

Herramientas LGPL para el procesamiento de datos **GNSS**

Miguel A. Ávila Angulo
maavila@udistrital.edu.co

David Monroy Machado
david.monroy.machado@gmail.com



Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Bogotá D.C, Colombia

10 de agosto de 2011

Resumen - En la actualidad el procesamiento de datos **GNSS** dentro de **SIRGAS**, se ha venido realizando en las aplicaciones de carácter científico, denominadas **GAMIT-GLOBK** y **BERNESE**. En miras de encontrar nuevas alternativas informática que apoyen las diferentes actividades (investigativas y rutinarias) dentro de los diferentes grupos de trabajo que componen a **SIRGAS** es que los autores del presente artículo, probaron la librería **GPStk** de acuerdo a las exigencias requeridas por **SIRGAS** en el cálculo de coordenadas a partir de archivos **RINEX** en metodología de procesamiento de punto preciso.

1. INTRODUCCIÓN

SIRGAS dentro de su objetivo principal de definir y administrar el sistema y el marco de referencia espacial para las Américas, requiere que diferentes entidades en los diferentes países que forman parte del continente americano procesen la información proveniente de las diferentes estaciones permanentes **SIRGAS-CON**¹ y con la cual puedan hacer aportes e investigación dentro de todos los fenómenos que pueden influenciar en la obtención de coordenadas X,Y,Z de alta precisión. En el presente artículo los autores evaluaron coordenadas obtenidas para las estaciones **MAGNA-ECO**, pertenecientes a **SIRGAS-CON**, procesando los archivos **RINEX** con la librería **GPStk**.

GPStk es una librería desarrollada por la Universidad de Austin en Texas, Estados Unidos de Norteamérica, fuertemente orientada a objetos en el lenguaje de programación **C++**[Tracie Conn, 2007], la librería también

¹www.sirgas.org/index.php?id=61

proporciona un conjunto de ficheros ejecutables, que le permiten al usuario procesar archivos **RINEX**, tales como pueden ser, obtener mapas del comportamiento de la ionósfera, tropósfera, ajuste de redes, realizar cálculos entre fechas, como también conversiones entre diferentes sistemas de coordenadas, entre muchas otras funcionalidades. Por tal razón y con la intención de brindarle a las diferentes organizaciones vinculadas a **SIRGAS** la opción de procesar su información con una herramienta sin ningún tipo de restricción en su implementación y uso, es decir, completamente libre según los lineamientos de **GNU** (GNU's Not UNIX), bajo el licenciamiento LGPL (Lesser General Public License)², es que se presenta en el presente documento los resultados obtenidos en el procesamiento de datos con esta librería y con la expectativa de brindar un aporte tanto a **SIRGAS**, como a la comunidad orientada a este tema en general.

2. Procesamiento con *GPStk*

Como se explicó en la sección anterior el tipo de licenciamiento de *GPStk* es **LGPL**, el cual permite a sus usuarios contar con las siguientes libertades:

- 0 “ejecutar el programa bajo cualquier proposito”,
- 1 “estudiar como funciona el programa”,
- 2 “redistribuir copias”
- 3 “mejorar el programa”

GPStk se compone de un conjunto de librerías (ficheros *.so, ficheros *.a) para realizar los enlaces respectivos de forma dinámica o estática, según requiera el usuario; ficheros ejecutables, los cuales brindan la posibilidad de ejecutar aplicaciones preconstruidas por la **Universidad de Austin** para realizar procesamientos de archivos **RINEX**, en los que se encuentran, la obtención de la fecha en el calendario GPS, mapas de ionósfera, ajustes de redes para estaciones GNSS, cálculo de vectores entre estaciones GNSS, obtenciones de posiciones iniciales a partir de los archivos **RINEX**, etc; y por último un conjunto de ficheros cabecera (*.hpp) para la construcción de aplicaciones dentro del lenguaje de programación **C++**, con las cuales se logra la optimización y personalización de la herramienta a las necesidades requeridas por los diferentes usuarios, en sus diferentes ámbitos, académicos, investigativos o comerciales.

GPStk obtiene las coordenadas implementado el filtro de **Kalman**. Este filtro se compone de dos partes, la primera se encuentra definida por:

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + wk - 1 \quad (1)$$

Para el cual A corresponde a la matriz $n \times n$, que relaciona el valor del pseudorange actual con el pseudorange anterior calculado, la matriz B comprende los estados de cada pseudorange obtenido, es decir, que la diferencia entre un pseudorange y el inmediatamente anterior no supere el orden de los centímetros; y desde luego eliminar los ruidos blancos causados por la medición [Robert Grover Brower, 1997].

²www.gnu.org/licenses/lgpl.html

A cada uno de los satélites tomado para el cálculo se les asigna un peso, el cual corresponde a la función de mapeo dada por:

$$m = \frac{1}{\cos z} \quad (2)$$

donde z corresponde al ángulo cenital del satélite, medido sobre el horizonte del observador, y con los cuales se han generado *pseudoranges* (distancia satélite receptor) a cada uno de los satélites identificados en el rastreo. Por otra parte **GPStk** implementa un modelo estadístico conocido como las *Cadenas de markov*, definido como:

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^r p_{ik}p_{kj} \quad (3)$$

Con el fin de establecer las probabilidades a cada una de las coordenadas calculadas a cada época de observación contenida en el **RINEX** y de esta forma darle mayor consistencia a cada resultado obtenido [Vigoda, 2003].

