



Análisis del datum vertical ecuatoriano y su relación con un Sistema Vertical de Referencia Global

José L. Carrión Sánchez ¹, josecarrions@hotmail.com

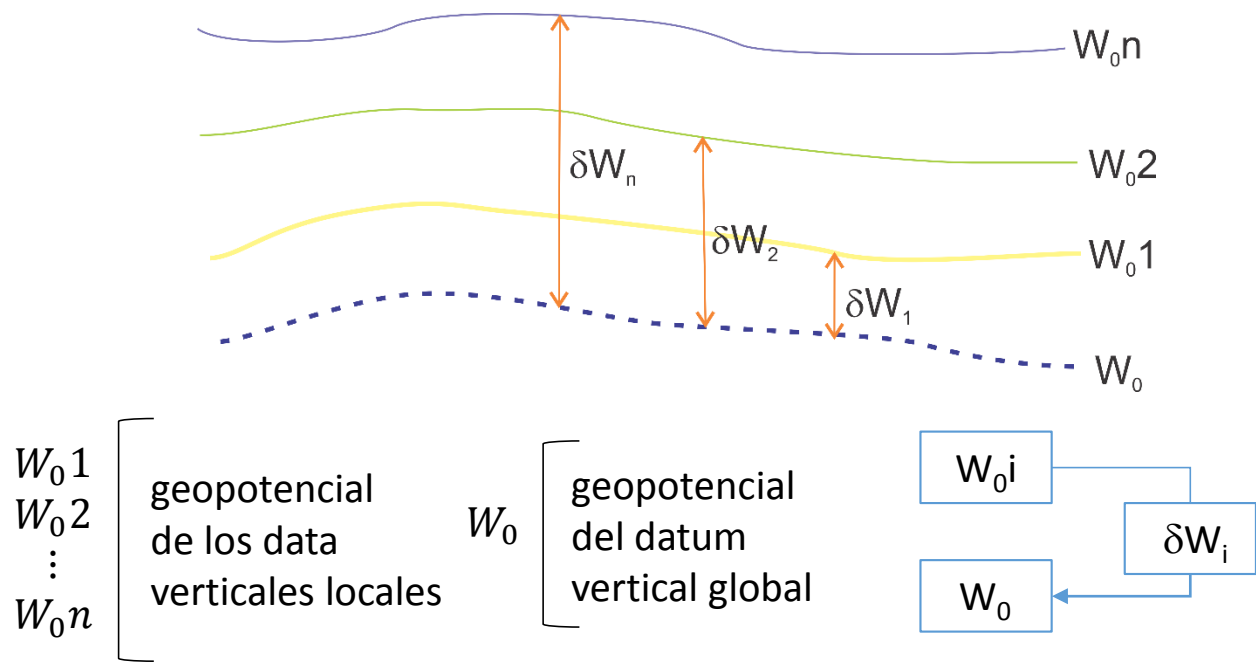
Sílvio R. Correia De Freitas ¹, sfreitas@ufpr.br

¹ Programa de Posgrado en Ciencias Geodésicas, Laboratorio de Referenciales Geodésicos y Altimetria por Satélites, Universidad Federal de Paraná, Brasil.

Simposio SIRGAS 2015

Santo Domingo, República Dominicana

19/11/2015



Américas y Caribe



Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

- Padronización de las bases de datos de las redes verticales nacionales convencionales.
- Incorporación de datos globales provenientes de plataformas orbitales.

Determinación de discrepancias entre los data verticales locales y un datum vertical global

Vinculación de los data verticales locales

Definición y realización de un Sistema Vertical de Referencia Global

Definición de sistemas de altitudes locales y regionales

Determinación de altitudes físicas

Monitoreo de parámetros físicos en el Sistema Tierra

Estimativa de la discrepancia:

GPS/Nivelación:

- Referencia → Mareógrafo La Libertad
- Error patrón estimado de la nivelación: $4 \text{ mm } \sqrt{k}$
- Sistema de mareas de nivelación: *mean tide*
- Precisión del posicionamiento GPS $\approx 10 \text{ cm}$
- Sistema de mareas GPS: *tide free*
- Información levantada por el Instituto Geográfico Militar – Ecuador

Mareógrafo ▲	La Libertad
Latitud	-2.2177
Longitud	-80.9064
Registros	desde 1948

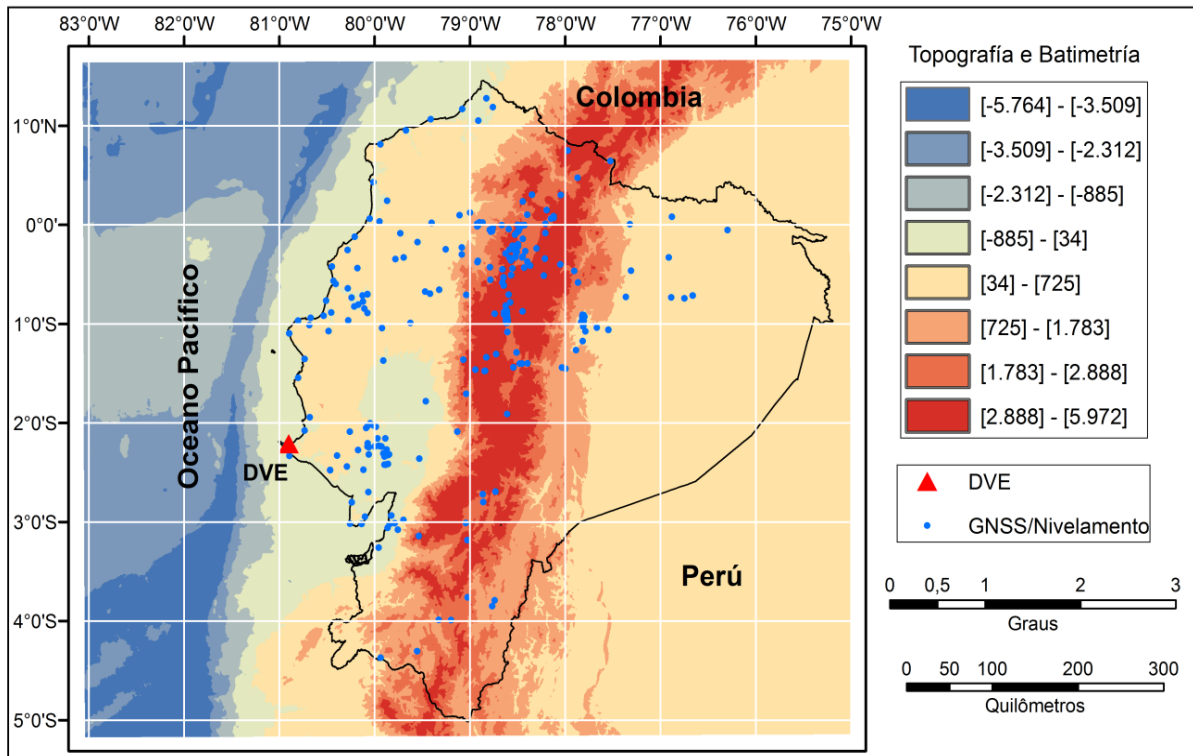
$$-04^{\circ} 22' < \varphi < 01^{\circ} 16'$$

$$-80^{\circ} 55' < \lambda < -76^{\circ} 17'$$

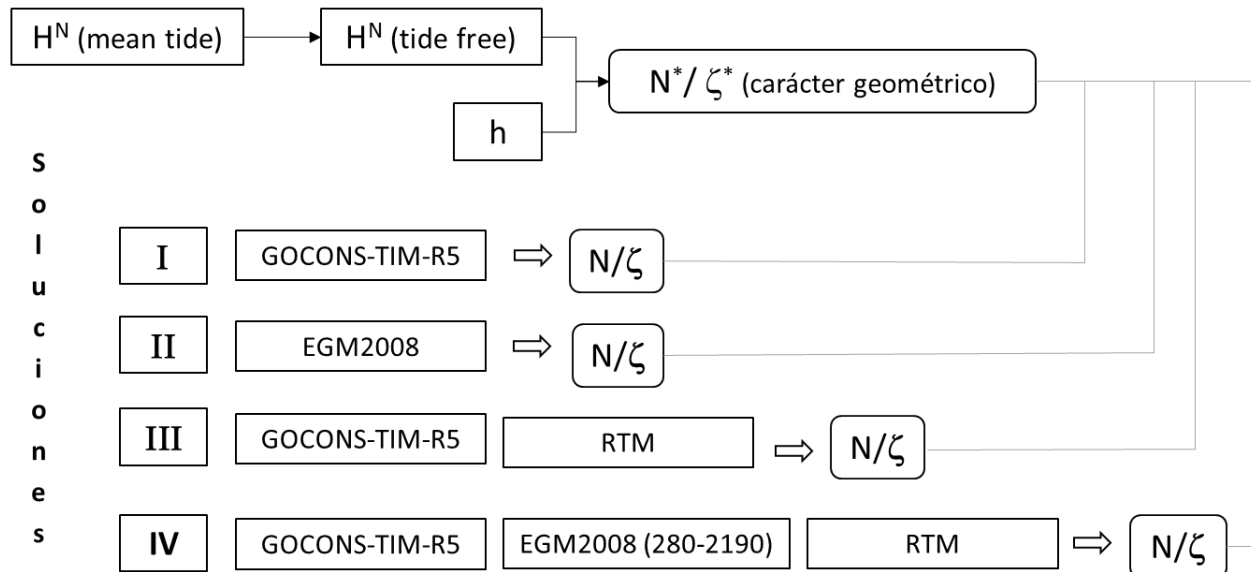
$$H^N \rightarrow 0 - 6313 \text{ m.s.n.m}$$

