

Simposio SIRGAS 2015

y VII Escuela SIRGAS en Sistemas de Referencia

Santo Domingo, República Dominicana
Noviembre 16 - 20, 2015

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), Km 7 1/2, Av. John F. Kennedy, Santo Domingo 1423, República Dominicana

“VALIDACIÓN DEL FUNCIONAL ONDULACIÓN GEOIDAL MEDIANTE MODELOS GLOBALES DEL GEOPOTENCIAL Y OBSERVACIONES TERRESTRES EN EL ECUADOR”

Andrade Bryan, Román Alejandra, Santacruz Andrea, Tierra Alfonso



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Con los pies sobre la Tierra peso con la mente en el Espacio

biandrade@espe.edu.ec
abroman@espe.edu.ec
andreasantacruzj@gmail.com
artierra@espe.edu.ec

Problema



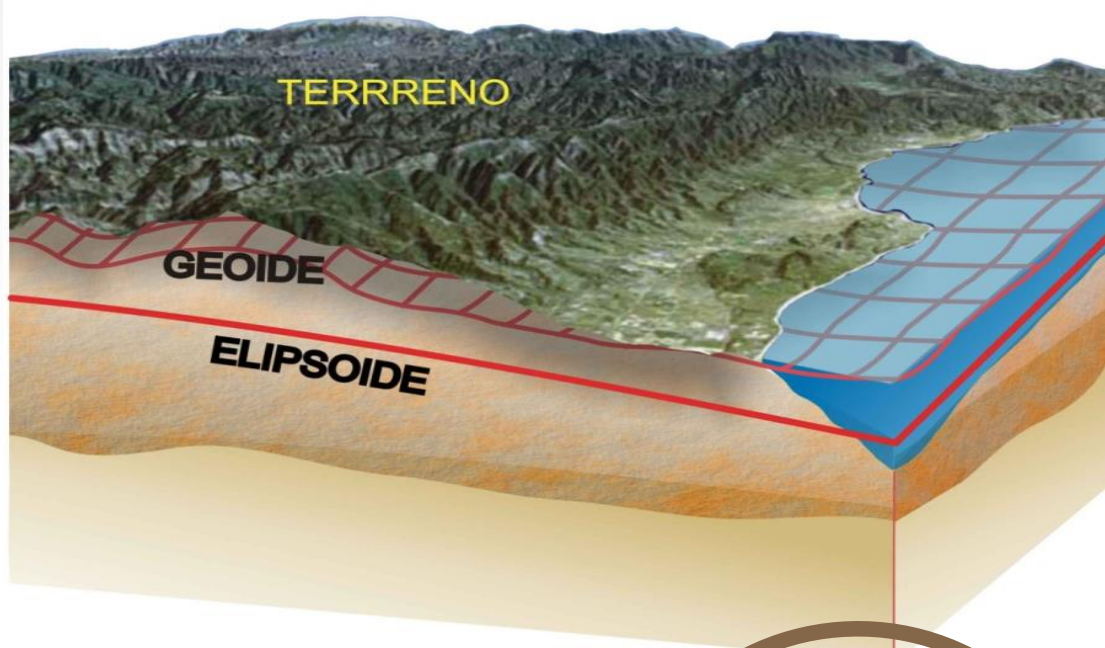
Obtener datos confiables y precisos para trabajos de ingeniería.