Para el propósito del presente artículo los autores siguieron como guía la tesis doctoral de **Phd. Dagoberto Salazar** [Salazar, 2010], en el cual se detalla el **PPP** a un conjunto de estaciones ubicadas en España. El procesamiento se realizó mediante la compilación y ejecución del ejemplo número 9 de los expuestos en la URL donde se encuentra la documentación de la API de **GPStk** (<http://www.gpstk.org/doxygen/>) en el lenguaje de programación orientado a objetos **C++**, el cual genera como salida final las variaciones existentes entre las coordenadas X,Y,Z respecto de las coordenadas conocidas del punto ingresado, comportamiento del retraso troposférico, los valores de las varianzas a cada dato obtenido, el número de satélites, y por último los valores a de los PODP obtenidos en la observación.

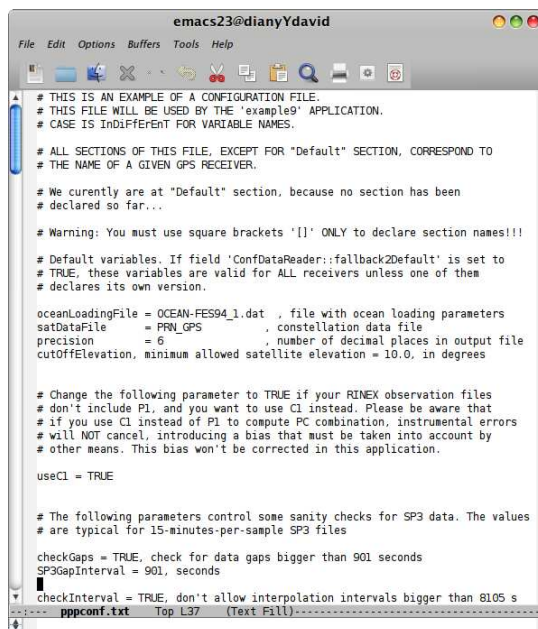
Los resultados se calcularon a cada época de observación contenida en el archivo **RINEX**, es decir, que según la división temporal contenida en el **RINEX** (1, 15, 30 segundos) la aplicación construida generaba los valores a las diferencias en el coordenadas, retrazos, número de satélites y diluciones de precisión.

Para el procesamiento de los ficheros **RINEX** se debe contar con un fichero denominado “`pppconf.txt`”, el cual se explicará en detalle en la siguiente sección. Este fichero contenía la ruta en la que se ubicaba cada uno de los insumos necesarios para poder obtener los resultados requeridos, una muestra del contenido del fichero es presentado en la figura (1).

El procesamiento se realizó en ambiente GNU/Linux, en las distribuciones conocidas como “*debian squeeze 6.0*” y “*Ubuntu maverick 10.10*”.

3. Metodología

Las estaciones utilizadas en el presente trabajo, fueron las denominadas: **BERR** (Puerto Berrio), **BOGA** (Bogotá), **TUNA** (Tunja) y **VIVI** (Villavicencio); pertenecientes a la red **MAGNA-ECO**, la cual es densificación a la red **SIRGAS-CON**. Todos los **RINEX** se encontraban a 15 segundos. Los días procesados para el desarrollo del presente documento fueron las comprendidas entre la semana 1612 y la semana 1616,



```
emacs23@dianyYdavid
File Edit Options Buffers Tools Help
# THIS IS AN EXAMPLE OF A CONFIGURATION FILE.
# THIS FILE WILL BE USED BY THE 'examples' APPLICATION.
# CASE IS INDIFFERENT FOR VARIABLE NAMES.

# ALL SECTIONS OF THIS FILE, EXCEPT FOR "Default" SECTION, CORRESPOND TO
# THE NAME OF A GIVEN GPS RECEIVER.

# We curenly are at "Default" section, because no section has been
# declared so far...

# Warning: You must use square brackets '[' ONLY to declare section names!!!

# Default variables. If field 'ConfDataReader::fallback2Default' is set to
# TRUE, these variables are valid for ALL receivers unless one of them
# declares its own version.

oceanLoadingFile = OCEAN-FES94_1.dat , file with ocean loading parameters
satDataFile      = PRN_GPS          , constellation data file
precision        = 6                , number of decimal places in output file
cutoffElevation, minimum allowed satellite elevation = 10.0, in degrees

# Change the following parameter to TRUE if your RINEX observation files
# don't include P1, and you want to use C1 instead. Please be aware that
# if you use C1 instead of P1 to compute PC combination, instrumental errors
# will NOT cancel, introducing a bias that must be taken into account by
# other means. This bias won't be corrected in this application.

useC1 = TRUE

# The following parameters control some sanity checks for SP3 data. The values
# are typical for 15-minutes-per-sample SP3 files

checkGaps = TRUE, check for data gaps bigger than 901 seconds
SP3GapInterval = 901, seconds

checkInterval = TRUE, don't allow interpolation intervals bigger than 8105 s
pppconf.txt Top L37 (Text File)
```

Figura 1: Archivo pppconf.txt

entre los días 332 y 365 del año 2010.

3.1. Insumos

Para cada uno de los procesamientos realizados los insumos requeridos son:

- **RINEX** de la estación a procesar.
- Efemérides precisas del día anterior, actual y posterior al procesamiento.
- Desplazamientos de los polos para cada día de procesamiento.
- Matriz con los valores de los coeficientes de la carga oceánica al modelo **FES94.1**.
- Coordenadas X,Y,Z conocidas de las estaciones a procesar.
- Fichero “igs08.atx” con los desplazamientos a los centros de fase de las antenas para cada una de las estaciones.
- Punto de referencia de la Antena (ARP) para cada estación.

