} = 2013.9 \quad [\text{año}] \quad (8)$$

Según las estimaciones realizadas a partir de las observaciones absolutas “ecuación (4)” respecto al modelo IGRF “ecuación (8)” hay una diferencia de 5 meses entre ambas estimaciones.

Una de las interrogantes de mucho interés es poder estimar a que distancia del Observatorio de Huancayo se encuentra actualmente el ecuador magnético, así mismo también nos interesa saber cual es su velocidad de desplazamiento hacia el Norte, para ello haciendo uso de una carta magnética para la Intensidad Vertical (Z) generado a partir del IGRF y de los datos registrados en el observatorio obtenemos una estimación de la distancia a la que se encuentra actualmente el ecuador magnético.

La estimación de la distancia en Km en función de la magnitud de la Intensidad Vertical del campo magnético viene dado por la ecuación “figura 3”:

$$\text{Distancia}(Z) = -(0.096 + 0.1356 * Z) \quad [\text{Km}] \quad (9)$$

Donde: si Distancia(Z) < 0, entonces el ecuador magnético se encuentra al Sur del observatorio, si Distancia (Z) > 0 ; entonces el ecuador magnético se encuentra al Norte del observatorio.

La ecuación (3) en (9) se tiene:

$$\text{Distancia}(t) = -(17290.1263 - 8.5870 * t) \quad [\text{Km}] \quad (10)$$

Para la época 2011.42 (Junio 2011) se tiene:

$$\text{Distancia}(2011.42) = -18.06 \quad [\text{Km}] \quad (11)$$

Derivando respecto al tiempo la ecuación (10) se obtiene la velocidad de desplazamiento del ecuador magnético (V) esto es:

$$V = 8.5870 \quad [\text{Km/año}] \quad (12)$$

De la ecuación (11) se concluye que actualmente el ecuador magnético se encuentra aproximadamente a 18 Km al Sur del Observatorio, siendo el poblado de Chuamba la zona por donde esta pasando el ecuador magnético. De la misma manera de la ecuación (12) se concluye también que la velocidad de desplazamiento del ecuador magnético es de 8.6 kilómetros por año.

Displacement of geomagnetic equator respect to Huancayo Observatory

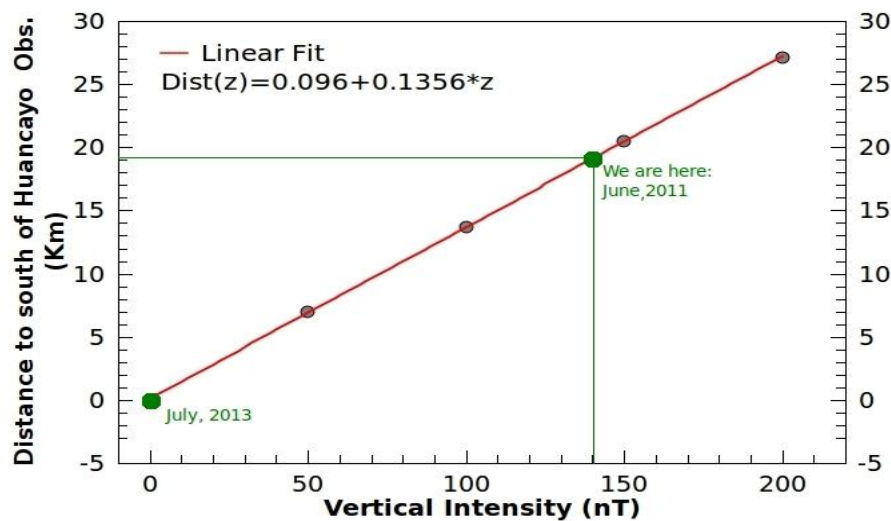


Figura 3 Distancia a la que se encuentra el ecuador magnético respecto al Observatorio de Huancayo en función de la magnitud de la Intensidad Vertical.



Conclusiones

Son pocos los observatorios geomagnéticos que tienen el privilegio de estar ubicados en un lugar estratégico para poder registrar eventos importantes que contribuyen al desarrollo del conocimiento científico, el Observatorio de Huancayo es uno de esos observatorios privilegiados que por azar del destino fue ubicado prácticamente sobre la “zona del ecuador geomagnético”, esta ubicación estratégica ha contribuido a importantes descubrimientos y su estudio como son: el “efecto Forbush”, el “electrochorro ecuatorial”, así mismo en Julio de 1997 se pudo registrar el paso de la Declinación de positivo a negativo (es decir del Este hacia el Oeste), y en Julio del 2013 se tendrá otra experiencia más que muchos científicos geomagnetistas desearían poder experimentar este evento.