- **Alturas de tipo geométrica:**
Altura elipsoidal GPS/GNSS

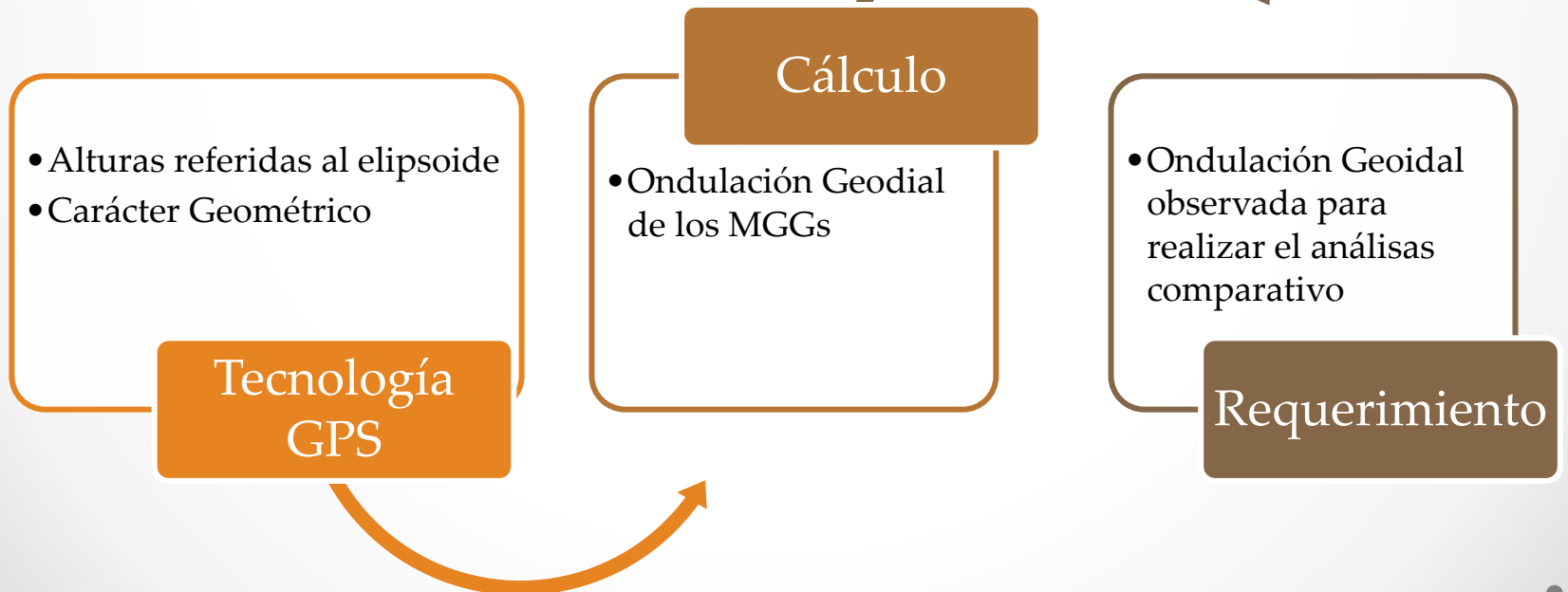


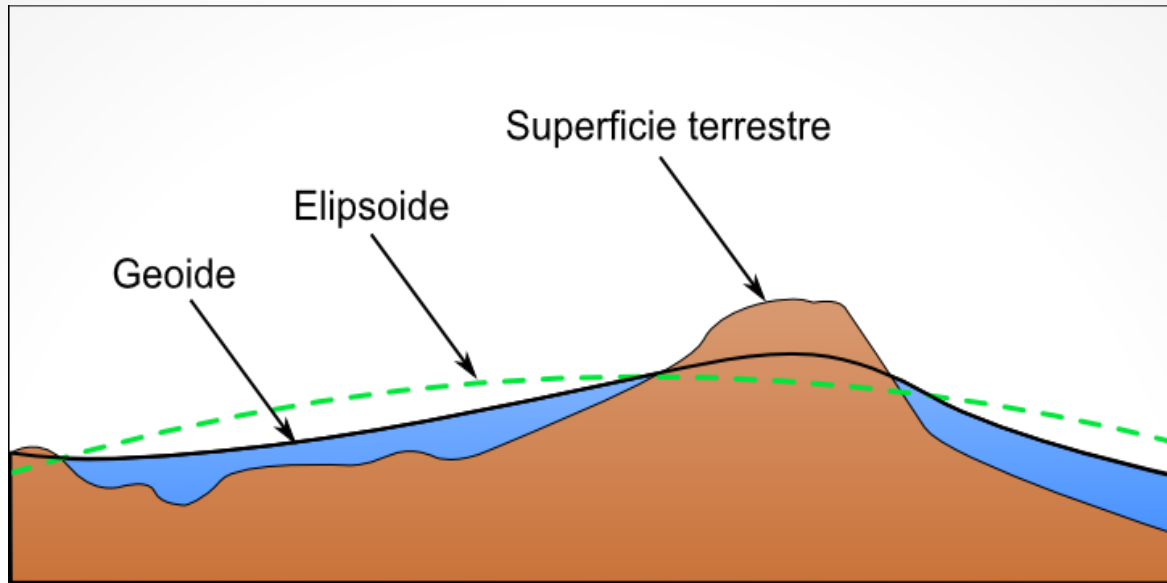
- **Alturas de tipo física**
Calculada mediante ondulación geoidal o gravimetría





(INEGI, 2015)





$$h = H + N$$

$$N \cong h - H$$

(Jekeli, 2000)

N: Ondulación Geoidal

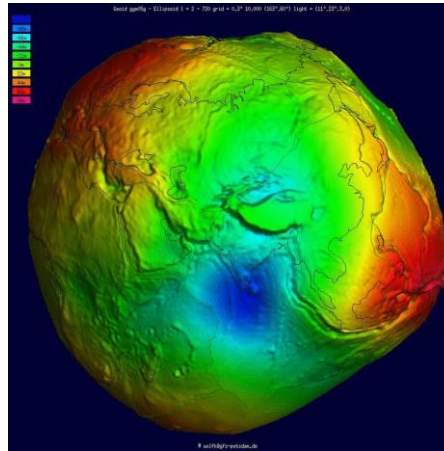
H: Altura Ortométrica

h: Altura Elipsoidal

Objetivo

- Evaluar las ondulaciones geoidales para la zona del Ecuador continental a partir de los modelos que tienen únicamente datos satelitales como son: GOCO05S, GGM05S, GGM05G, ITSG-2014GRACE-K, así como también el Earth Gravitational Model 2008 (EGM08) que es un modelo combinado.

Modelos Globales del Geopotencial (MGG's)

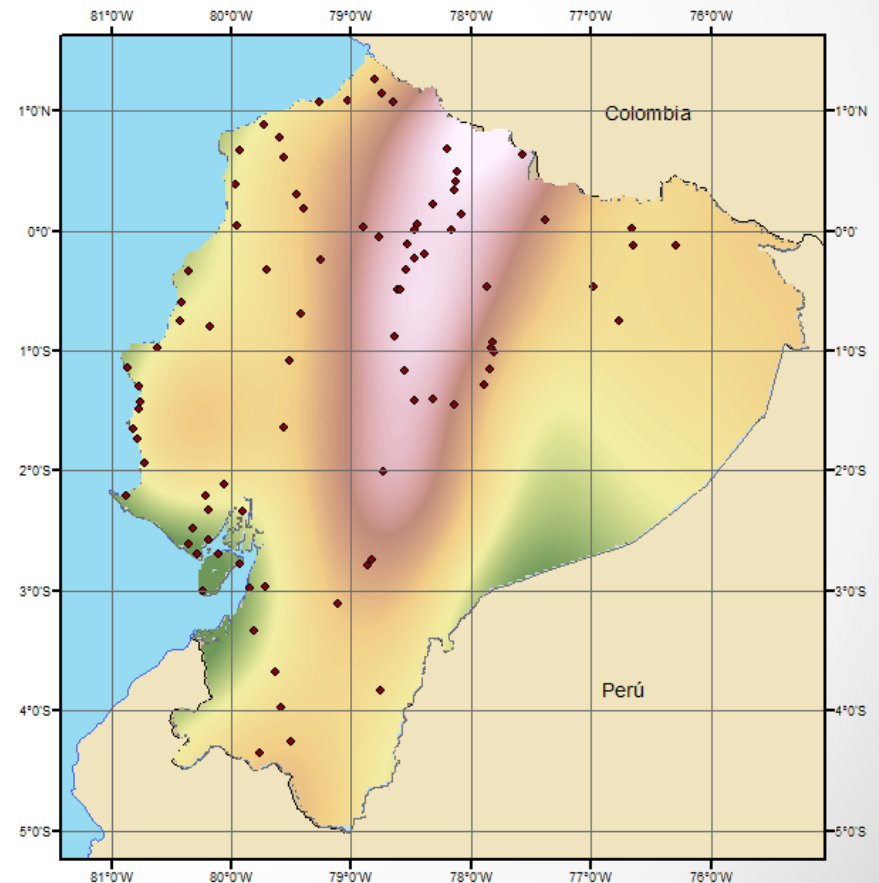


(ICGEM, GGM05g, 2015)

MODELO	GRADO	AÑO	Autor
GOCO05S	280	2015	Mayer-Gürr, et al. 2015
GGM05G	180	2015	Bettadpur et al, 2015
GGM05S	240	2014	Tapley et al, 2013
ITSG-2014GRACE-K	200	2014	Mayer-Gürr et al, 2014
EGM2008	2190	2008	Pavlis et al, 2008

Área de estudio datos de evaluación

- Ecuador Continental
- Puntos de evaluación
 - GPS (precisión geodésica)
 - Nivelación geométrica $4mm\sqrt{k}$



90 Puntos de Evaluación

Las coordenadas geodésicas están referidas a SIRGAS ECUADOR (ITRF2008 y época 2014.0). Elipsoide GRS80

Las Alturas Niveladas, están referidas al datum vertical local "La Libertad"

N Est	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	h (GPS)	Hn (NIV)	N obs.
1000	IL-SL-96	1.26302294	-78.79766	55.715	36.876	18.839
1001	IL-SL-87	1.14535833	-78.74270	56.861	36.095	20.766
1002	V-L6-39A	1.06587274	-79.26945	23.001	5.912	17.089
1003	ES-M-6A	0.88415095	-79.73144	115.225	99.924	15.301
1004	P-E-66	0.66794533	-79.92849	50.094	35.405	14.689
1005	P-E-41	0.38631776	-79.96698	67.254	52.350	14.904
1006	CP43	0.03608991	-79.95064	277.119	261.643	15.476
1007	SV-J-21	-0.33422148	-80.35117	194.618	180.462	14.156
1008	SA-SV-17B	-0.59509675	-80.40904	17.025	3.004	14.021
1009	M-M-B-106	-0.74834744	-80.42656	156.694	142.405	14.289

Corrección Sistema de Mareas



$$\Delta H_m - \Delta H_n = 29.6 \gamma (\sin^2 \varphi_N - \sin^2 \varphi_S) \text{ cm}$$

(Ekman, 1988)