3.2. Procedimiento

Para el procesamiento de cada una de las estaciones en los días descritos anteriormente, el procedimiento realizado se muestra en la figura 3.2

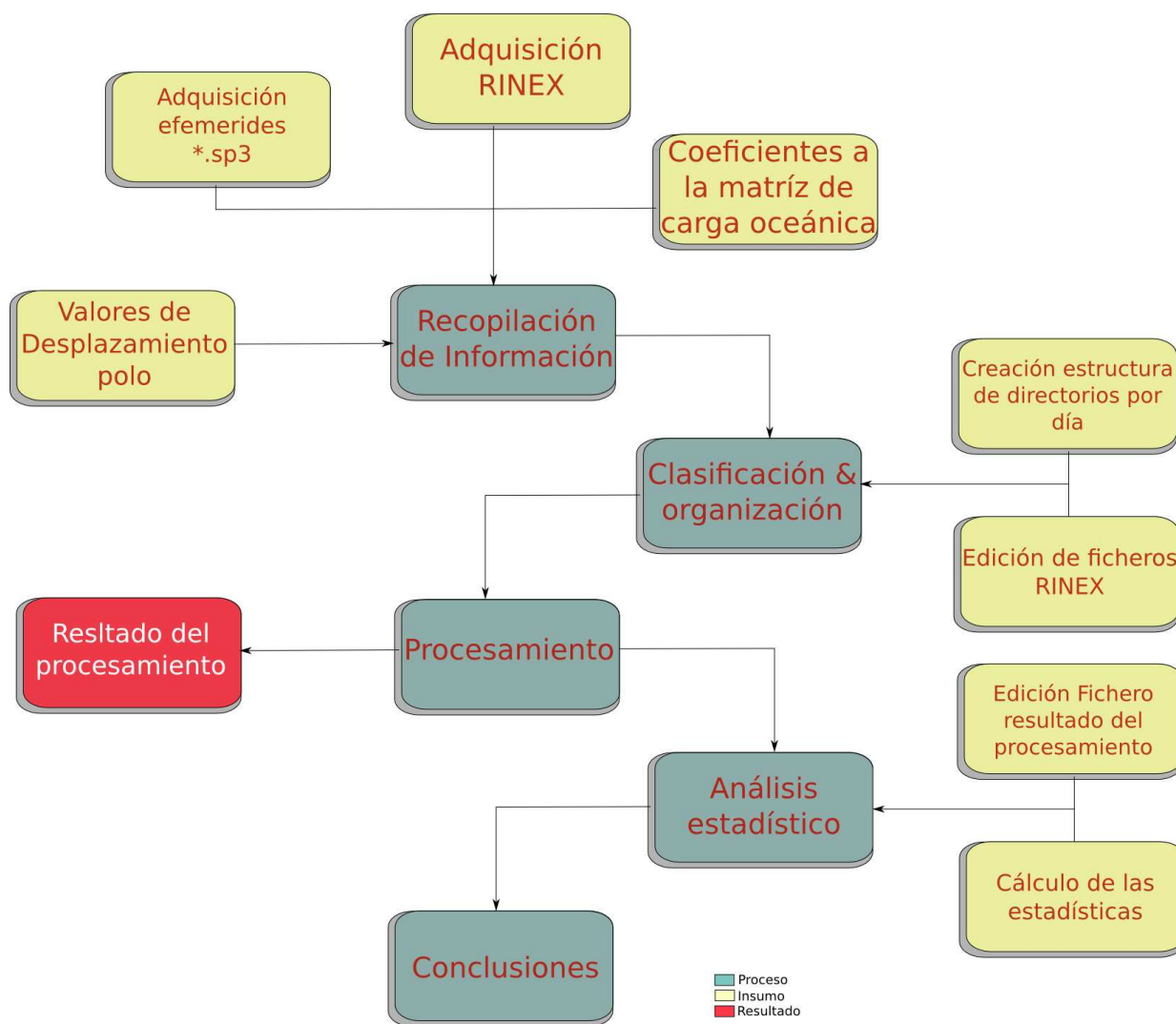


Figura 2: Metodología empleada en el procesamiento

4. Resultados

Los resultados obtenidos por los autores estuvieron en el orden de los centímetros por componente (X,Y,Z) evaluada. Las tablas junto con los gráficos elaborados dentro del presente trabajo se pueden observar en el anexo 1.

Las primeras tres columnas en cada una de las tablas, representan las variaciones de las componentes en X,Y,Z respecto de las publicadas por *SIRGAS*. Las siguientes tres columnas presentan los valores de varianza para cada uno de los promedios calculados con los deltas obtenidos por época de observación.

5. Conclusiones

- Los resultados obtenidos se acercan de forma significativa a las coordenadas generadas por SIRGAS.
- El algoritmo genera coordenadas con una baja dispersión en la información, brindando a los usuarios mayor nivel de confianza en las coordenadas obtenidas.
- Permite una fácil curva de aprendizaje y una mayor personalización de la herramienta para los fines requeridos por el usuario.

6. Recomendaciones

- Procesar datos pertenecientes a estaciones de otros países pertenecientes a **SIRGAS**, con el fin de validar el comportamiento del algoritmo y la aplicabilidad para los fines tanto investigativos como rutinarios de los centros de procesamiento de **SIRGAS**.
- Estudiar los datos relacionados con la tropósfera, en comparación con los obtenidos por herramientas como **GAMIT-GLOBK** y/o **BERNESE**.

Referencias

- [Robert Grover Brower, 1997] Robert Grover Brower, P. Y. C. H. (1997). *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filter*.
- [Salazar, 2010] Salazar, D. (2010). *Precise GPS-based position, velocity and acceleration determination: Algorithms and tools*.
- [Tracie Conn, 2007] Tracie Conn, Tom Gaussiran, R. B. H. J. L. R. M. D. M. B. R. B. T. T. C. M. V. (2007). *The GPS Toolkit a user guide for Scientist Engineers and Student*. The University of Texas at Austin.
- [Vigoda, 2003] Vigoda, E. (2003). Markov chains, coupling, stationary distribution.

