

RELACIÓN ENTRE EL DATUM VERTICAL ECUATORIANO Y UNA SUPERFICIE DE REFERENCIA GLOBAL MEJORADA POR MEDIO DE LA TÉCNICA RTM



José L. Carrión S.¹, Henry Montecino C.^{1,2}, Silvio R. C. De Freitas¹
¹ Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Brasil
² Departamento de Ciências Geodésicas y Geomática, Universidad De Concepción, Chile

josecarriónsa@gmail.com; henrymontecino@gmail.com; sfreitas@ufpr.br



1. Introducción

Los países de América Latina, no disponen de una referencia única para las alturas, ellos definen sus *data* verticales asociados a superficies de nivel determinadas por la variación del nivel del mar en un determinado periodo de observaciones. Para que el Sistema de Referencia Vertical Ecuatoriano (SRVE), pueda adaptarse a un Sistema Global de Alturas (SGA), es necesario establecer relaciones espacio temporales entre las componentes particulares que dieron origen al referencial local, y aquellas componentes asociadas al potencial gravitacional terrestre que permiten definir una superficie de referencia de carácter global. El cálculo de las discrepancias entre los *Data* Verticales Locales (DVL) en relación a un *Datum* Vertical Global (DVG), es de fundamental importancia para el establecimiento de un SGA y constituye en la actualidad uno de los principales temas de estudio de la Geodesia. En el presente trabajo se realiza una primera aproximación a la determinación de la relación existente entre el SRVE y una superficie global definida por los Modelos de Geopotencial Global (MGGs) GOCONS-TIM-R5 e EGM2008, mejorados a través de la técnica de Modelaje Residual del Terreno (Residual Terrain Model - RTM) usando los Modelos Digitales de Elevación (MDE) ETOPO1 - Global Relief Model y Global Multi-Resolution Topography (GMRT).