Metodología



The screenshot shows a web browser window with the address bar containing `icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/`. The page features the IAG logo, the GFZ Helmholtz Centre Potsdam logo, and the ICGEM acronym in large letters. A blue arc is positioned below the acronym. The main heading reads "International Centre for Global Earth Models (ICGEM)". A left-hand navigation menu includes links such as "ICGEM Home", "Table of Models", "Models from Dedicated Time Periods", "Models related to Topography", "Evaluation of Models", "References", "Theory", "3D Visualization", "Calculation Service", "3D Visualization of Monthly Models", "3D Visualization of Spherical Harmonics", and "Time varying gravity (G^s Browser)". A red box highlights the "Table of Models" link, with a red arrow pointing to the "Table of Models" link in the main content area. Below the heading, a paragraph states that ICGEM is one of six centres of the International Gravity Field Service (IGFS) of the International Association of Geodesy (IAG). A list of the other five centres is provided.

icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/

GFZ
Helmholtz Centre
POTSDAM

ICGEM

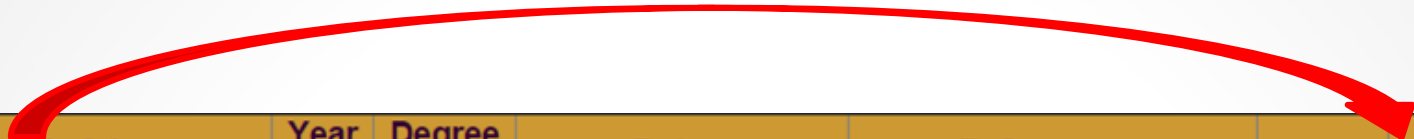
International Centre for Global Earth Models (ICGEM)

ICGEM is one of six centres of the International Gravity Field Service (IGFS) of the International Association of Geodesy (IAG). The other five Centres are

- Bureau Gravimetric International (BGI) at CNES / CRGS, Toulouse, France
- Digital Elevation Model Centre (DEM) at Montfort University, UK
- International Centre for Earth Tides (ICET) at University of French Polynesia
- International Geoid Service (IGeS) at Politecnico di Milano, Milan, Italy
- Technical Support Centre of IGFS at NGA, Saint Louis, USA

Services of ICGEM

Selección de Modelos



Nr ▲	Model #	Year #	Degree #	Data #	Reference #	download	calculate	show	doi
151	GGM05G	2015	240	S(Grace,Goce)	Bettadpur et al, 2015	gfc zip	calculate	show	
150	GOCO05s	2015	280	S(see model)	Mayer-Gürr, et al. 2015	gfc zip	calculate	show	
149	GO_CONS_GCF_2_SPW_R4	2014	280	S(Goce)	Gatti et al, 2014	gfc zip	calculate	show	
148	EIGEN-6C4	2014	2190	S(Goce,Grace,Lageos),G,A	Förste et al, 2014	gfc zip	calculate	show	✓
147	ITSG-Grace2014s	2014	200	S(Grace)	Mayer-Gürr et al, 2014	gfc zip	calculate	show	
146	ITSG-Grace2014k	2014	200	S(Grace)	Mayer-Gürr et al, 2014	gfc zip	calculate	show	
145	GO_CONS_GCF_2_TIM_R5	2014	280	S(Goce)	Brockmann et al, 2014	gfc zip	calculate	show	
144	GO_CONS_GCF_2_DIR_R5	2014	300	S(Goce,Grace,Lageos)	Bruinsma et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
143	JYY_GOCE04S	2014	230	S(Goce)	Yi et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
142	GOGRA04S	2014	230	S(Goce,Grace)	Yi et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
141	EIGEN-6S2	2014	260	S(Goce,Grace,Lageos)	Rudenko et al. 2014	gfc zip	calculate	show	
140	GGM05S	2014	180	S(Grace)	Tapley et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
139	EIGEN-6C3stat	2014	1949	S(Goce,Grace,Lageos),G,A	Förste et al, 2012	gfc zip	calculate	show	
138	Tongji-GRACE01	2013	160	S(Grace)	Shen et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
137	JYY_GOCE02S	2013	230	S(Goce)	Yi et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
136	GOGRA02S	2013	230	S(Goce,Grace)	Yi et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
135	ULux_CHAMP2013s	2013	120	S(Champ)	Weigelt et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
134	ITG-Goce02	2013	240	S(Goce)	Schall et al, 2014	gfc zip	calculate	show	
133	GO_CONS_GCF_2_TIM_R4	2013	250	S(Goce)	Pail et al, 2011	gfc zip	calculate	show	
132	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4	2013	260	S(Goce,Grace,Lageos)	Bruinsma et al, 2013	gfc zip	calculate	show	
131	EIGEN-6C2	2012	1949	S(Goce,Grace,Lageos),G,A	Förste et al, 2012	gfc zip	calculate	show	
130	DGM-1S	2012	250	S(Goce,Grace)	Farahani, et al. 2013	gfc zip	calculate	show	
129	GOCO03S	2012	250	S(Goce,Grace,...)	Mayer-Gürr, et al. 2012	gfc zip	calculate	show	
128	GO_CONS_GCF_2_DIR_R3	2011	240	S(Goce,Grace,Lageos)	Bruinsma et al, 2010	gfc zip	calculate	show	
127	GO_CONS_GCF_2_TIM_R3	2011	250	S(Goce)	Pail et al, 2011	gfc zip	calculate	show	
126	GIF48	2011	360	S(Grace),G,A	Ries et al, 2011	gfc zip	calculate	show	

Calculadora (Servicio ICGEM)

Model and Reference Selection

Model Directory: longtime models
Model File: ggm05g
Functional: height_anomaly_ell
Tide System: use unmodified model
Zero Degree Term: yes
Reference System: WGS84

Radius: 6378137.0
Flat: 298.257223563
Gm: 3.986004418e+14
Omega: 7.292115e-5

Grid Selection

Grid Step [°]: 1.0
Longitude Limit West [°]: 0
Longitude Limit East [°]: 360
Latitude Limit South [°]: -90
Latitude Limit North [°]: 90
Height over Ellipsoid [m]: 0

Truncation

Maximal Degree: el **
Start Gentle Cut: el **

Gaussian Filtering

Filter Type Definition: ** unused **
Filter Length in Degree [°]:
Filter Length in Meter [m]:

start computation
compute 'height_a - user defined - ggm05g' with 65,341 grid points (est. comp. time ≈ 1 sec)

Buttons: file, Illumination, get grid file, get PS file, get PNG file, input file, show directory

Punto a Punto o Grilla

Grid Selection

Grid Step [°]	<input type="text" value="1.0"/>
Longitude Limit West [°]	<input type="text" value="0"/>
Longitude Limit East [°]	<input type="text" value="360"/>
Latitude Limit South [°]	<input type="text" value="-90"/>
Latitude Limit North [°]	<input type="text" value="90"/>
Height over Ellipsoid [m]	<input type="text" value="0"/>