ANEXO 1

BERR						
	PROMEDIOS POR OBSERVACION			VARIANZAS POR OBSERVACION		
Día	dx	dy	dz	dx	dy	dz
332	-0.037089	0.032882	0.0258918	0.00001529	0.000001	0.000035
333	-0.016849	0.143131	0.0279927	0.00000002	0.000248	0.000010
334	-0.033648	0.276686	0.0689733	0.00001096	0.001315	0.000084
335	-0.043283	0.300487	-0.054059	0.00002185	0.001709	0.000071
336	0.0246923	0.188368	0.0594012	0.00002825	0.000600	0.000065
337	0.0259755	0.251405	0.0553705	0.00001186	0.001161	0.000056
338	0.0649383	0.365182	0.0715528	0.00006144	0.002185	0.000091
339	0.0390772	0.117963	0.0200127	0.00000913	0.000112	0.000000
340	0.0215261	0.083862	0.0250138	0.00000024	0.000029	0.000010
341	-0.002663	0.057811	0.0494382	0.00000463	0.000012	0.000066
342	-0.079079	0.084434	-0.022785	0.00016724	0.000104	0.000019
343	-0.007453	0.185166	-0.027459	0.00000126	0.000560	0.000007
344	-0.042923	0.219381	-0.028686	0.00001110	0.000673	0.000009
345	0.0530060	0.183834	0.0127119	0.00008842	0.000508	0.000004
346	0.0164640	0.079113	0.0295780	0.00000924	0.000026	0.000018
347	-0.011749	0.084184	0.0010249	0.00000064	0.000020	0.000000
348	0.0039750	0.055561	0.0100235	0.00000196	0.000002	0.000002
349	-0.004333	0.054517	0.0015498	0.00000014	0.000020	0.000000
350	0.0383557	0.128417	0.0168363	0.00010126	0.000174	0.000011