$$N_{GNSS/NIV} \approx h_{GNSS} - H_{NIV}$$

$$\zeta = \zeta_{TIM_R5} + \zeta_{EGM08(280-2190)} + \zeta_{RTM}$$



240 puntos GPS/nivelación



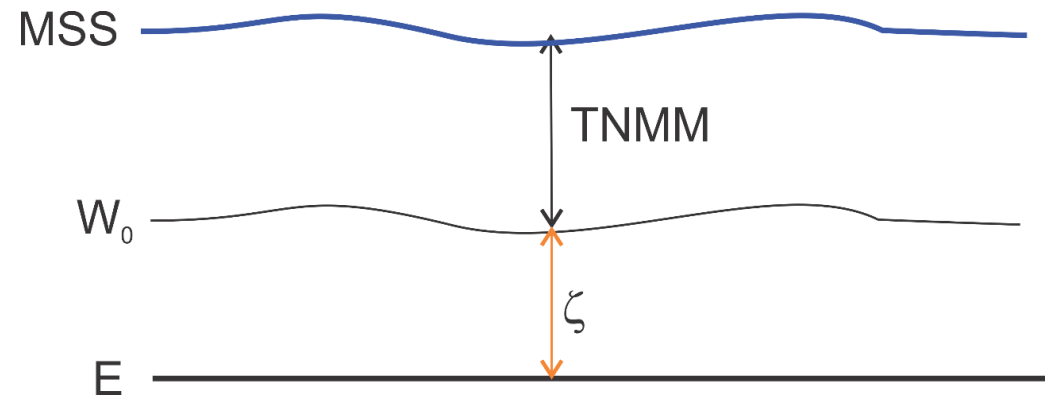
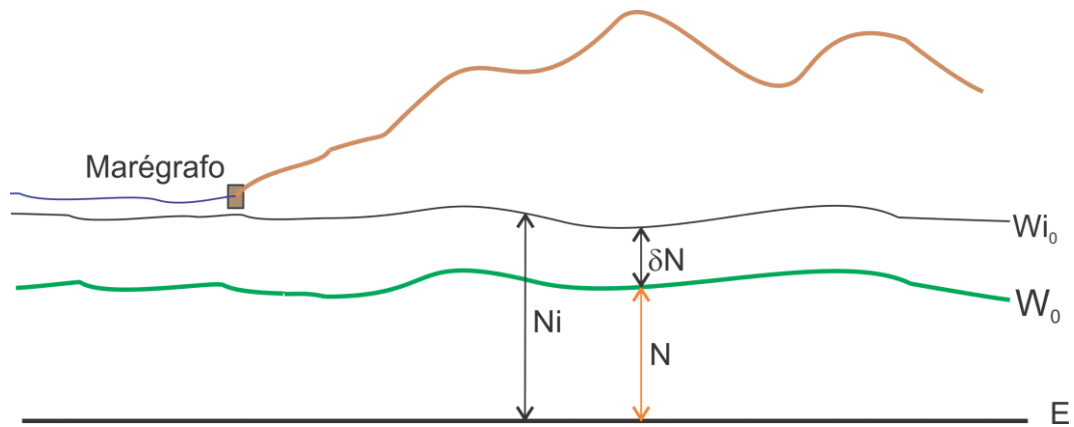
Estimación de la discrepancia: datos y modelos empleados:

Observación	#	Precisión H ^N	Tipo de nivelación	Sistema de marea	Precisión H	Sistema de referencia	Sistema de marea
GNSS/RN	240	4 mm	Geométrico	<i>Mean Tide</i>	~ 10 cm	SIRGAS (ITRF94)	<i>Tide free</i>

MGG	Grado	Orden	Resolución espacial $\lambda/2$ (km)	Fonte da informação	Elipsoide de referencia	Misión
GO_CONS_GCF_2_TIM_R5	280	280	70	Satelital	WGS84	GOCE
EGM2008	2190	2159	9.2	Satelital + gravimetría convencional regional + gravimetría satelital + altimetría satelital +RTM	WGS84	GOCE

MDE	Resolución espacial
<i>Global Multi-Resolution Topography (GMRTv2.0)</i>	30 m
ETOPO1 <i>GLOBAL RELIEF MODEL</i>	1 min ~1,85 km

MSS	Resolución espacial	Fuente
CNES CLS011	2 min	TOPEX/POSEIDON-ERS2-GFO-JASON1-ENVISAT



$$\delta N = N_{GNSS/RN} - N \Rightarrow \bar{\delta N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta N_i$$

$$\delta \zeta = N_{GNSS/RN} - \zeta \Rightarrow \bar{\delta \zeta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta \zeta_i$$

$$TNMM = MSS_{CLS011} - \zeta_{GOCONS}$$

$$\delta = \bar{\delta \zeta} - TNMM$$

Resultados:

Geodésico

Solución	Combinación de modelos	$\bar{\delta}N$ (m)	EMC(m)
I	$N_{GNSS/RN} - N_{GOCONS}$	-0,049	0,776
II	$N_{GNSS/RN} - N_{EGM2008}$	0,074	0,602
III	$N_{GNSS/RN} - N_{(GOCONS+ RTM)}$	0,069	0,823
IV	$N_{GNSS/RN} - N_{(GOCONS+ (EGM2008 280-2190) + RTM)}$	0,225	0,782
		$\bar{\delta}\zeta$ (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

Oceanográfico

Estação	La Libertad
Latitude	2° 13' 8,8911" S
Longitude	80° 54' 18,5366"
MSS (m)	11.615
ζ (m)	11.542
TNMM (m)	0.073

Solução	$\delta = TNMM - \bar{\delta}N$	$\delta = TNMM - \bar{\delta}\zeta$
I	0,122	0,432
II	-0,001	0,252
III	0,004	0,315
IV	-0,152	0,118

La región del DVE:

Latitudes → 1°12' S - 3°12' S

Longitudes → 79°54' W - 81°54' W

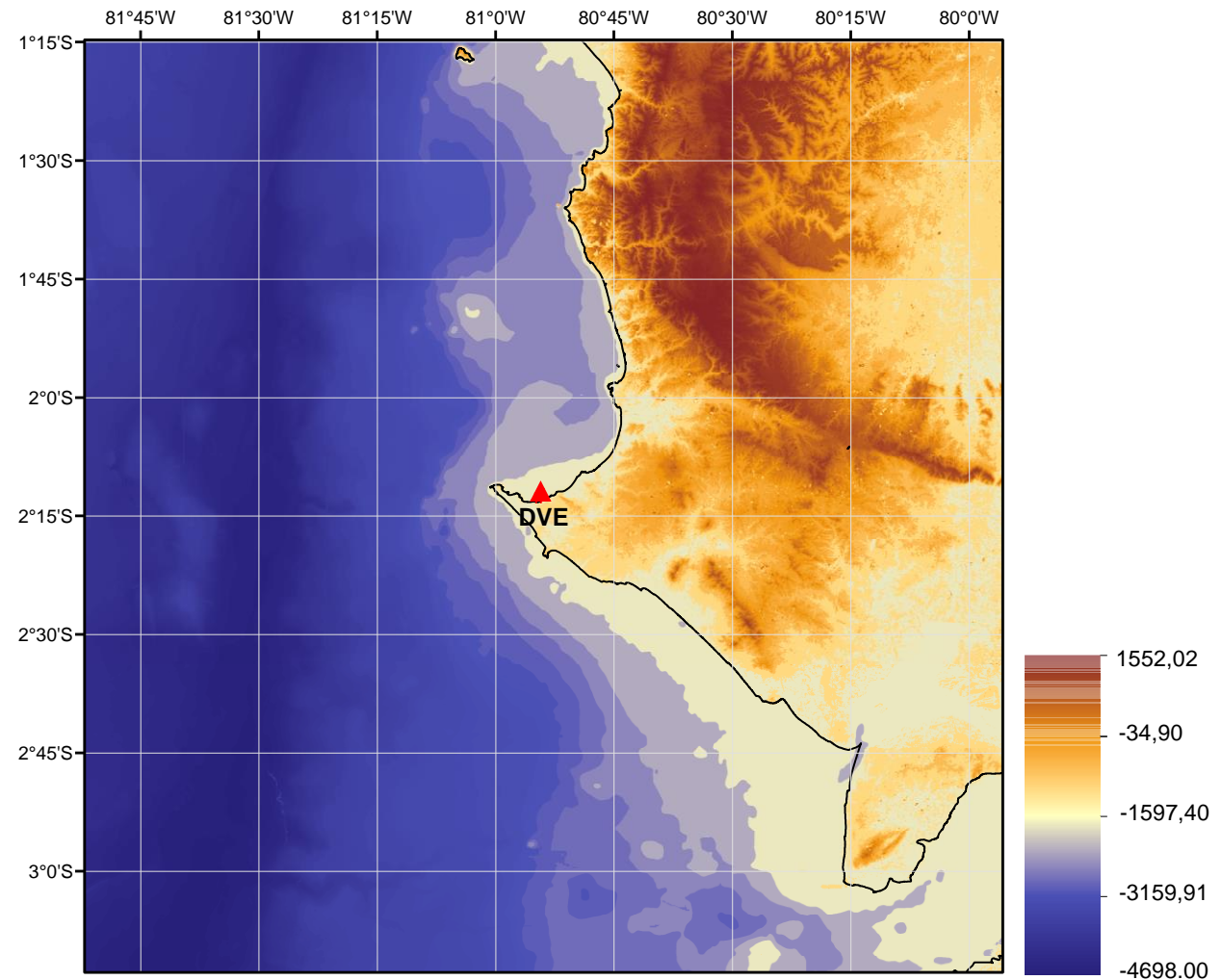
Mareógrafo: La Libertad

$\lambda \approx -80^{\circ}54'23''$

$\phi \approx -2^{\circ}13'04''$

Alturas : -4698 → 1552

Determinación del NMM: 1950 - 1959



Definición del DVE en términos de Geopotencial:

La solución del Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG) de la forma fijada propone según la teoría de Molodensky que la superficie terrestre sea usada como superficie de contorno para a determinación y cálculo del campo de la gravedad terrestre (Moritz, 2000).

Considerando la geometría de la superficie física de la Tierra como totalmente conocida, se determina W a partir de disturbios de la gravedad en la superficie física del planeta.

La solución del problema es **independiente de alturas niveladas afectadas por aspectos locales (definición y materialización) de cada DVL** (Heck, 2011).

Cálculo de anomalía de altitud en el DVE $\zeta_{residual} = \frac{R}{4\pi\gamma_0} \iint_{\sigma} \delta g_{residual} \cdot K(r, \varphi) d\sigma$

$$K(r, \varphi) = \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} - \ln \left[1 + \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right]$$

Descomposición espectral

$$\delta g_{residual} = \delta g - \delta g_{RTM} - \delta g_{MGG}$$

Fusión de datos

$$\zeta_{DVE} = \zeta_{residual} + \zeta_{RTM} + \zeta_{MGG}$$

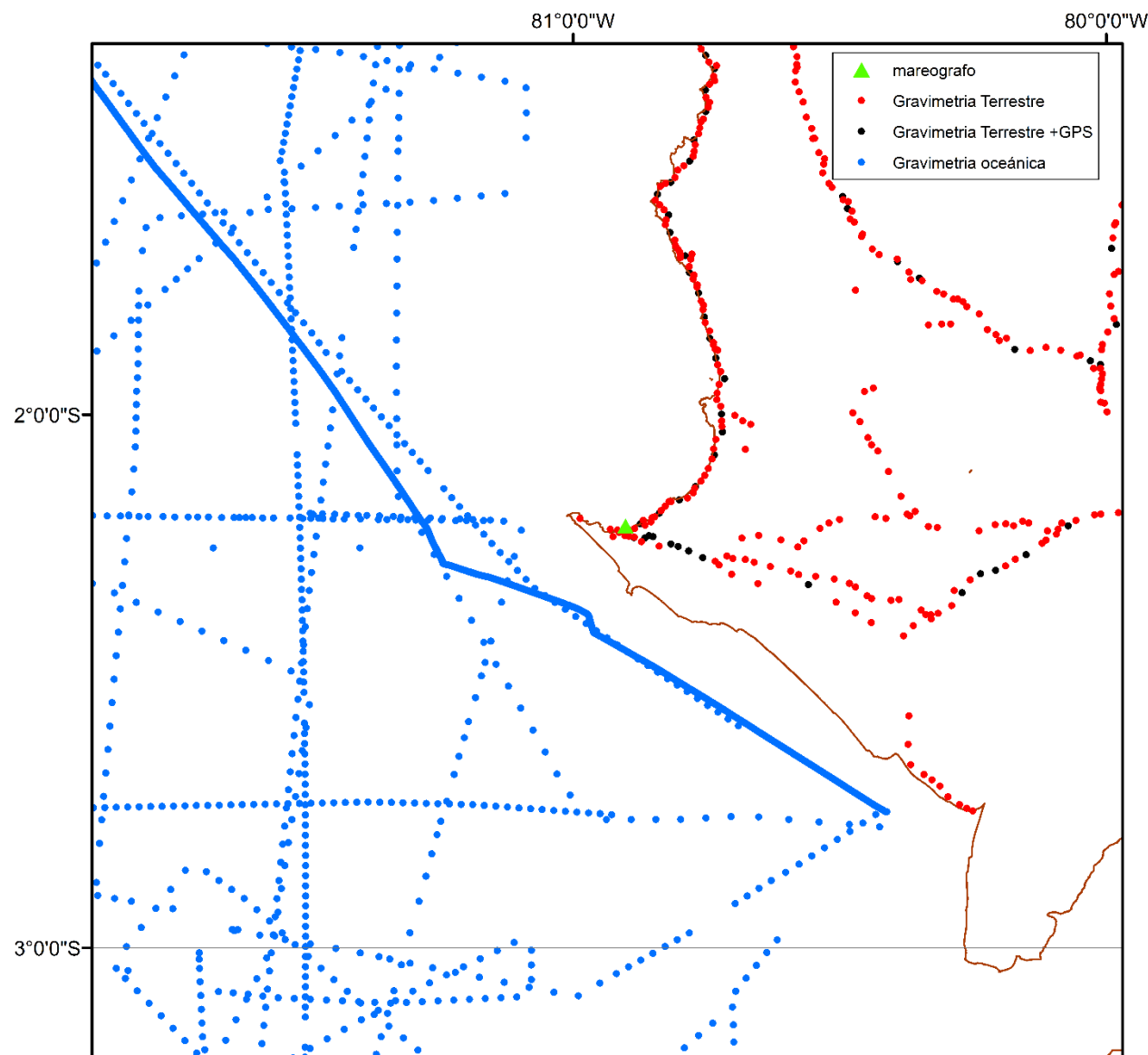
Registros gravimétricos:

Gravimetría Terrestre:

- 270 registros sin posicionamiento de precisión
- 50 registros con posicionamiento de precisión
- Distribución espacial heterogénea
- Datos provenientes de levantamientos gravimétricos del IGM – Ecuador y de gravimetría para prospección petrolera.
- No se dispone de valores de precisión.

Gravimetría oceánica:

- 1614 registros
- Información disponibilizada por el Buró Gravimétrico Internacional (*Bureau Gravimétrique International* - BGI)
- Pertenecen a 13 levantamientos realizados entre los años 1959 y 1987.