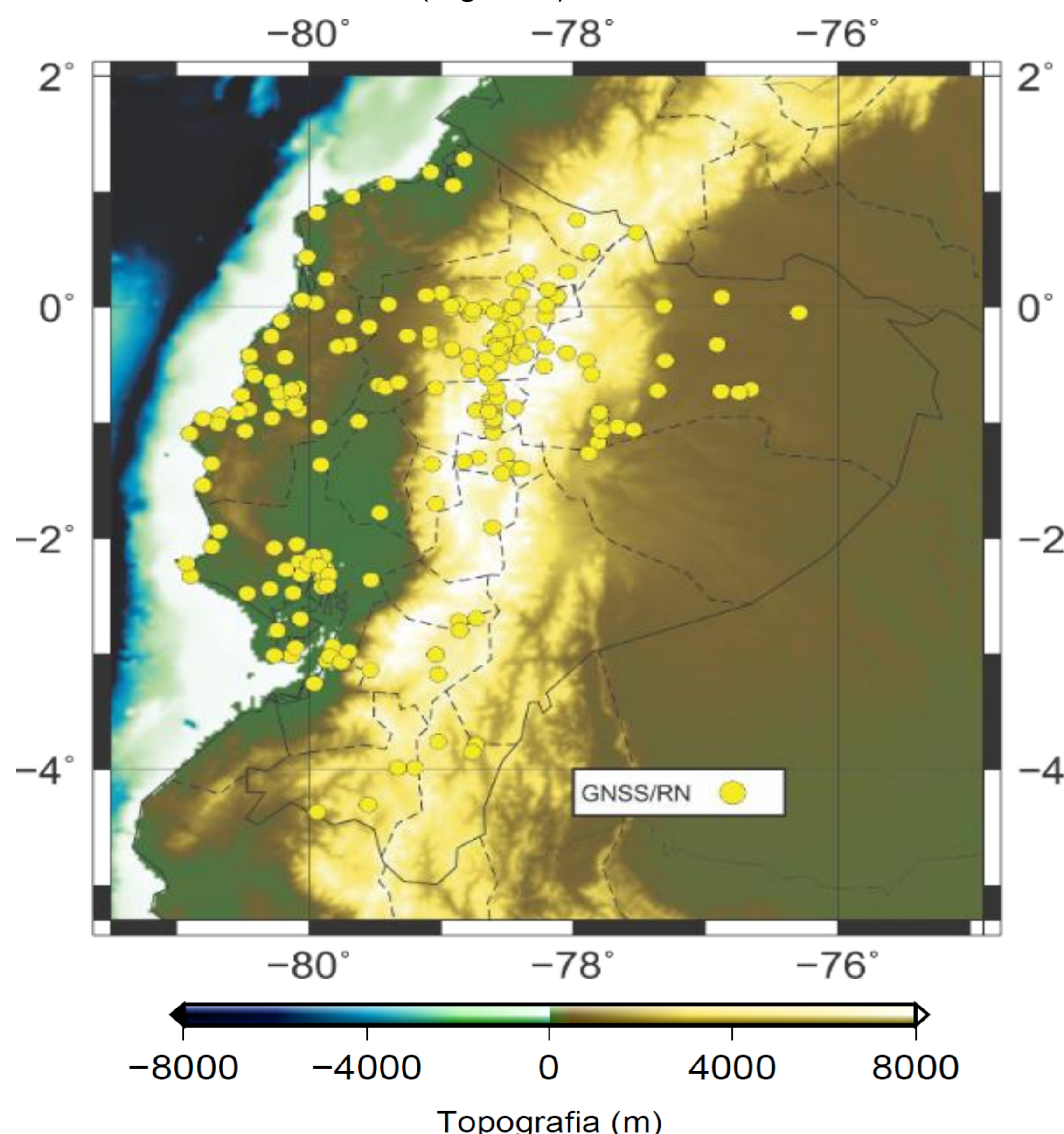
2. Datos y métodos

2.1 Región de Estudio

El estudio fue realizado en la zona delimitada por la distribución puntos disponibles de la Red de Nivelación Fundamental de Ecuador (RNFE), los cuales han sido ocupados por posicionamiento GNSS. Estos puntos están localizados en la región comprendida por las coordenadas:

$$-4^{\circ} 22' < \phi < 1^{\circ} 16' \text{ e } -80^{\circ} 55' < \lambda < -76^{\circ} 17'$$

Ecuador tiene una topografía irregular con alturas sobre el Nivel Medio del Mar (NMM) que alcanzan los 6313m en la región de la Cordillera de Los Andes (Figura 1).



2.2 Datos

La aplicación de la metodología demanda disponer de referencias de nivel (GNSS/RN) distribuidas en el área de estudio, además Modelos Globales de Geopotencial (MGGs), e Modelos Digitales de Elevación (MDEs). El sistema de mareas usado para todos los datos y modelos fue *tide free*. Los datos usados en esta metodología fueron referencias de nivel, MMG y modelos digitales de elevación

Alturas niveladas y elipsoidales

Un total de 240 puntos de la RNFE con datos de nivelación y GNSS levantados por el Instituto Geográfico Militar – Ecuador fueron levantados en este estudio [5]. Las coordenadas están referidas al marco de referencia SIRGAS (ITRF94) época de referencia 1995.4. Las alturas niveladas tienen una tolerancia de cierre de $4 \text{ mm } \sqrt{k}$, por su parte las alturas elipsoidales presentan una precisión del orden de 10 cm [5].

Modelos de Geopotencial Global (MGGs)

Dos MGGs fueron usados, el primero es el modelo solo satélite denominado GO_CONS_GCF_2_TIM_R5, basado en datos provenientes de la misión *Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer* (GOCE) expandido hasta el grado y orden 280 (resolución espacial ~ 70 km), el otro MGG es el EGM2008 con desarrollo en armónicos esféricos de grado 2190 y orden 2159 (resolución espacial ~ 9 km) [2]. Los modelos fueron obtenidos de ICGEM.

Modelos Digitales de Elevación (MDEs)

Con la finalidad de determinar el efecto de la topografía local sobre el potencial gravitacional, fue usado el MDE ETOPO1 con resolución espacial de 1 minuto de arco (~ 1.85 km) [1], y el MDE Global Multi-Resolution Topography (GMRTv2.0) con resolución espacial de 30 m [7].

2.3 Métodos

Para la determinación de la relación del SRVE con un SGA fue utilizado el método geodésico, este se basa en el cálculo de diferencias entre una superficie de referencia local (SRL) determinada por el cálculo de ζ obtenido de datos GNSS/RN (Eq.1) y una Superficie de Referencia Global (SRG) determinada por anomalías de altura (ζ) provenientes de los MGGs (Eq. 2) [6]. Para el presente estudio la determinación de la SRG a través de los MGGs fue complementada empleando la técnica RTM. El promedio de las diferencias calculadas para cada punto (Eq. 4), puede ser interpretado como la discrepancia del (DVL) al cual están referidas las alturas H_{NIV} .

$$\zeta_{GNSS/RN} \approx h - H_{NIV} \quad (1)$$

$$\zeta = \frac{GM}{r} \left[\sum_{n=2}^{n_{max}} \left[\frac{a_n}{r} \right] \sum_{m=0}^n \bar{c}_{nm} \cos m\lambda + \bar{s}_{nm} \cos m\lambda \sin m\lambda \right] \bar{P}_{nm}(\sin\phi) \quad (2)$$

El efecto de la alta frecuencia del geopotencial es calculado empleando la técnica RTM [3] en la forma del efecto resultante para la anomalía de altura ζ_{RTM} . La técnica RTM requiere el uso de la topografía residual obtenida del proceso de filtrado de las largas longitudes de onda sobre un modelo de alta resolución espacial, en este caso el GMRT v2.0. La componente de altísima resolución es obtenida del RTM y permite idealmente complementar el espectro del geopotencial, dicha componente es estimada por integración numérica de prismas, asumiendo un valor constante para las densidades de las masas topográficas.