Cuadro 1: Resultados obtenidos con *GPSik* para BERR

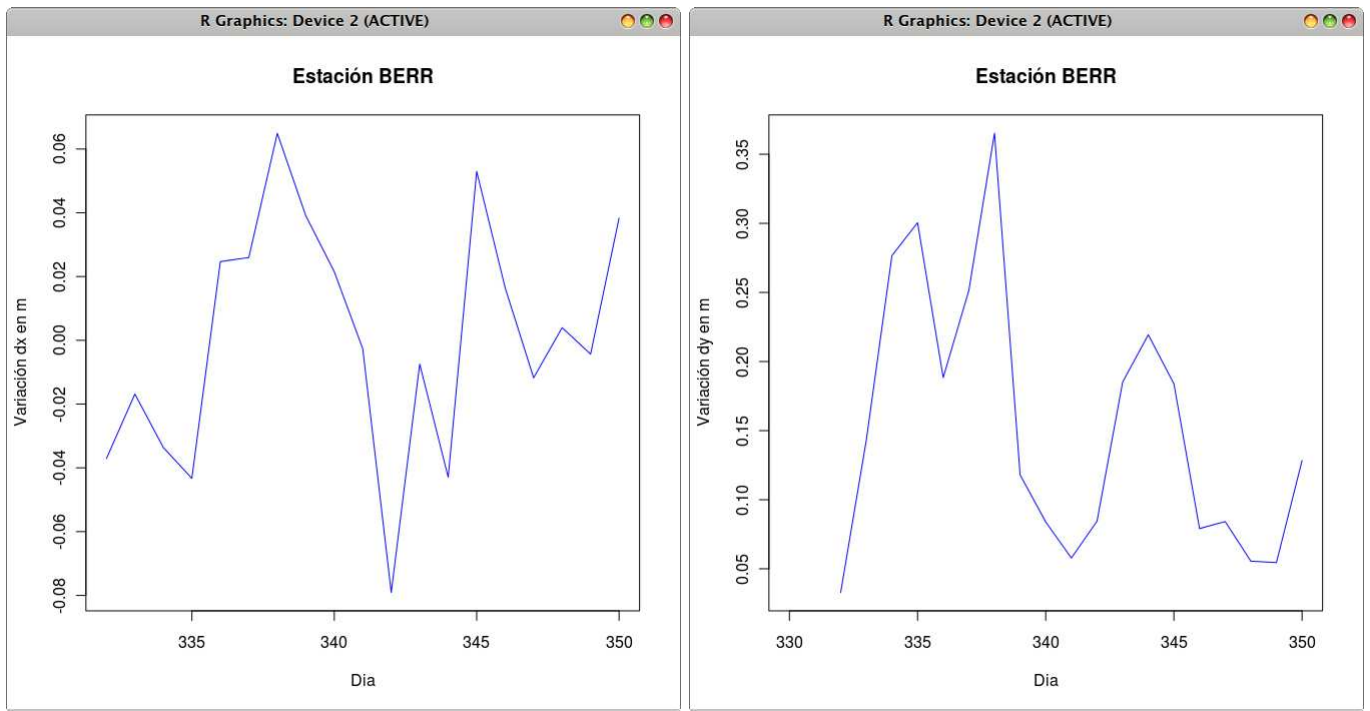


Figura 3: Comportamiento de los promedios en X e Y para BERR

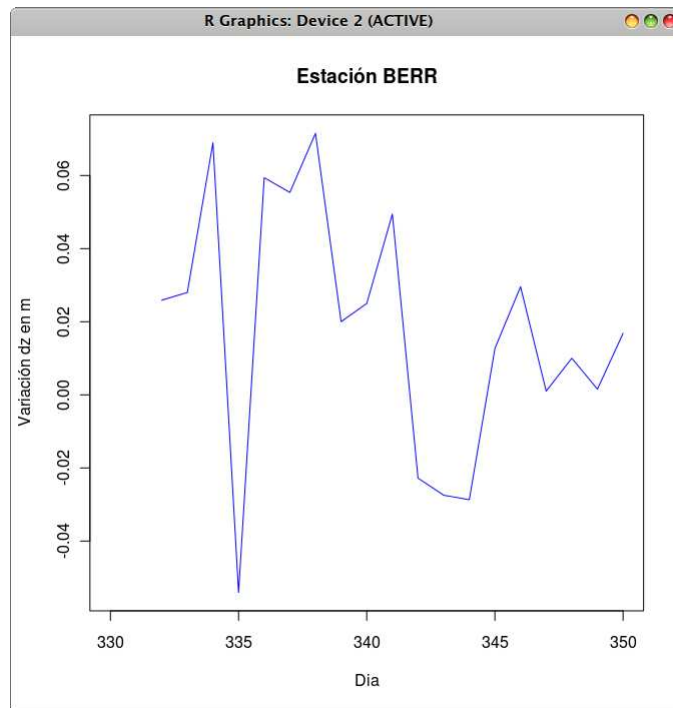


Figura 4: Comportamiento de los promedios en Z para BERR

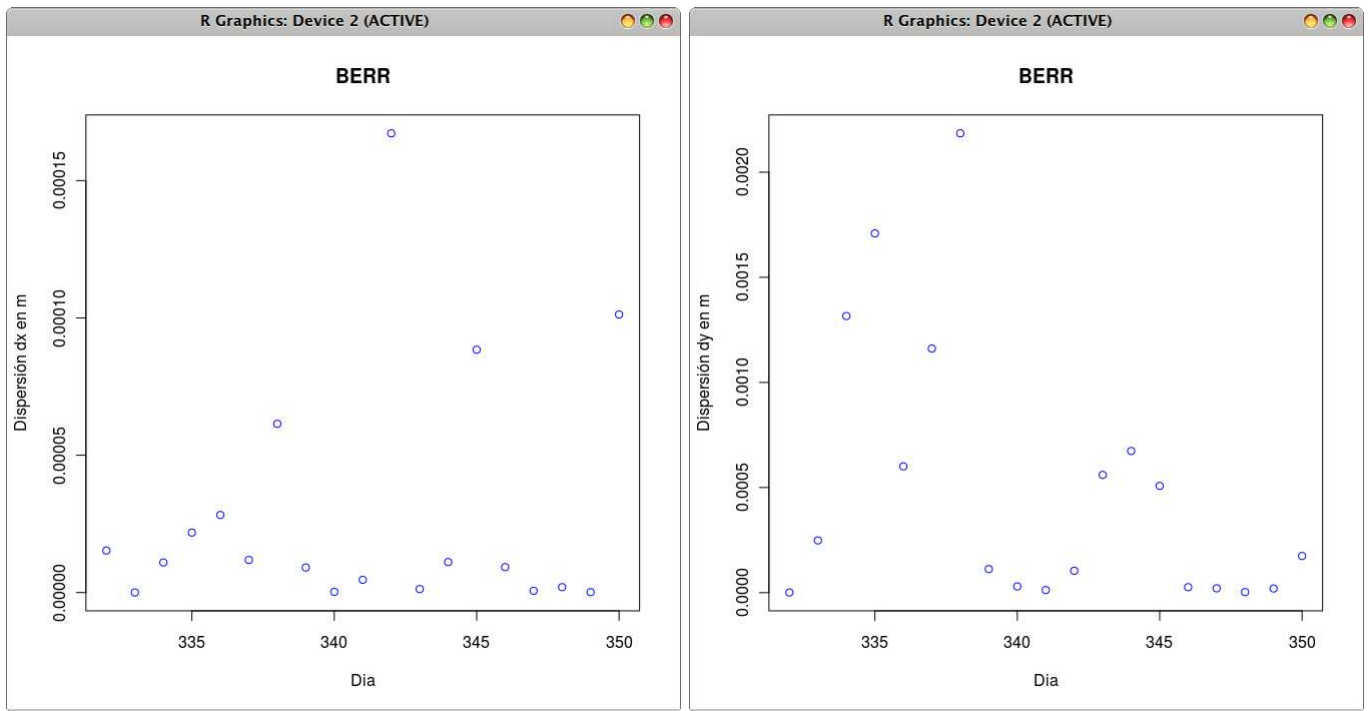


Figura 5: Comportamiento de las varianzas en X e Y para BERR

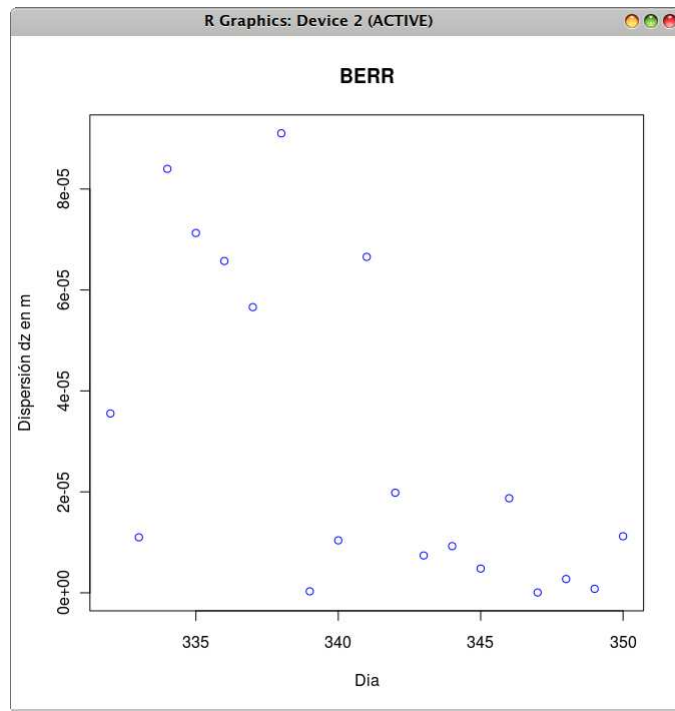


Figura 6: Comportamiento de la varianzas en Z para BERR

BOGA						
	PROMEDIOS POR OBSERVACION			VARIANZAS POR OBSERVACION		
Día	dx	dy	dz	dx	dy	dz
332	0	0	0	0	0	0
333	0.0025400	0.0619726	0.0353092	0.0000035	0.0000409	0.0000269
334	-0.066203	0.1740860	0.0421650	0.0000807	0.0005206	0.0000336
335	-0.037786	0.1410259	0.0279600	0.0000178	0.0002442	0.0000085
336	0.4670451	1.7154996	0.0344480	0.0346376	0.4904315	0.0001822
337	0.0195253	0.1068307	-0.017876	0.0000019	0.0001265	0.0000074
338	0.0681898	0.0690460	0.0391750	0.0000578	0.0000450	0.0000284
339	0.0350642	0.0363675	0.0333055	0.0000107	0.0000018	0.0000223
340	0.0554909	0.1306033	0.0308685	0.0000364	0.0002381	0.0000189
341	0.0482804	0.1141361	0.0599361	0.0000899	0.0001590	0.0000718
342	-0.050631	0.0379392	0.0073715	0.0000332	0.0000135	0.0000010
343	-0.049847	0.2398908	0.0196193	0.0000497	0.0009843	0.0000058
344	-0.016937	0.0398486	0.0252726	0.0000001	0.0000063	0.0000151