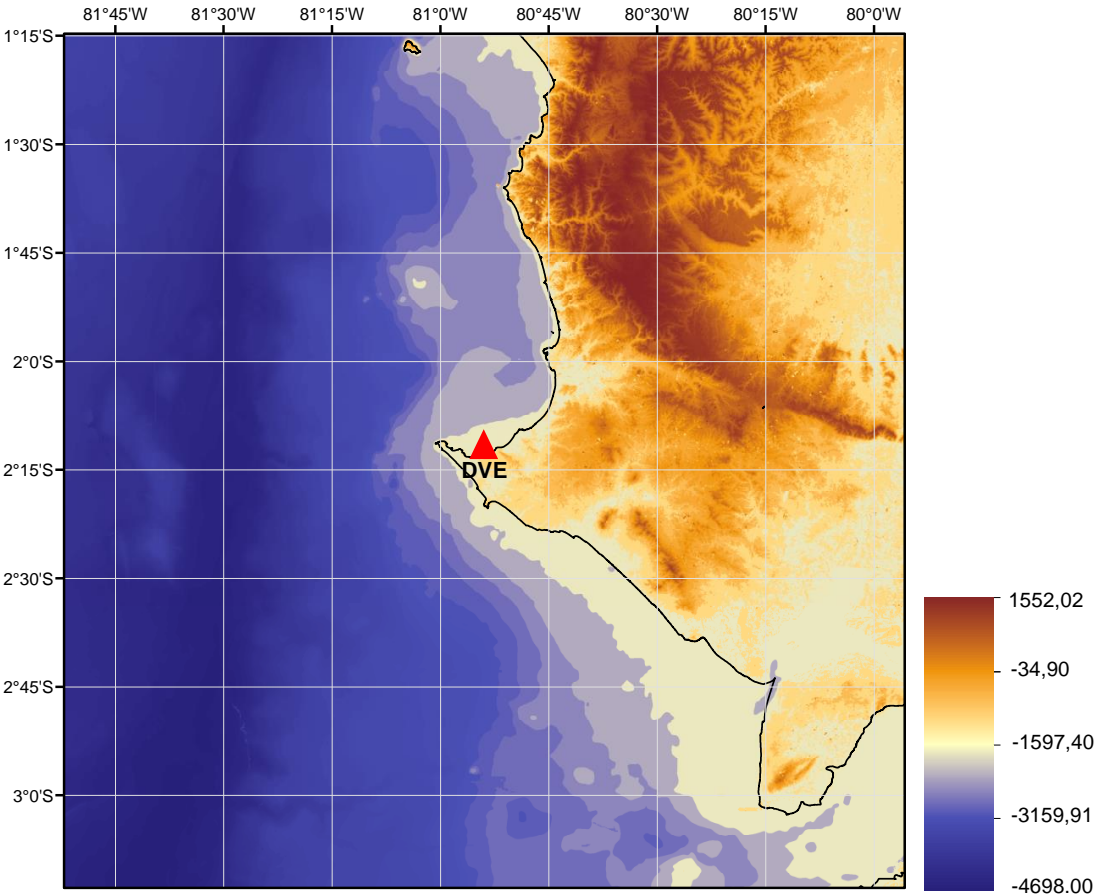
Disturbios de la gravedad continental:

Global Multi-resolution Topography

- NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
- Subglacial Topographic Model of the Antarctic (SCAR)
- International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean

Resolución espacial continental = 30 m

Resolución espacial oceánica = 100 m

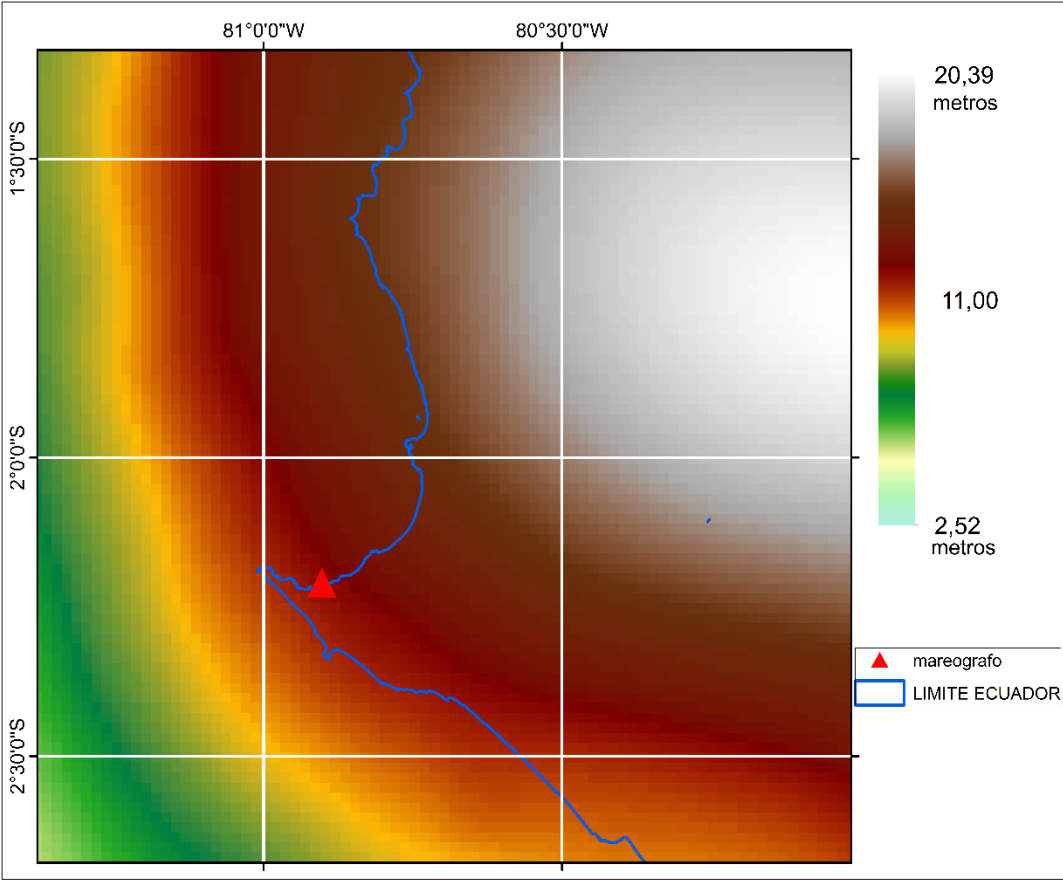


Disturbios de la gravedad oceánica:

Modelo Global MSS: DTU10

Danish National Space Center

Resolución espacial = 1 minuto



Disturbios de la gravedad de Modelo Global de Geopotencial:

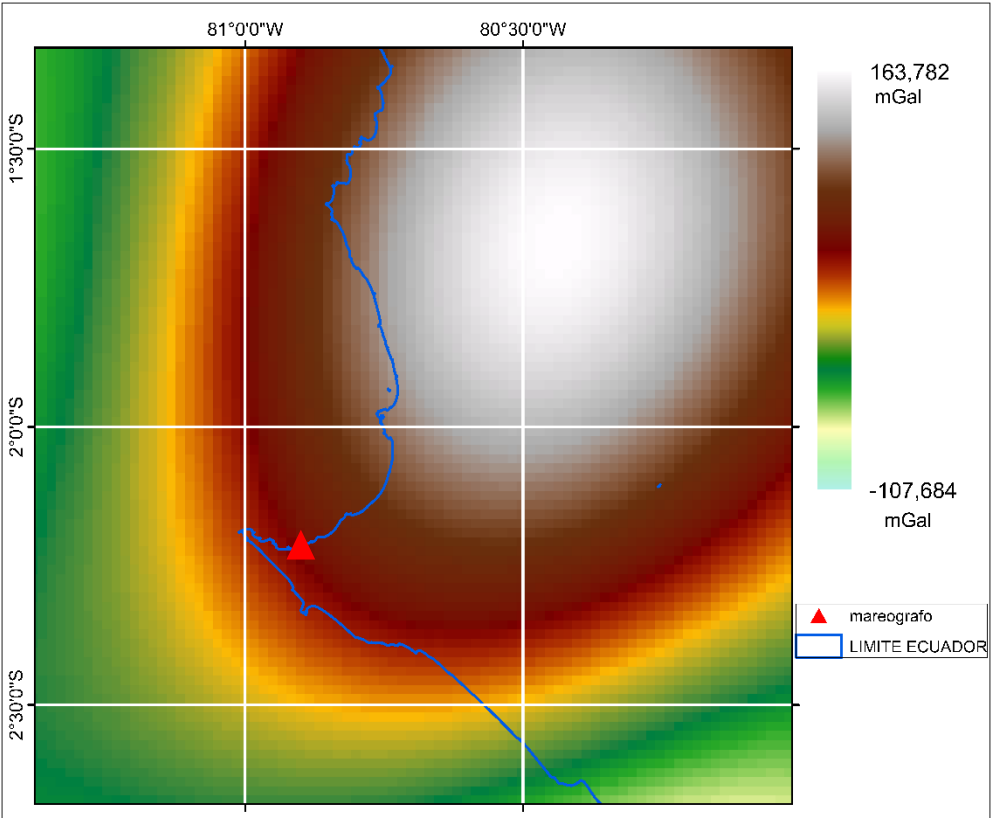
GO_CONS_GCF_2_TIM_R5

Basado en dato de GOCE

Grado y orden = 280

Resolución espacial = $\lambda/2 \approx 9,2$ Km

Disturbios de gravedad en sistema *tide free*

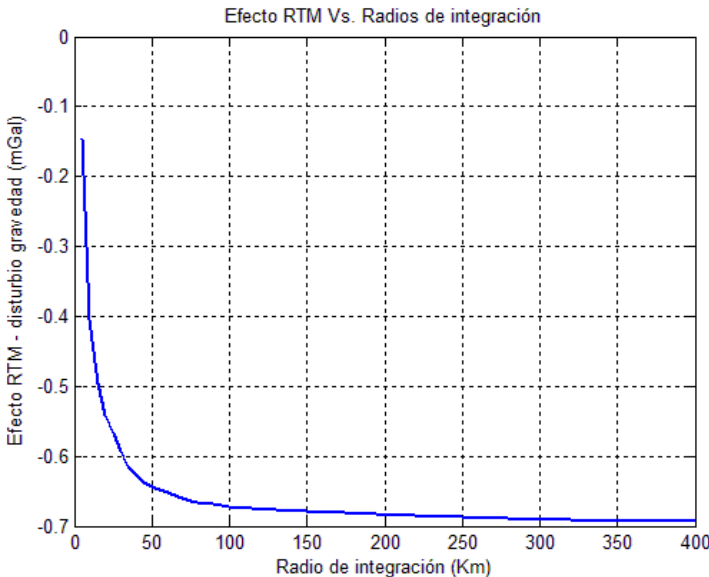
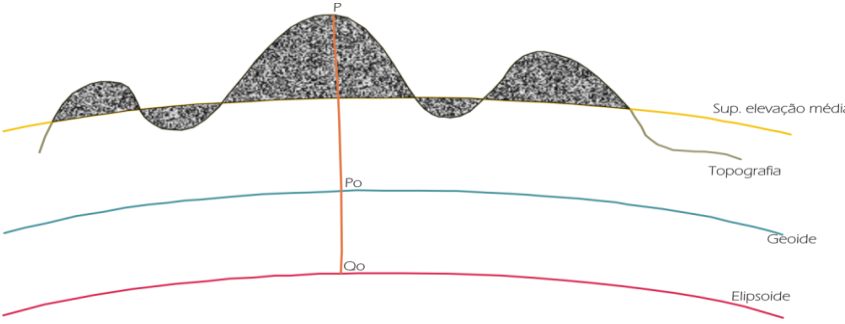


Efecto de la Topografía Residual sobre los disturbios de la gravedad:

Global Multi-resolution Topography (GMRT) : resolución espacial = 30 m

ETOPO1 : resolución espacial ~ 1.85 km

Radio de integración = 250 Km



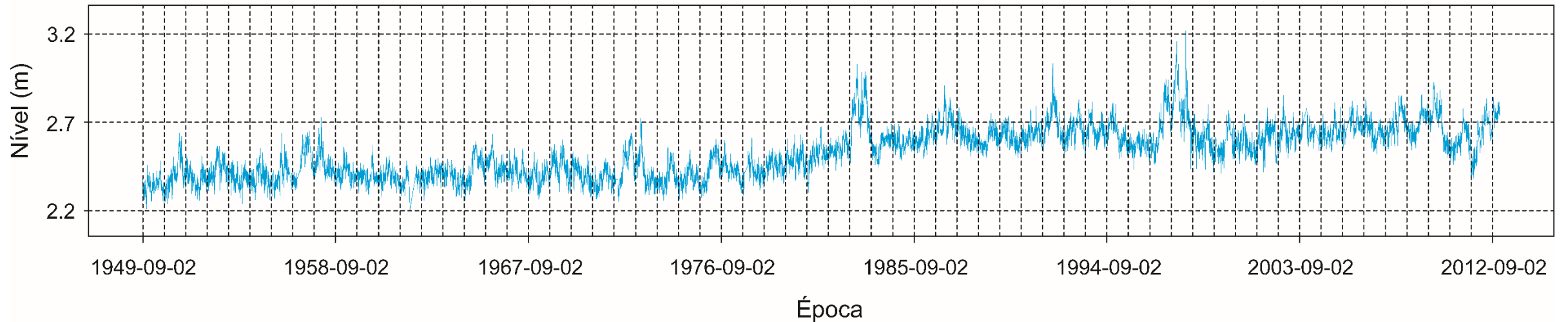
Análisis de registros mareográficos:

Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) → *University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC)*

Período de registros: 09/1948 - 09/2012

Registros diarios y horarios

Registros diarios - La Libertad

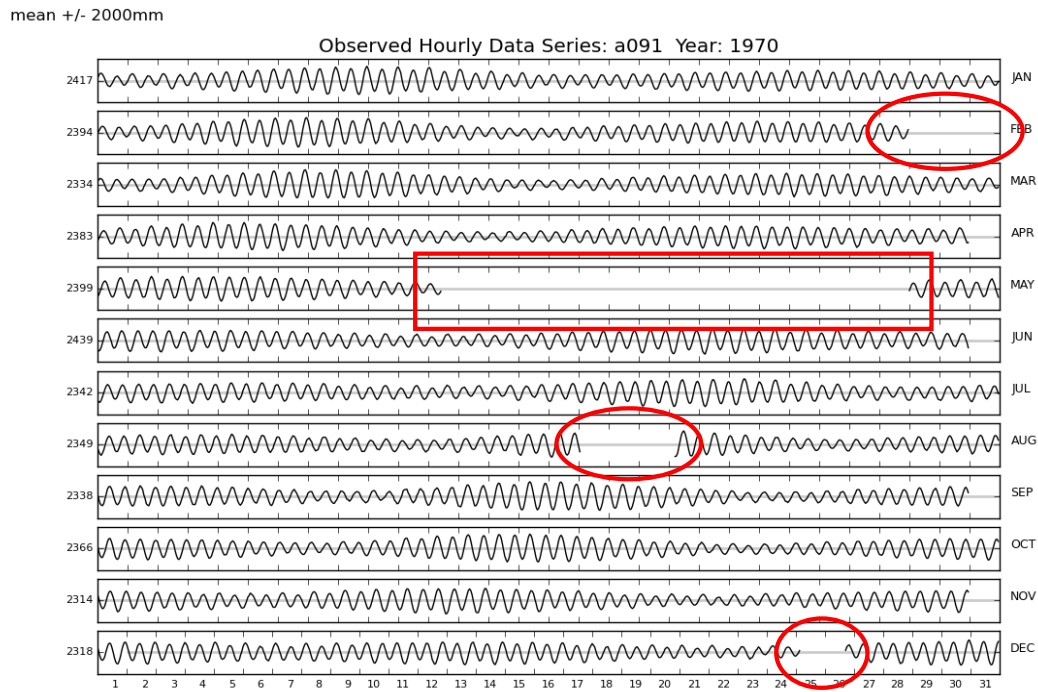


Control de registros perdidos:

SLP64 → University of Hawaii Sea Level Center

Cantidad	Inicio de gap					Fin de gap				
	Año	Mes	Día	Hora	Día Juliano	Año	Mes	Día	Hora	Día Juliano
5	1949	9	1	0	244	1949	9	1	4	244
168	1950	3	23	5	82	1950	3	30	4	89
41	1953	7	31	5	212	1953	8	1	21	213
165	1953	8	7	18	219	1953	8	14	14	226
152	1956	6	1	5	153	1956	6	7	12	159
37	1956	6	16	9	168	1956	6	17	21	169
34	1956	6	24	13	176	1956	6	25	22	177
1068	1956	6	29	12	181	1956	8	13	23	226