El efecto de la topografía residual sobre el geopotencial es considerado; el aporte de las largas y medias longitudes de onda del MDE GMRT es removido por medio de un filtro de paso alto que es aplicado a través del MDE de menor resolución ETOPO1, la componente correspondiente a la baja y media frecuencia del potencial gravitacional es modelada por los MGGs [8]. La integración numérica de los prismas y el cálculo del efecto RTM fueron realizados con el software TC-GRAVSOFT [4].

El cálculo de ζ para definir la SRG, es realizado, según se muestra en la Eq. 3 por la composición de bandas del geopotencial; GO_CONS_GCF_2_TIM_R5 para la baja frecuencia, EGM2008 (280-2190) para la media frecuencia y RTM para la alta frecuencia.

$$\zeta^{GGM+RTM} = \zeta_{GOCONS} + \zeta_{EGM08(280-2190)} + \zeta_{RTM} \quad (3)$$

Una vez calculados los valores de ζ que provienen de los MGGs y del efecto RTM, es posible calcular la discrepancia vinculada con el DVL según la Eq. 4.

$$\bar{\delta}\zeta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_i^{GNSS/RN} - \zeta_i^{GGM+RTM} \quad (4)$$

3. Resultados

De los resultados obtenidos de la Eq. 4, considerando cuatro soluciones para la determinación de ζ asociado a una SRG (Tabla 1), se puede apreciar que en todos los casos las discrepancias calculadas ($\bar{\delta}\zeta$) tienen una tendencia negativa. (Figura 2).

- El aporte de las cortas longitudes de onda en la solución IV, resulta en un $\bar{\delta}\zeta$ de ~ 4.5 cm, siendo el menor valor de discrepancia obtenido, presentando una leve reducción del EMC al ser comparado con las soluciones I y III, pero no menor que el EMC obtenido para la solución proveniente de EGM2008.
- Un análisis realizado considerando una SRG determinada por alturas geoidales sería necesario para definir en función de la magnitud de las discrepancias calculadas si el SVRE se encuentra más próximo de un sistema de alturas ortométricas o de uno de alturas normales.

Tabla 1: Discrepancias calculadas para as soluciones propuestas

Solução	Combinação de modelos	$\bar{\delta}N$ (m)	EMC(m)
I	$N_{GNSS/RN} - \zeta_{GOCONS}$	-0,359	0,995
II	$N_{GNSS/RN} - \zeta_{EGM2008}$	-0,179	0,655
III	$N_{GNSS/RN} - \zeta_{(GOCONS+RTM)}$	-0,242	1,017
IV	$N_{GNSS/RN} - \zeta_{(GOCONS+ (EGM2008 280-2190) + RTM)}$	-0,045	0,700