345	-0.026896	0.1578020	-0.010804	0.0000054	0.0003840	0.0000012
346	-0.014880	0.0309727	0.0163800	0.0000003	0.0000037	0.0000053
347	-0.054039	0.1281495	-0.015294	0.0000324	0.0002450	0.0000079
348	0.0165847	0.1056491	-0.002658	0.0000148	0.0001251	0.0000003
349	-0.019534	0.0317159	0.0123867	0.0000007	0.0000012	0.0000015
350	-0.004104	0.0603852	0.0106455	0.0000013	0.0000137	0.0000041
351	0.0032134	0.0567136	0.0115770	0.0000073	0.0000058	0.0000027
352	-0.001870	0.0754858	0.0140342	0.0000082	0.0000789	0.0000011
353	0	0	0	0	0	0
354	0.0322807	0.1002047	0.0487645	0.0000988	0.0002243	0.0000620
355	0.0175344	0.0544224	-0.012215	0.0000432	0.0000216	0.0000034
356	-0.014981	0.0380789	0.0185544	0.0000009	0.0000085	0.0000035
357	0.0178142	0.0664747	-0.017335	0.0000387	0.0000211	0.0000064
358	-0.019850	0.0307840	0.0190725	0.0000000	0.0000046	0.0000050
359	0.0032822	0.0402200	0.0271044	0.0000037	0.0000036	0.0000174
360	-0.006521	0.0320766	0.0133777	0.0000034	0.0000020	0.0000025
361	-0.004710	0.0396519	0.0164147	0.0000042	0.0000042	0.0000045
362	-0.023706	0.0385628	0.0167239	0.0000038	0.0000072	0.0000081
363	-0.041503	0.0357725	0.0252421	0.0000198	0.0000025	0.0000144
364	0.0113210	0.0451092	0.0108560	0.0000026	0.0000034	0.0000018
365	-0.011632	0.0438346	-0.007840	0.0000000	0.0000146	0.0000024