Límites	Valor
Norte	1.70000
Sur	-4.94750
Oeste	81.25000
Este	75.05165

N Est	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	h (GPS)	Hn (NIV)	N obs.
1000	IL-SL-96	1.26302294	-78.79766	55.715	36.876	18.839
1001	IL-SL-87	1.14535833	-78.74270	56.861	36.095	20.766
1002	V-L6-39A	1.06587274	-79.26945	23.001	5.912	17.089
1003	ES-M-6A	0.88415095	-79.73144	115.225	99.924	15.301
1004	P-E-66	0.66794533	-79.92849	50.094	35.405	14.689
1005	P-E-41	0.38631776	-79.96698	67.254	52.350	14.904
1006	CP43	0.03608991	-79.95064	277.119	261.643	15.476
1007	SV-J-21	-0.33422148	-80.35117	194.618	180.462	14.156
1008	SA-SV-17B	-0.59509675	-80.40904	17.025	3.004	14.021
1009	M-M-B-106	-0.74834744	-80.42656	156.694	142.405	14.289

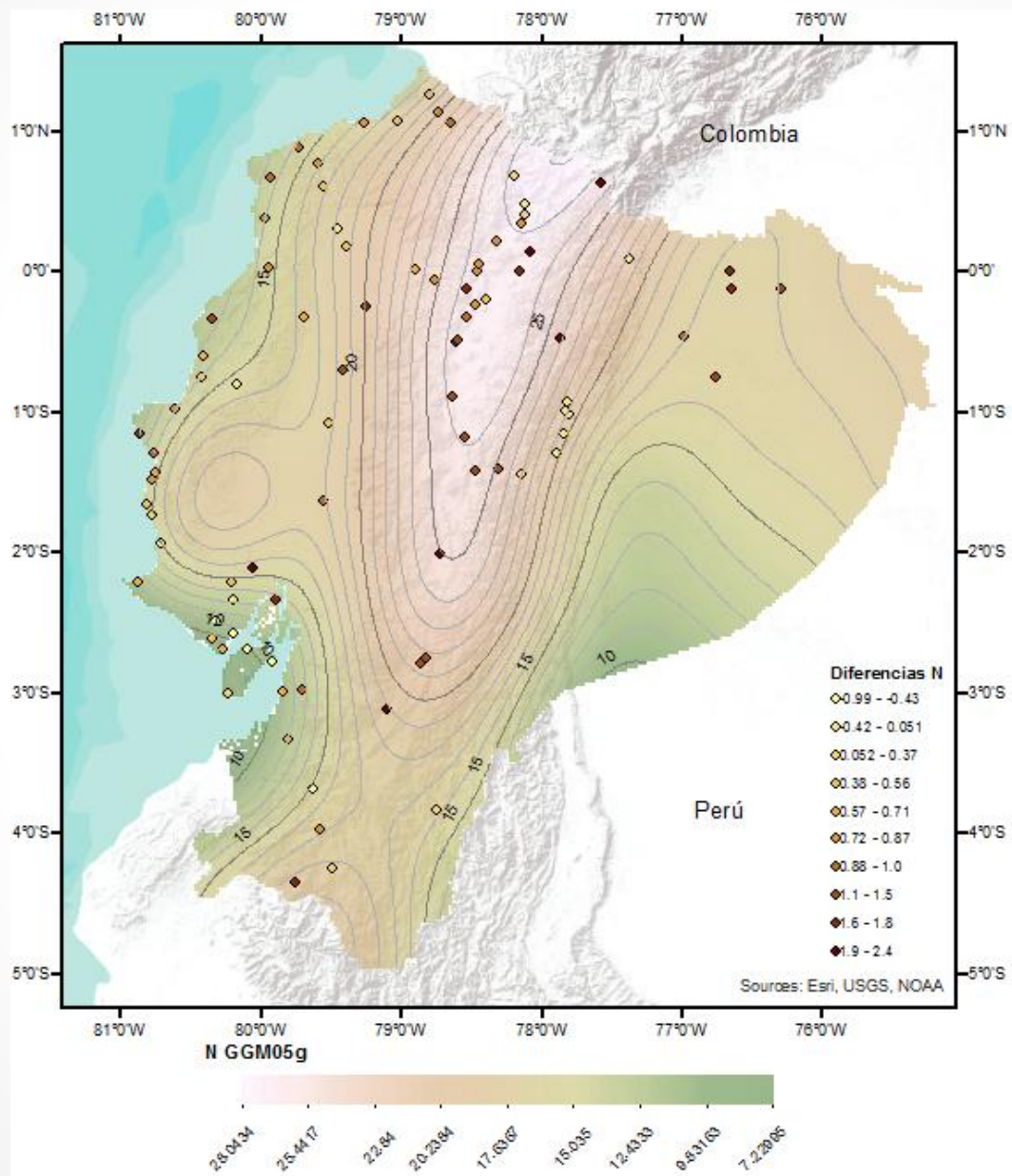
Grid File

generating_institute	gfz-potsdam	grid_format	long_lat_value
generating_date	2015/10/27	longitude	latitude
product_type	gravity_field	[deg.]	[deg.]
body	earth	geoid	[meter]
modelname	ggm05g	end_of_head	=====
max_used_degree	240	278.7500	1.7000
tide_system	tide_free	278.8398	1.7000
functional	geoid	278.9297	1.7000
zero degree term	included	279.0195	1.7000
unit	meter	279.1093	1.7000
crust_density	2670.0 kg/m**3	279.1992	1.7000
refsysname	GRS80	279.2890	1.7000
gmrefpot	3.986005000000E+14 m**3/s**2	279.3788	1.7000
radiusrefpot	6378137.000 m	279.4686	1.7000
flatrefpot	3.352810681183638E-03	279.5585	1.7000
(1/298.25722210088)		279.6483	1.7000
omegarefpot	7.292115000000E-05 1/s	279.7381	1.7000
normal_potential	6.263686085004611E+07 m**2/s**2	279.8280	1.7000
long_lat_unit	degree	279.9178	1.7000
latlimit_north	1.7000000000000	280.0076	1.7000
latlimit_south	-4.9475026949335	280.0975	1.7000
longlimit_west	278.75000000000	280.1873	1.7000
longlimit_east	284.94834710744	280.2771	1.7000
gridstep	0.89831117499102E-01	280.3670	1.7000
latitude_parallels	75	280.4568	1.7000
longitude_parallels	70	280.5466	1.7000
number_of_gridpoints	5250	280.6365	1.7000
gapvalue	999.0000	280.7263	1.7000
weighted_mean	1.5658270E+01 meter	280.8161	1.7000
maxvalue	2.8115428E+01 meter	280.9059	1.7000
minvalue	1.8957680E+00 meter	280.9958	1.7000
signal_wrms	5.5592545E+00 meter	281.0856	1.7000
grid_format	long_lat_value	281.1754	1.7000
		281.2653	1.7000
		281.3551	1.7000
		281.4449	1.7000
		281.5348	1.7000
			9.956216013409
			10.054664707577
			10.123153046376
			10.161815397719
			10.171923096635
			10.155964356508
			10.117660293393
			10.061906540848
			9.994636460309
			9.922609809225
			9.853138999525
			9.793772708348
			9.751962538147
			9.734741759533
			9.748445285206
			9.798496679428
			9.889281406069
			10.024116295638
			10.205314376577
			10.434333032694
			10.711983282462
			11.038670119426
			11.414629356626
			11.840125948210
			12.315582505776
			12.841614359554
			13.418958227042
			14.048294147143
			14.729973373857
			15.463676889256
			16.248038695676
			17.080273974063