Total de registros horarios faltantes: **15870**

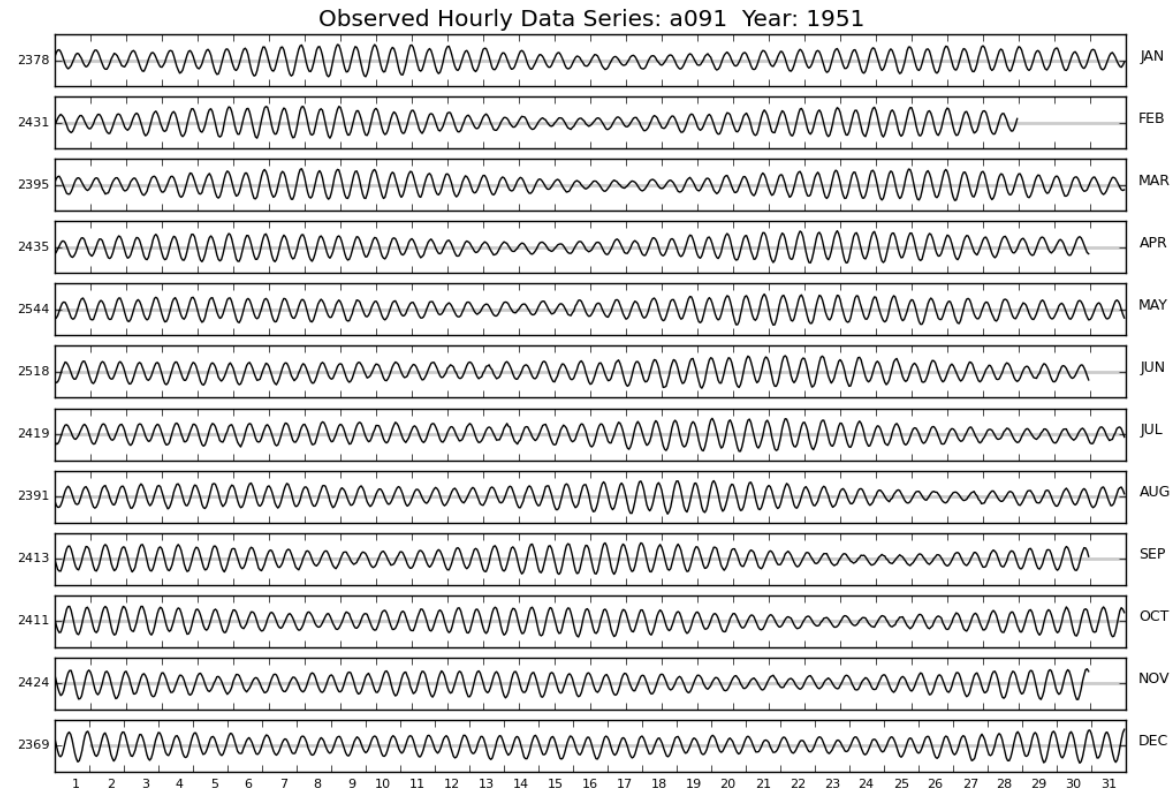


Evolución del nivel del mar:

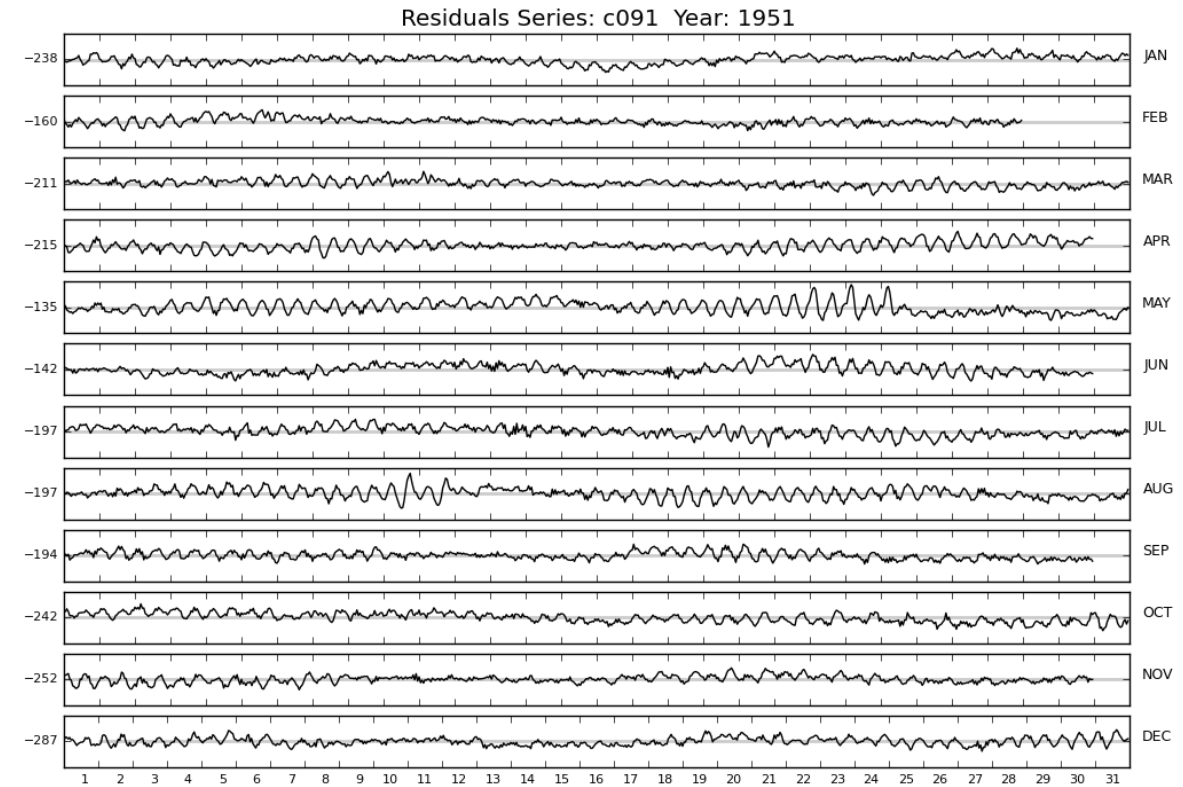
Marea Residual: Determinación de marea residual por año. Ejemplo → año 1951

Cálculo de componentes armónicas de marea → Determinación de marea sintética → Marea residual

mean +/- 2000mm



mean +/- 400mm



Serie mareográfica residual:

La Libertad Units in CM
 STATION 91 TIME ZONE = 0, LATITUDE = 212, LONGITUDE = 8055
 NUMBER OF VALID DATA = 8759 AVERAGE =263.45 STANDARD DEVIATION = 61.69
 THEORETICAL RMS = 9.14 MATRIX CONDITION = 0.84
 ANALYSIS OF HOURLY TIDAL HEIGHTS STN 91 1H 1/ 1/ 2 TO 24H 31/12/ 2
 NO.OBS.= 8760 NO.PTS.ANAL.= 8760 MIDPT=12H 2/ 7/ 2 SEPARATION =1.00

NO	NAME	FREQUENCY	STN	M-Y/ M-Y	A	G	AL	GL
1	ZO	0.00000000	91	1 2/12	2263.4280	0.00	263.4280	0.00
2	SSA	0.00022816	91	1 2/12	4.6245	114.31	4.6245	273.59
3	MSM	0.00130978	91	1 2/12	0.9772	101.49	0.9772	108.78
4	MM	0.00151215	91	1 2/12	0.6997	8.00	0.6997	184.70
5	MSF	0.00282193	91	1 2/12	0.7452	4.46	0.7452	188.45
6	MF	0.00305009	91	1 2/12	1.7024	47.27	1.7024	30.53
7	ALP1	0.03439657	91	1 2/12	0.1434	134.16	0.1587	302.54
8	2Q1	0.03570635	91	1 2/12	0.2934	273.27	0.3173	81.68
9	SIG1	0.03590872	91	1 2/12	0.3029	141.71	0.3228	132.34
10	Q1	0.03721850	91	1 2/12	0.1405	280.80	0.1490	273.25
11	RHO1	0.03742087	91	1 2/12	0.2573	269.10	0.2612	76.43
12	O1	0.03873065	91	1 2/12	3.0497	11.67	3.2267	187.68
13	TAU1	0.03895881	91	1 2/12	0.2782	16.24	0.2741	181.18
14	BET1	0.04004043	91	1 2/12	0.2033	47.35	0.2185	49.18
15	NO1	0.04026859	91	1 2/12	0.2280	35.05	0.3890	246.26
16	CHI1	0.04047097	91	1 2/12	0.1559	65.76	0.1669	61.07
17	P1	0.04155259	91	1 2/12	3.3362	45.92	3.3207	56.79
18	K1	0.04178075	91	1 2/12	11.3876	42.90	11.8435	41.01
19	PHI1	0.04200891	91	1 2/12	0.1805	27.63	0.1861	174.61
20	THE1	0.04309053	91	1 2/12	0.3948	70.51	0.4248	81.08
21	J1	0.04329290	91	1 2/12	0.6137	47.56	0.6605	245.64
22	SO1	0.04460268	91	1 2/12	0.2525	145.74	0.2673	329.60
23	OO1	0.04483084	91	1 2/12	0.6502	78.54	0.9098	88.18