Cuadro 2: Resultados obtenidos con *GPSik* para BOGA

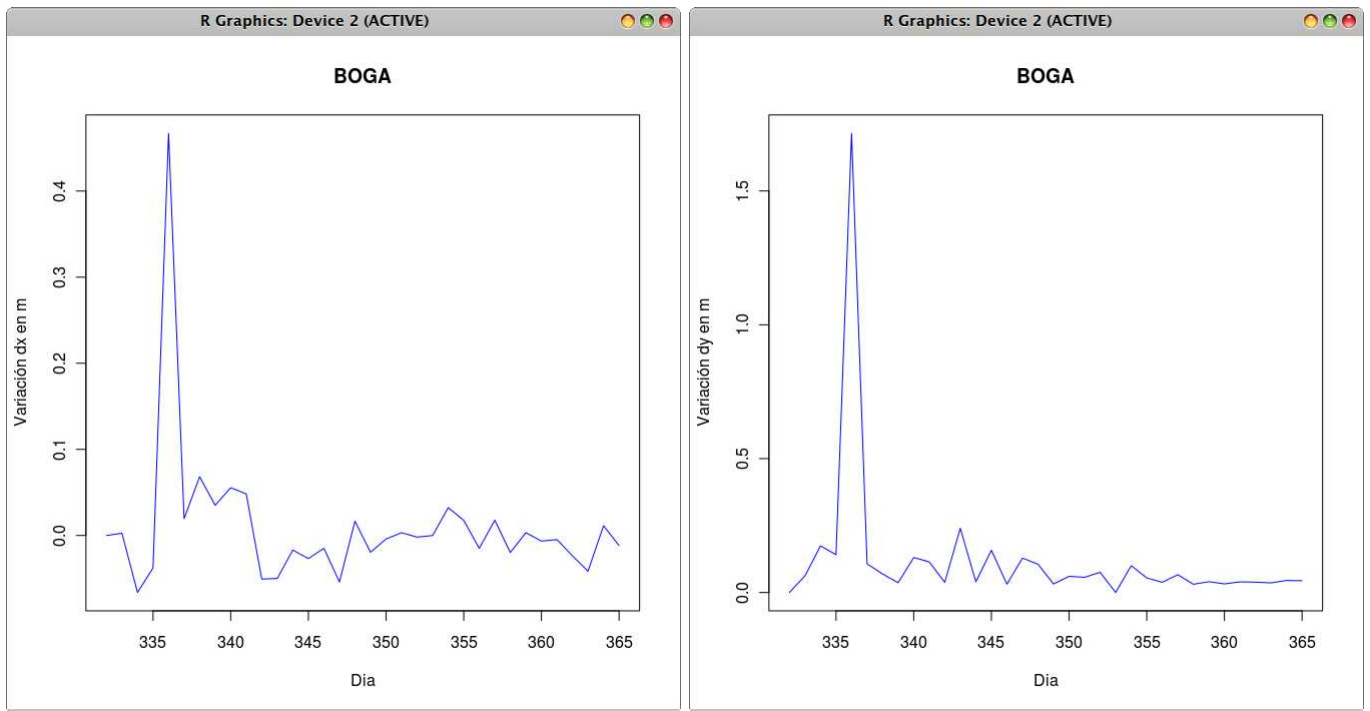


Figura 7: Comportamiento de los promedios en X e Y para BOGA

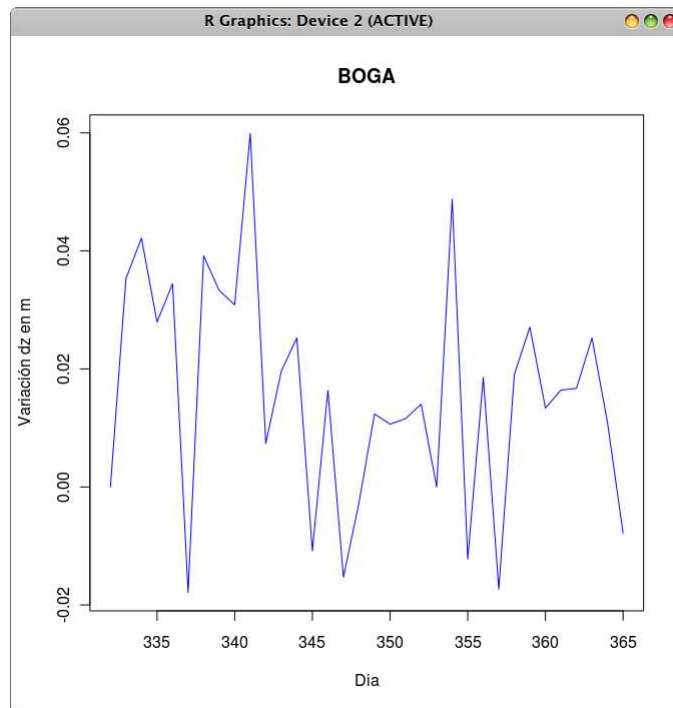


Figura 8: Comportamiento de los promedios en Z para BOGA

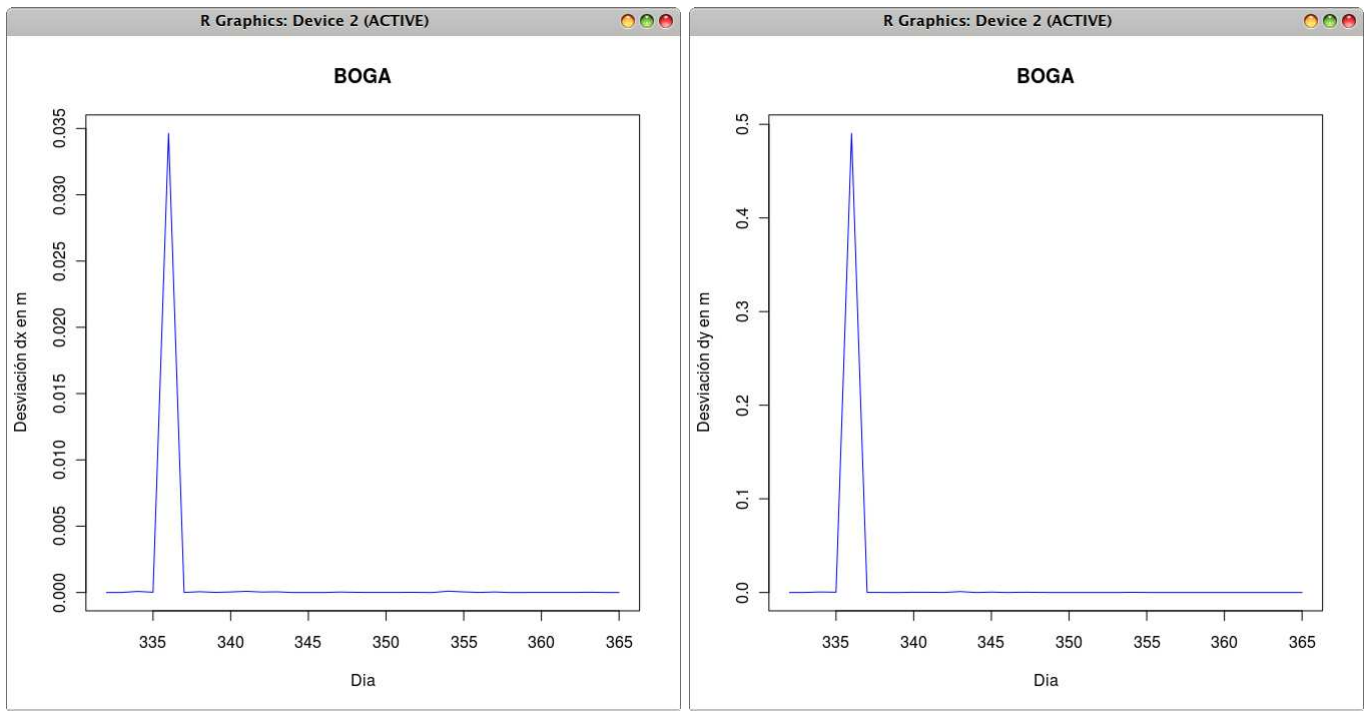


Figura 9: Comportamiento de las varianzas en X e Y para BOGA

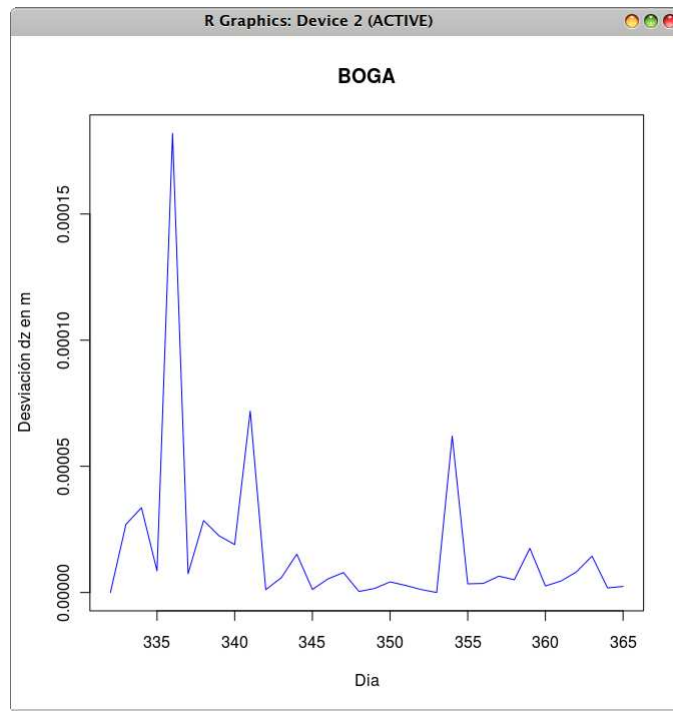


Figura 10: Comportamiento de la varianzas en Z para BOGA

TUNA						
Día	PROMEDIOS POR OBSERVACION			VARIANZAS POR OBSERVACION		
	dx	dy	dz	dx	dy	dz
332	-0.084914	0.3521849	-0.054585	0.000101	0.002069	0.000074
333	-0.030173	0.1415258	0.0323970	0.000006	0.000255	0.000015
334	-0.001142	0.0403512	0.0213726	0.000006	0.000001	0.000005
335	-0.022552	0.1344426	0.0250775	0.000000	0.000137	0.000008
336	0.1207513	0.1836736	0.0999069	0.000394	0.000472	0.000220
337	0.0622995	0.3210792	0.0627668	0.000047	0.001787	0.000085
338	0.0163708	0.0822215	0.0292321	0.000000	0.000045	0.000014
339	0.0310880	0.1110214	0.0142373	0.000004	0.000096	0.000002
340	0.0705984	0.1109671	0.0531513	0.000060	0.000108	0.000049
341	0.0025156	0.0579583	0.0174110	0.000005	0.000009	0.000006
342	-0.038856	0.0507148	0.0308399	0.000010	0.000000	0.000023
343	-0.078767	0.0861672	-0.035011	0.000085	0.000039	0.0000261
344	-0.034370	0.1821465	-0.017828	0.000005	0.000430	0.000055