Resultados

		Modelo	Promedio	Min	Max	Desv Std	Amplitud
EVALUACIÓN PUNTO A PUNTO	CON ZERO DEGREE	GGM05g	0.788562	-0.987140	2.367237	0.712116	3.079353
		GGM05s	0.925294	-1.319558	3.168736	1.043084	4.211820
		GOCO05s	0.882284	-0.249754	2.474618	0.648065	3.122683
		ITSG-2014GRACE-K	1.001763	-1.365066	3.360459	1.087167	4.447626
		EGM2008	1.184082	0.143061	2.355274	0.447506	2.802780
	SIN ZERO DEGREE	GGM05g	-0.129840	-1.545306	1.429545	0.685136	2.114681
		GGM05s	-0.013754	-2.257277	2.231096	1.043493	3.274589
		GOCO05s	-0.083511	-1.217267	1.507201	0.648318	2.155519
		ITSG-2014GRACE-K	0.063938	-2.302813	2.422818	1.087302	3.510120
		EGM2008	0.246313	-0.794824	1.417487	0.447507	1.864994
EVALUACIÓN POR INTERPOLACIÓN	CON ZERO DEGREE	GGM05g	0.817093	-0.679600	2.391600	0.692027	3.083627
		GGM05s	0.932379	-1.309300	3.216100	1.048464	4.264563
		GOCO05s	0.889538	-0.379350	2.584500	0.657912	3.242412
		ITSG-2014GRACE-K	1.008693	-1.388301	3.399200	1.091683	4.490883
		EGM2008	1.180814	0.159960	2.477599	0.448356	2.925955
	SIN ZERO DEGREE	GGM05g	-0.120634	-1.617400	1.453901	0.692052	2.145953
		GGM05s	-0.005352	-2.247000	2.278400	1.048474	3.326874
		GOCO05s	-0.048193	-1.317050	1.646800	0.657930	2.304730
		ITSG-2014GRACE-K	0.070959	-2.326001	2.461600	1.091686	3.553287
		EGM2008	0.243047	-0.777900	1.539800	0.448362	1.988162