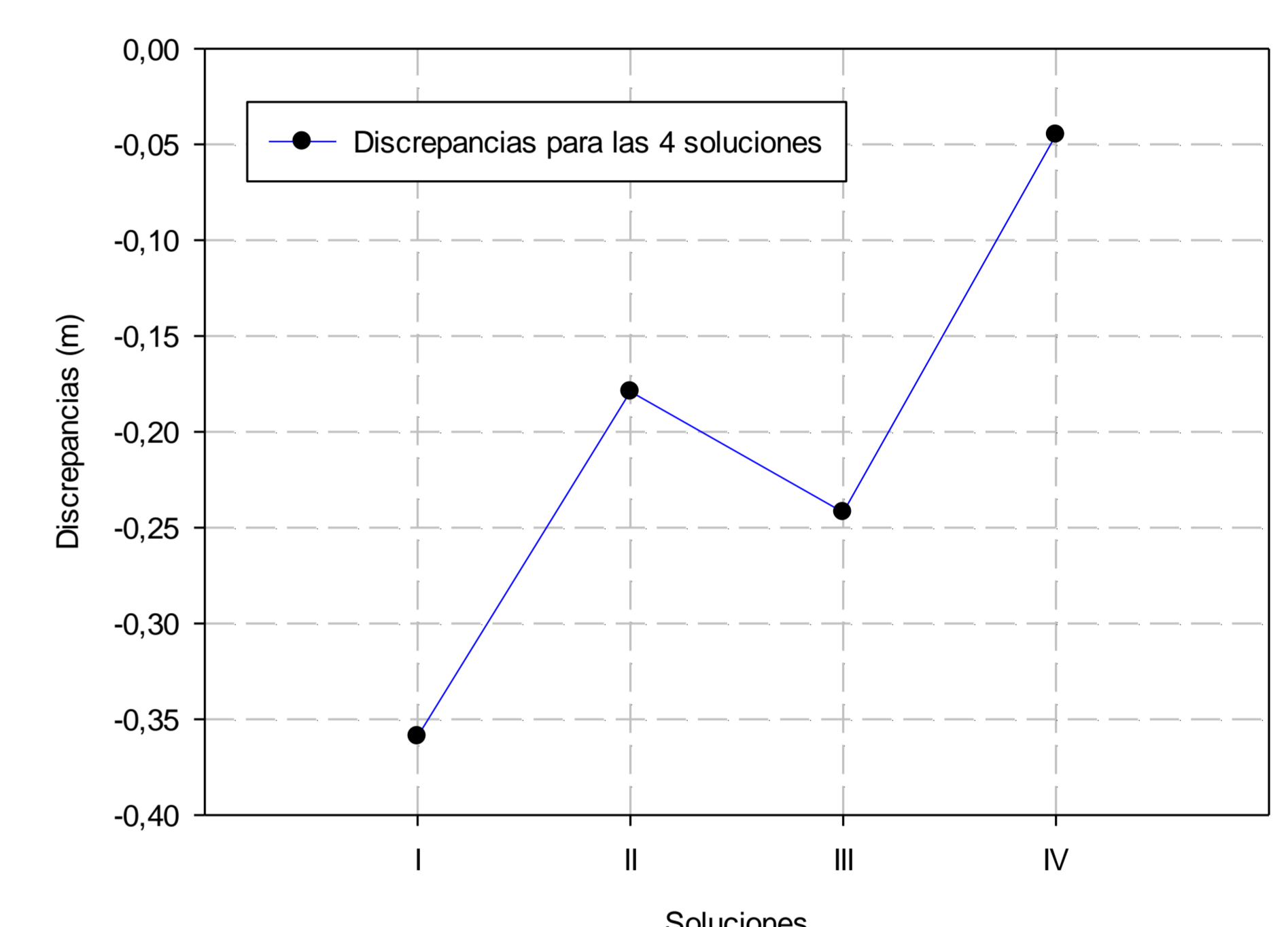


Figura 2: Discrepancias Vs. Soluciones. Fuente: Los autores

4. Consideraciones Finales

- Las discrepancias calculadas para todas las soluciones representan una componente sistemática de pequeñas proporciones asociada con la separación entre el SVRE y los diferentes SGA adoptados. La componente correspondiente a la alta frecuencia del potencial gravitacional y relacionada con los efectos locales, supera en magnitud al efecto sistemático vinculado al offset del SVRL.
- Los EMCs contienen la variabilidad correspondiente al contraste de los efectos locales provenientes de las observaciones GNSS/RN con las aproximaciones globales del potencial gravitacional terrestre, adicionalmente contienen la variabilidad asociada con la discrepancia del DVL, por causa de la pequeña magnitud de este último componente, no es posible que sea separado del componente total.
- La comparación de los datos GNSS/RN con los MGGs mejorados con la técnica RTM, resulta en la determinación de magnitudes de orden centimétrica, lo cual puede ser explicado por una proximidad de la superficie de referencia local W_0^i con la superficie de referencia global W_0 .

Agradecimientos

- El presente trabajo no hubiera podido ser realizado sin el apoyo económico de: Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), Universidad de Concepción (UdeC),

Referencias

- Amante, C., & Eakins, B. (2009). ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24.
- Burša, M., Kenyon, S., Kouba, J., Šíma, Z., Vátr, V., & M., V. (2004). A Global Vertical Reference Frame Based On Four Regional Vertical Datums. *Studia Geophysica Et Geodaetica*, 48, 493-502.
- Forsberg, R., & Tscherning, C. (10 de 1981). The use of Height Data in Gravity Field Approximation by Collocation. *Journal of Geophysical Research*, 7843-7854.
- Forsberg, R., & Tscherning, C. (2008). Geodetic Gravity Field Modelling Programs. University of Copenhagen, Niels Bohr Institute, Copenhagen.
- IGM. (2005). Proyecto SIRGAS Ecuador. Caracas: Reuniones Técnicas SIRGAS.
- Pavlis, N., Holmes, S., S., K., & Factor, J. (2012). The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008. *Journal of Geophysical Research*(117).
- Ryan, W., Arko, R., Carbotte, S., Melkonian, A., Coplan, J., Hara, S., . . . Stroker, K. (2009). THE GLOBAL MULTI-RESOLUTION TOPOGRAPHY (GMRT) SYNTHESIS. Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, NY USA.
- Tscherning, C. (2001). Geoid determination after the first satellite gravity. (241), 11-24.