- El ecuador geomagnético paso por el Observatorio de Huancayo en Marzo de 1917 cinco años antes del inicio de registro continuo del campo magnético terrestre (1 de Marzo 1922), por lo que nunca se tuvo la oportunidad de registrar el paso del ecuador geomagnético hacia el Sur del observatorio. En Julio del 2013 nos brindara la oportunidad única de poder registrar por primera vez el paso del ecuador hacia el Norte del observatorio.
- El desplazamiento máximo hacia el sur del ecuador magnético respecto al Observatorio de Huancayo se produjo entre el 17 y 19 de Mayo de 1938.
- La comparación de la variación de la magnitud de la intensidad vertical del campo magnético mediante el modelo IGRF-11 con la extrapolación lineal a partir de los datos de observaciones absolutas tomados en los últimos 3 años en el observatorio de Huancayo nos permite inferir que según las observaciones absolutas el ecuador magnético estará en el observatorio en Julio del 2013 y según el modelo IGRF-11 se estima que será en noviembre del 2013, existiendo una diferencia entre ambas estimaciones de 5 meses.
- Actualmente (Junio del 2011) el ecuador magnético se encuentra a 18 kilómetros al sur del Observatorio de Huancayo.
- La velocidad de desplazamiento del ecuador magnético es de 8.6 kilómetros por año.

Recomendaciones

- Se recomienda realizar mediciones absolutas periódicas con un magnetómetro DIFLUX y un magnetómetro de protones en la zona donde actualmente se encuentra el ecuador magnético a fin de determinar experimentalmente su velocidad de desplazamiento y comparar con el valor obtenido teóricamente de 8.6 kilómetros por año.
- El Observatorio de Huancayo actualmente es uno de los pocos observatorio ubicados en la zona del ecuador geomagnético, la experiencia de realizar mediciones geomagnéticas en dicha zona son muy distintas a cualquier otro lugar de la superficie terrestre, por lo que concita mucho interés principalmente por los observadores geomagnetistas el poder realizar mediciones en el ecuador las cuales son experiencias irrepetibles, por lo que se recomienda programar para el mes Julio del 2013 una sesión internacional de mediciones absolutas e intercomparación de instrumentos en el Observatorio Geomagnético de Huancayo, Perú.

Referencias

FINLAY, C., Maus S., Lowes F., Lesur V., Olsen N., Sabaka T., Macmillan S., McLean S., Thébault E., Bondar T., and Chambodut A., Evaluation of candidate geomagnetic field models for IGRF-11, Earth Planets and Space, Vol. 62, pp. 787-804, Terra Scientific Publishing Company, 2010.



GARAVITO, C., Variación del campo magnético terrestre en Bogota, desde 1801 hasta 1988, Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias Geográficas, Vol. 39, N° 122-123, 1988-1989.

GIESECKE, A. A., Casaverde M., Ledig P. G., Valores Horarios Geomagneticos y Magnetogramas 1948 – 1949, Instituto Geofísico del Perú, Vol. I, Perú, 1962.

JOHNSTON, H. F., McNish A. G., Forbush S. E., Scott W. E., Balsam E., Ledig P. G., Magnetic Results from Huancayo Observatory, Peru, 1936 - 1944, Researches of the Department of Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution of Washington, Vol. X-B 175, 1948.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOMAGNETISM AND AERONOMY (IAGA), Division V, Working Group VMOD: Geomagnetic Field Modelling 2005. The 10th Generation International Geomagnetic Reference Field. Geophysical Journal International, No. 161, 561-565, 2005.

MACMILLAN, S., IGRF – International Geomagnetic Reference Field - History of the IGRF, 2007.

Paz-Soldan, M. R., Ensayo de una teoría del magnetismo terrestre en el Perú, Imprenta J. M. Noriega, Lima, 1869.

RIVEROS-ZUÑIGA, F., La Exploración Científica del Mar Chileno, II El viaje de la corbeta “La Coquille” (1822-1825), Revista de Biología Marina, Vol. II, N° 1, pp. 43-66, 1949.

RIVEROS-ZUÑIGA, F., La Exploración Científica del Mar Chileno, III El viaje del Padre Luis Feuillée de 1707 a 1711, Revista de Biología Marina, Vol. III, N° 1 y 2, pp. 20-51, 1951.

RUSH, T., Los viajes de Humboldt a Centro y Sudamerica, Schiller Institute, 2004.