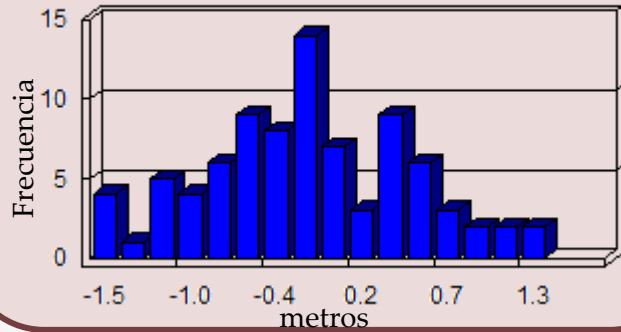
Resultados



Resultados

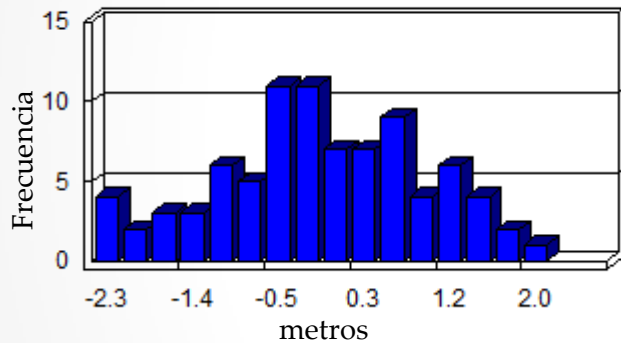
GGM05g

Frequency Distribution



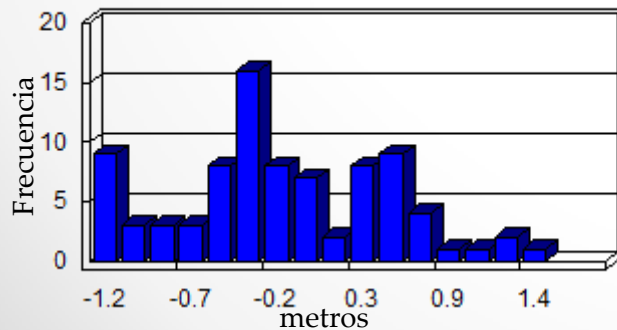
GGM05s

Frequency Distribution



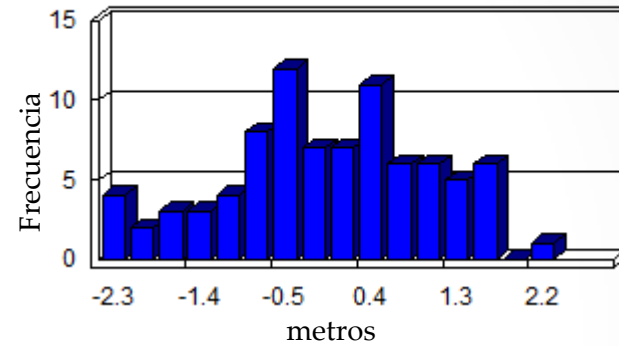
GOCO05s

Frequency Distribution



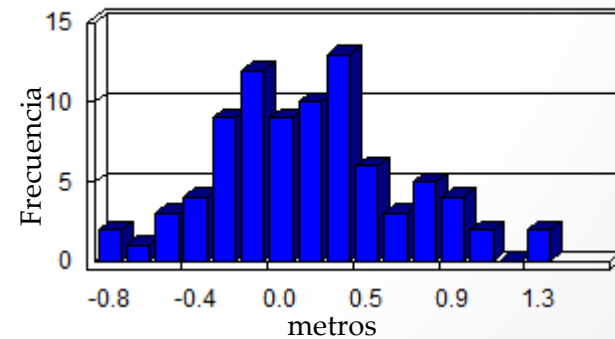
ITSG-2014GRACE-k

Frequency Distribution



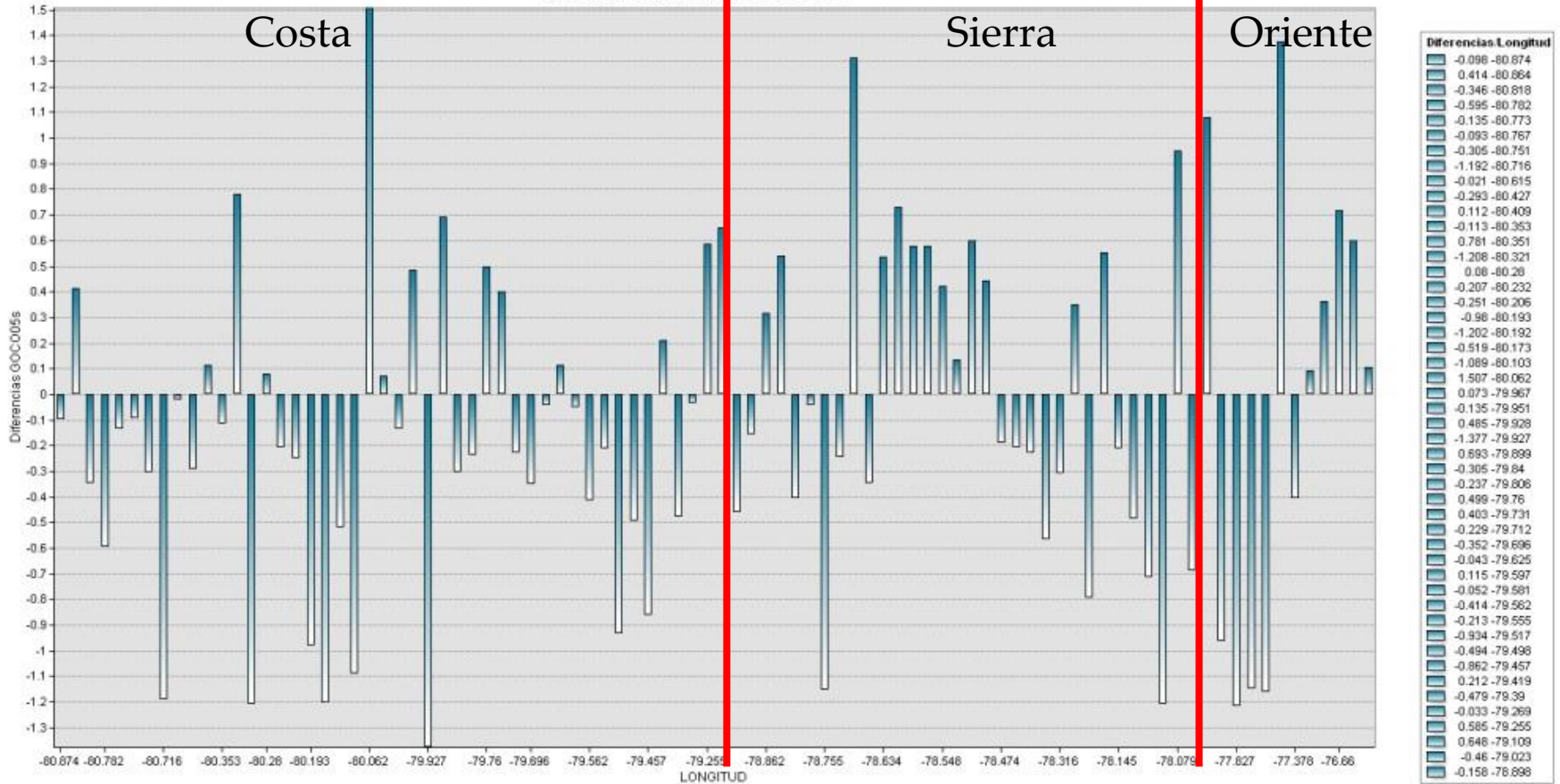
EGM08

Frequency Distribution

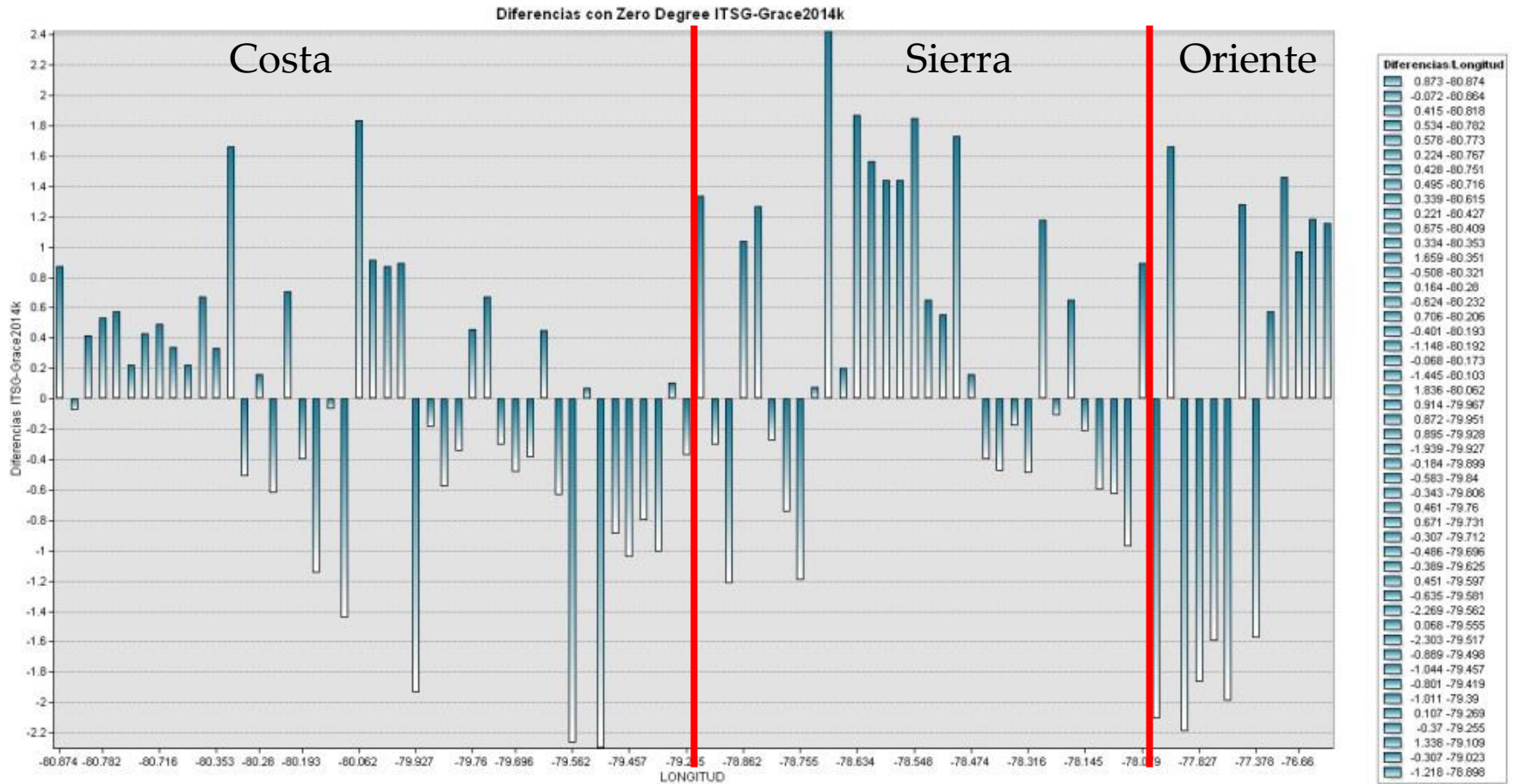


Análisis Longitudinal GOCO05s

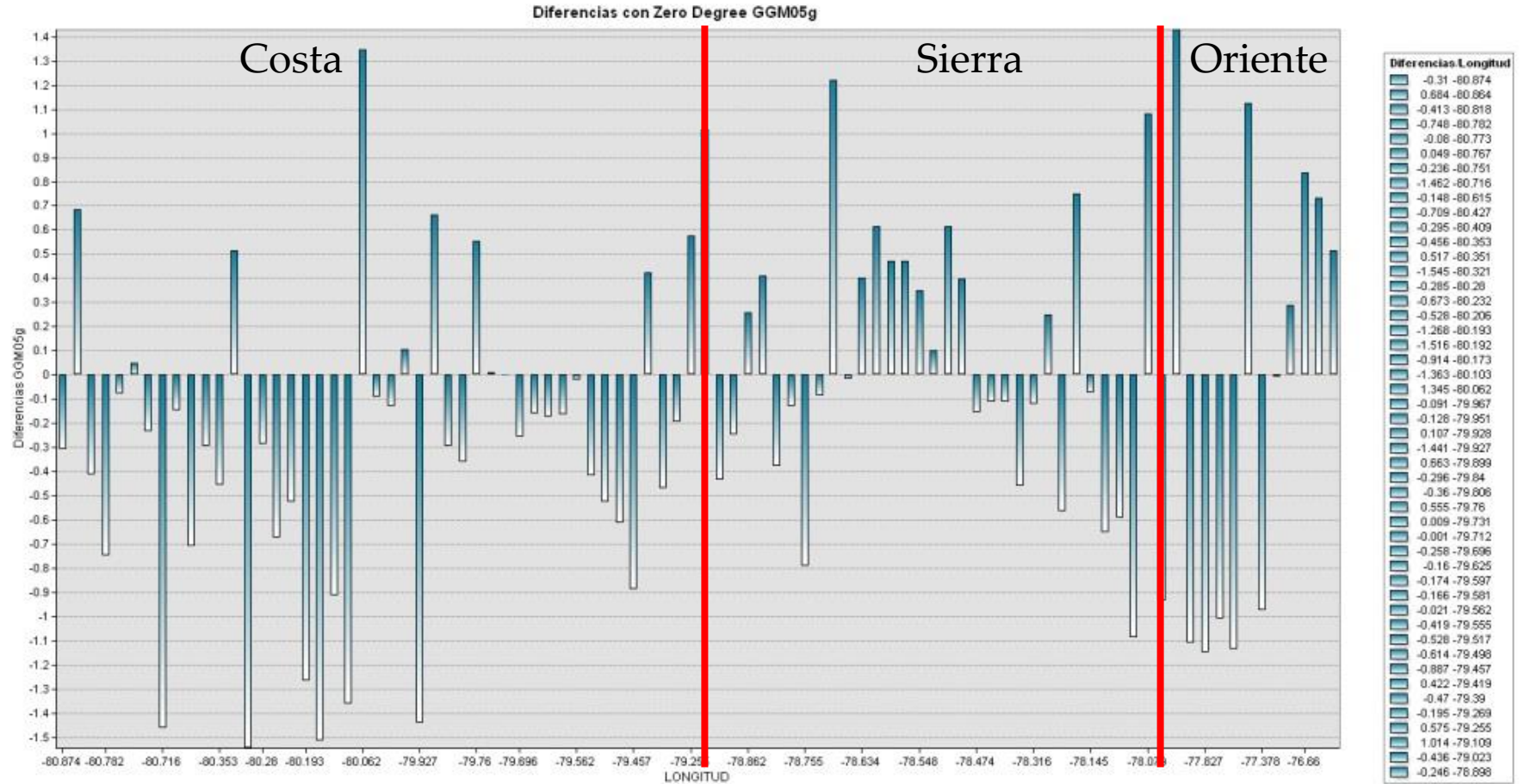
Diferencias con Zero Degree GOCO05s



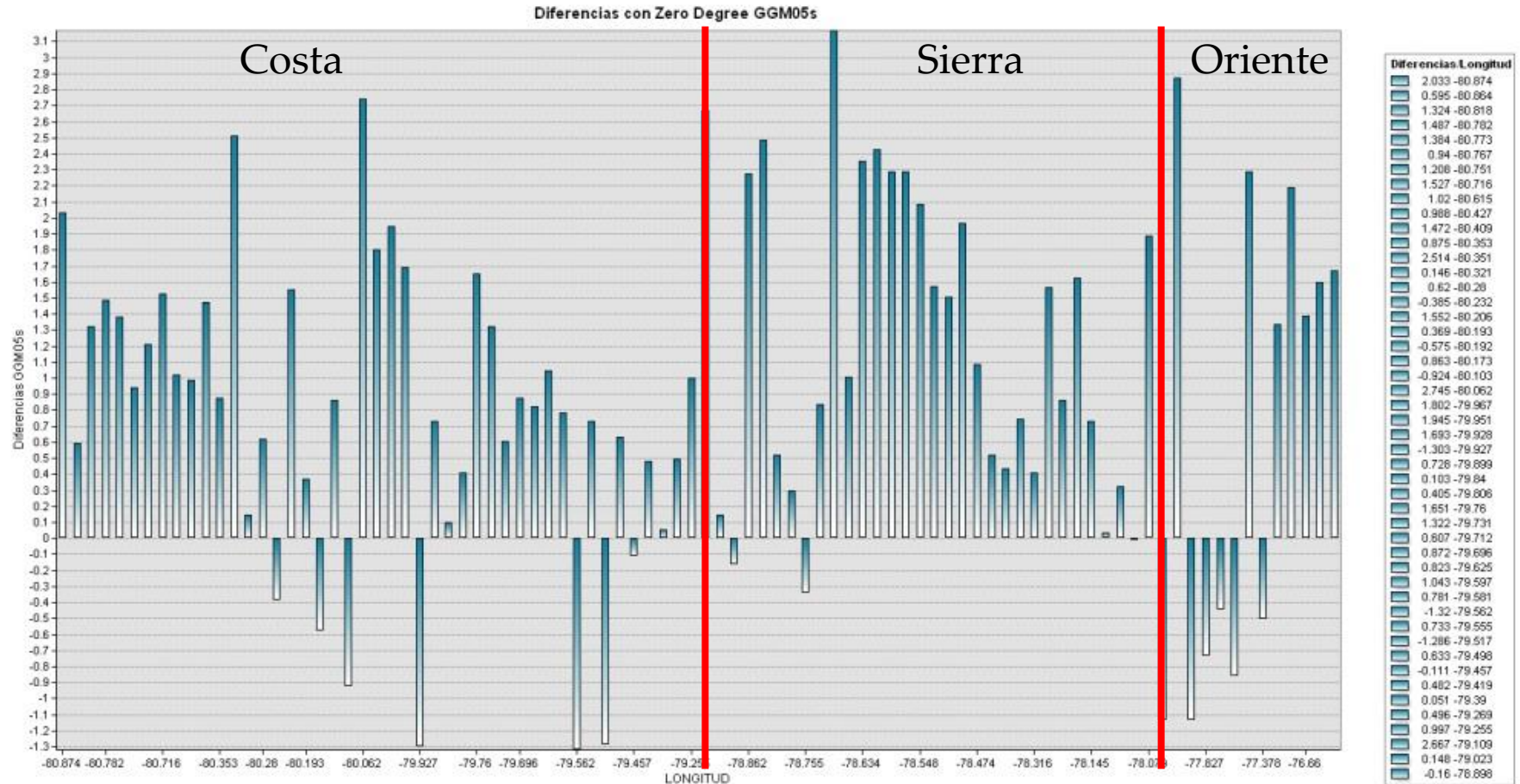
Análisis Longitudinal ITSG-Grace2014k



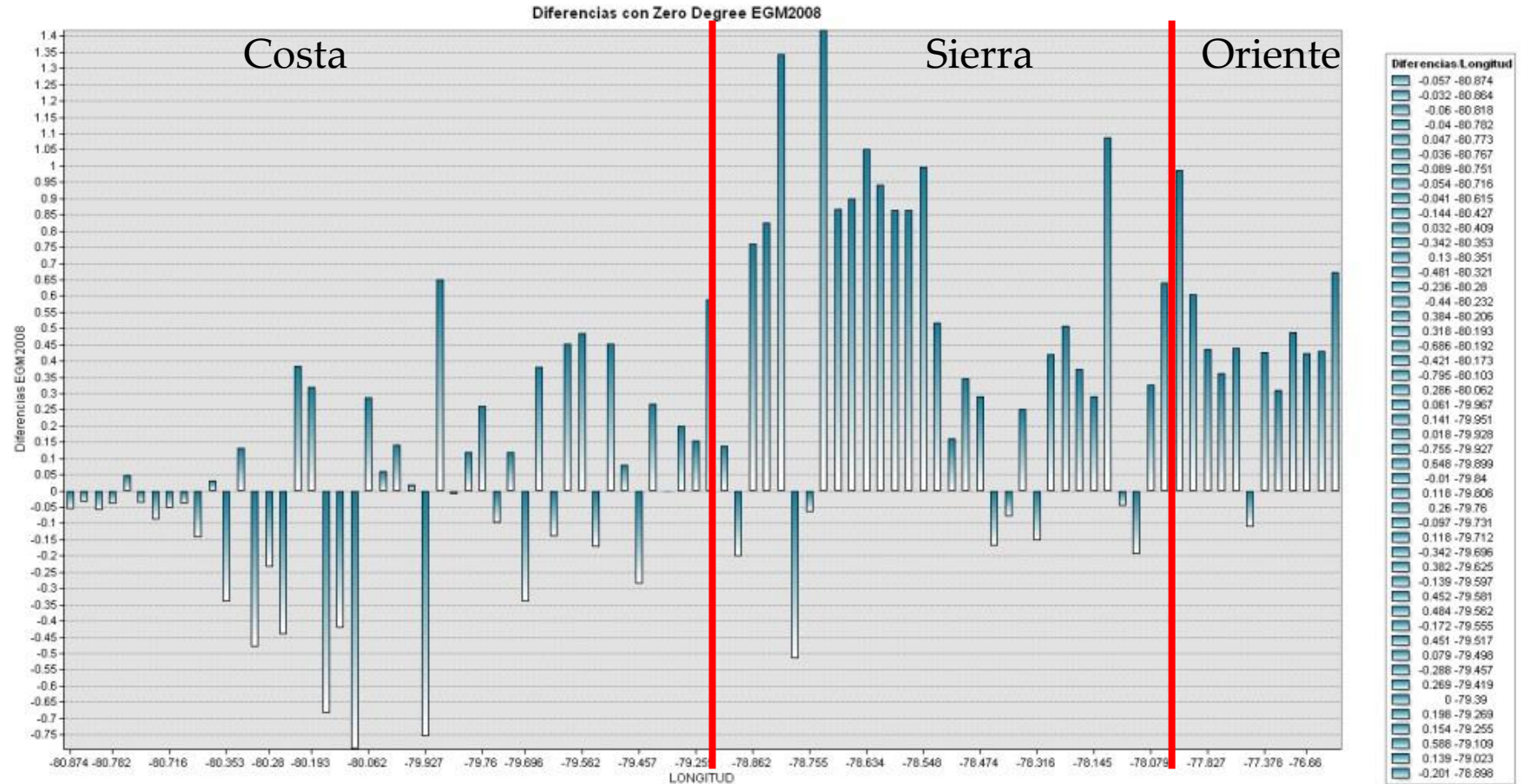
Análisis Longitudinal GGM05g



Análisis Longitudinal GGM05s



Análisis Longitudinal EGM2008



Conclusiones