64 años de observaciones

Constituyentes: 60

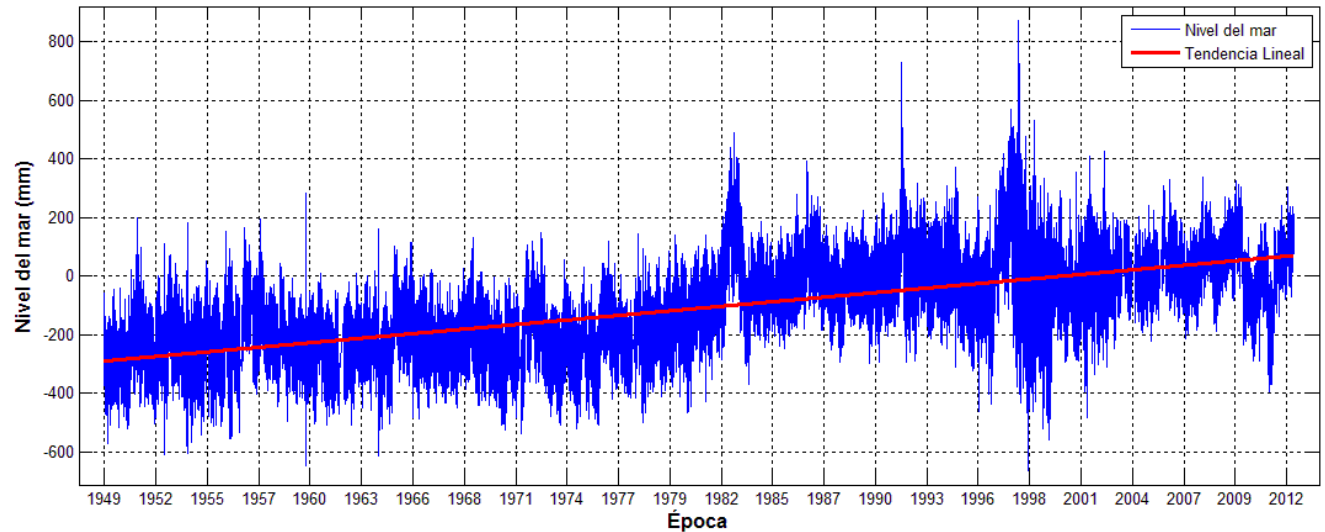
Tendencia Lineal: + 5,8 mm/año

Permanent Service for Mean Sea Level:

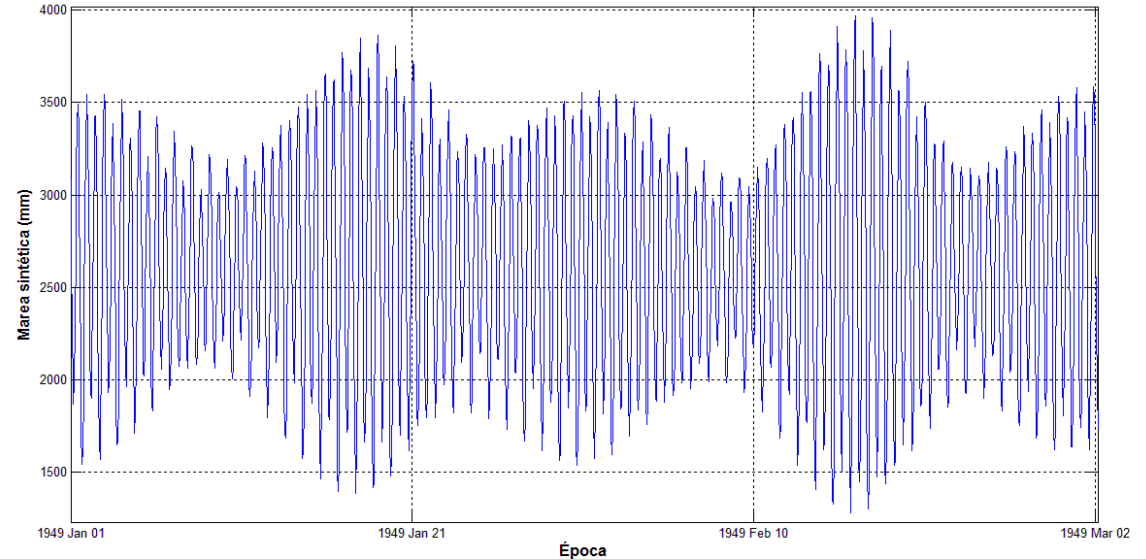
-1.24 mm/año

Periodo: 1949 - 2001

Mareógrafo La Libertad, época 1949 - 2012: Nivel del mar Vs. Época



Mareógrafo La Libertad: Marea Sintética Vs. Época.



Correlación Mareógrafo Vs. Altímetro

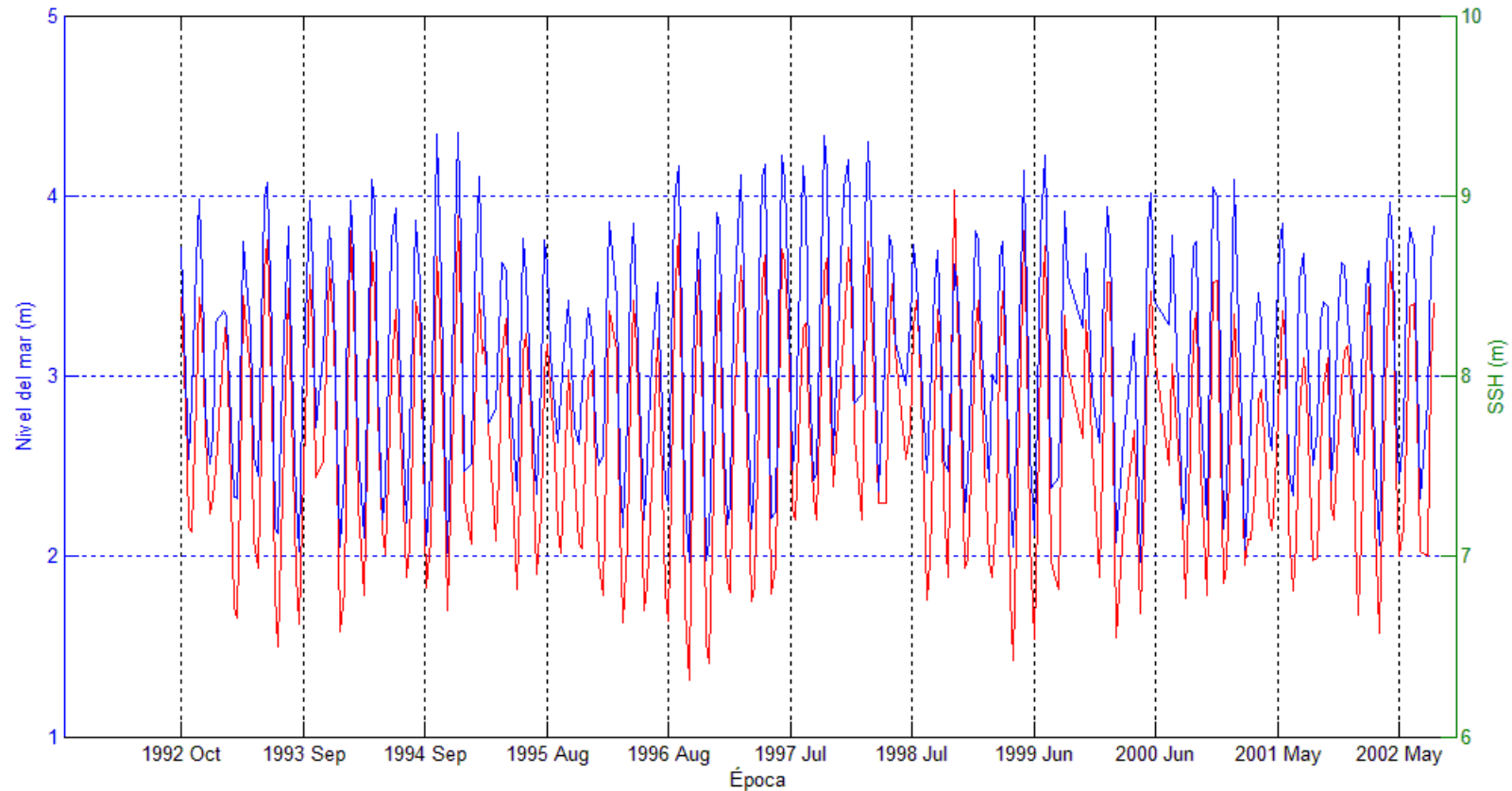
Época 10/1992 – 09/2002

Observaciones: ~ 10 días

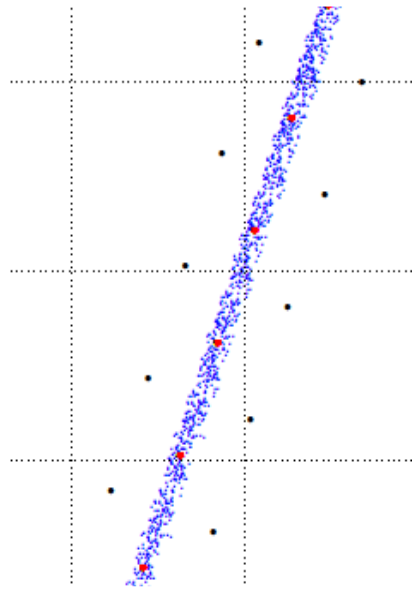
Compatibilidad:

- Mareas: *Global Ocean Tide Model* → GOT99.2 → m2, s2, n2, k2, k1, o1, p1, q1, mf, mm, m4, ms, mn4, b
- Barómetro inverso

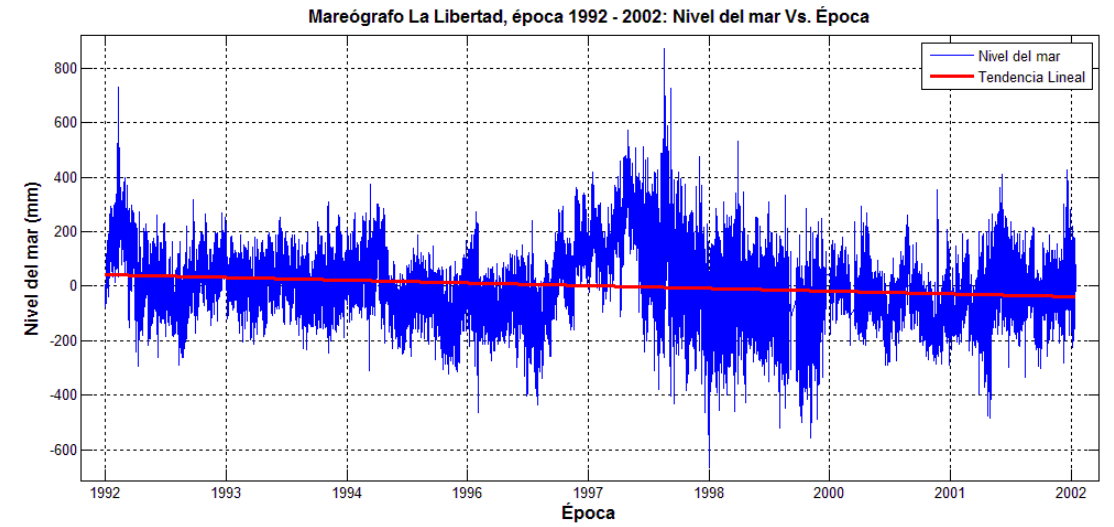
Coefficiente de correlación → 0.94



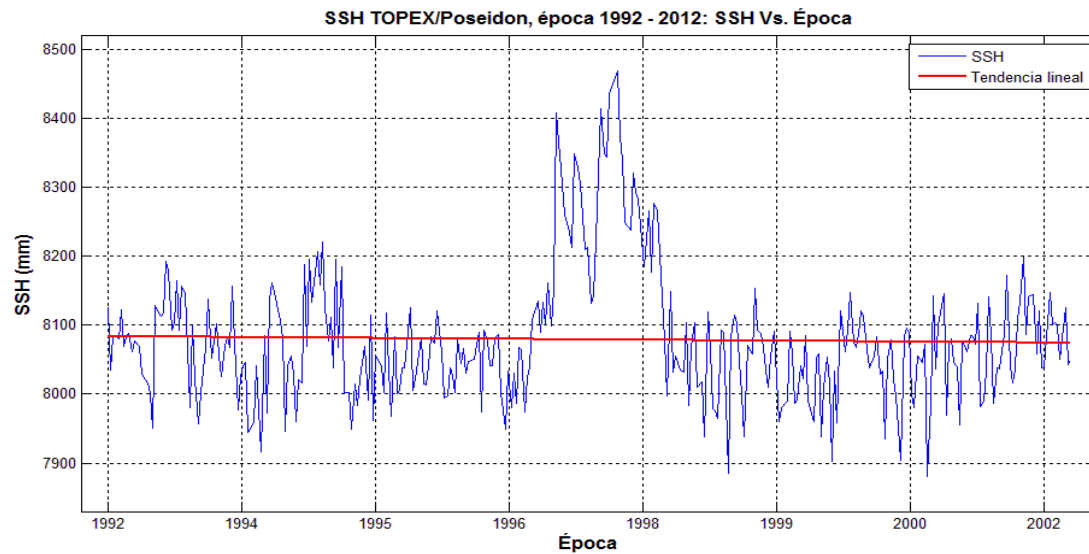
Mareógrafo Vs. Altimetro: Época 10/1992 – 09/2002 → Observaciones: ~ 10 días



Tendencia Lineal Altimetro: -0.89 mm/año



-8.12 mm/año



Mareógrafo Vs. GNSS

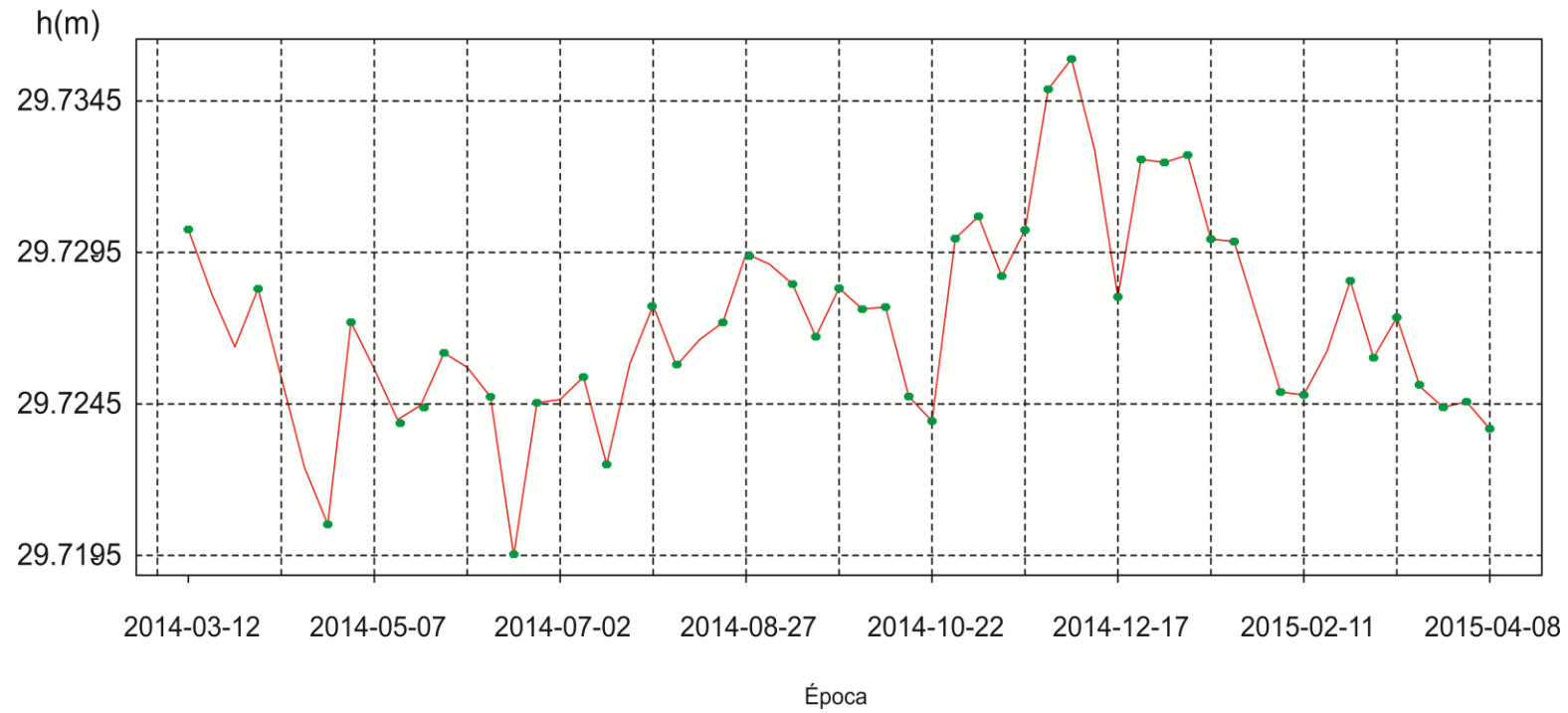
Estación Santa Elena

400 metros del mareógrafo La Libertad

Época: 2014/03/12 - 2015/04/08

Soluciones semanales - SIRGAS

Altitude Elipsoidal Vs. Época



GRACIAS!!