El modelo satelital que mejor se ajustó al territorio del Ecuador continental fue el GGM05g, debido a los análisis estadísticos a pesar que aún estos valores se encuentran en el orden de los metros

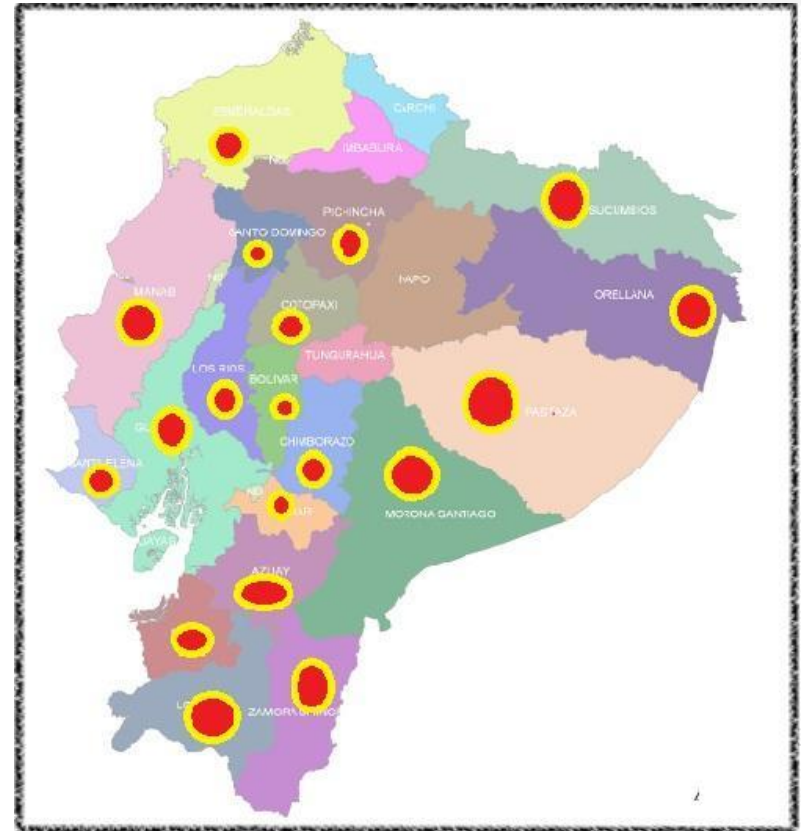
El error máximo observado en los puntos de evaluación se encuentran debajo de los 4 metros, causando que la confiabilidad para uso en trabajos de ingeniería sean cuestionados, y se vea aún la necesidad de utilizar otro sistema de alturas, para dichos trabajos.

A través de pruebas estadísticas se determinó con un 95% de confianza que es lo mismo utilizar el término Zero Degree. Esto se debe a que este término es calculado para ser usado globalmente y no mejora el cálculo de los funcionales localmente.

Aplicaciones



Zonas de afectación de Lahares del Volcán Cotopaxi
(IGEPN, 2015)



Mapa de vectores epidemiológicos en el Ecuador
(MSP, 2015)

Recomendaciones

Continuar con análisis de los diferentes funcionales existentes en los MGGs (como gravedad, anomalía de la gravedad, anomalía de altura, entre otros) en el Ecuador, para poder conocer el comportamiento de los mismo y la adaptación de los MGGs.

Se recomienda calcular el Zero Degree Term para el Ecuador. con esto se podrá analizar si existe mejora en los cálculos de los diferentes funcionales determinados por MGGs. Para realizar este cálculo es necesario contar con datos provenientes de: Geoide Gravimétrico, alturas elipsoidales, alturas niveladas.

•

•

Agradecimientos

- Instituto Geográfico Militar (IGM) por facilitar los vértices utilizados para la evaluación
- Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por el financiamiento del viaje a este SIMPOSIO

Gracias..!! 🌐