345	-0.022831	0.0541529	0.0066456	0.000003	0.000003	0.0000009
346	0.0033891	0.0619864	0.0202895	0.000011	0.000010	0.0000095
347	-0.018216	0.2153525	-0.010184	0.000001	0.000664	0.0000025
348	0.0095544	0.0450395	0.0079068	0.000007	0.000003	0.0000012
349	-0.003233	0.0531033	0.0086855	0.000000	0.000007	0.0000015
350	0.0048016	0.0732282	0.0134543	0.000009	0.000012	0.0000038
351	0.0034959	0.0780062	0.0075438	0.000007	0.000051	0.0000027
352	0.0210578	0.0603086	0.0056347	0.000024	0.000020	0.0000001
353	-0.024609	0.0677613	0.0008182	0.000000	0.000031	0.0000000
354	0.0072937	0.0757414	-0.005860	0.000012	0.000025	0.0000000
355	-0.012124	0.0474059	0.0180162	0.000001	0.000001	0.0000086
356	-0.025602	0.0475246	0.0121412	0.000003	0.000007	0.0000013
357	0.0026070	0.0474433	0.0116369	0.000005	0.000002	0.0000041
358	-0.030391	0.0517408	0.0205167	0.000004	0.000003	0.0000094
359	0.0080347	0.0410757	0.0100262	0.000006	0.000000	0.0000023
360	-0.022968	0.0459549	0.0132528	0.000001	0.000002	0.0000038
361	-0.015291	0.0608627	0.0106127	0.000000	0.000008	0.0000022
362	-0.013640	0.0374734	0.0141590	0.000000	0.000000	0.0000046
363	-0.013898	0.0432782	0.0229635	0.000000	0.000002	0.0000122
364	-0.019400	0.0687388	0.0085372	0.000001	0.000023	0.0000020
365	-0.027813	0.0571675	0.0247899	0.000007	0.000010	0.0000120

Cuadro 3: Resultados obtenidos con *GPSrk* para TUNA

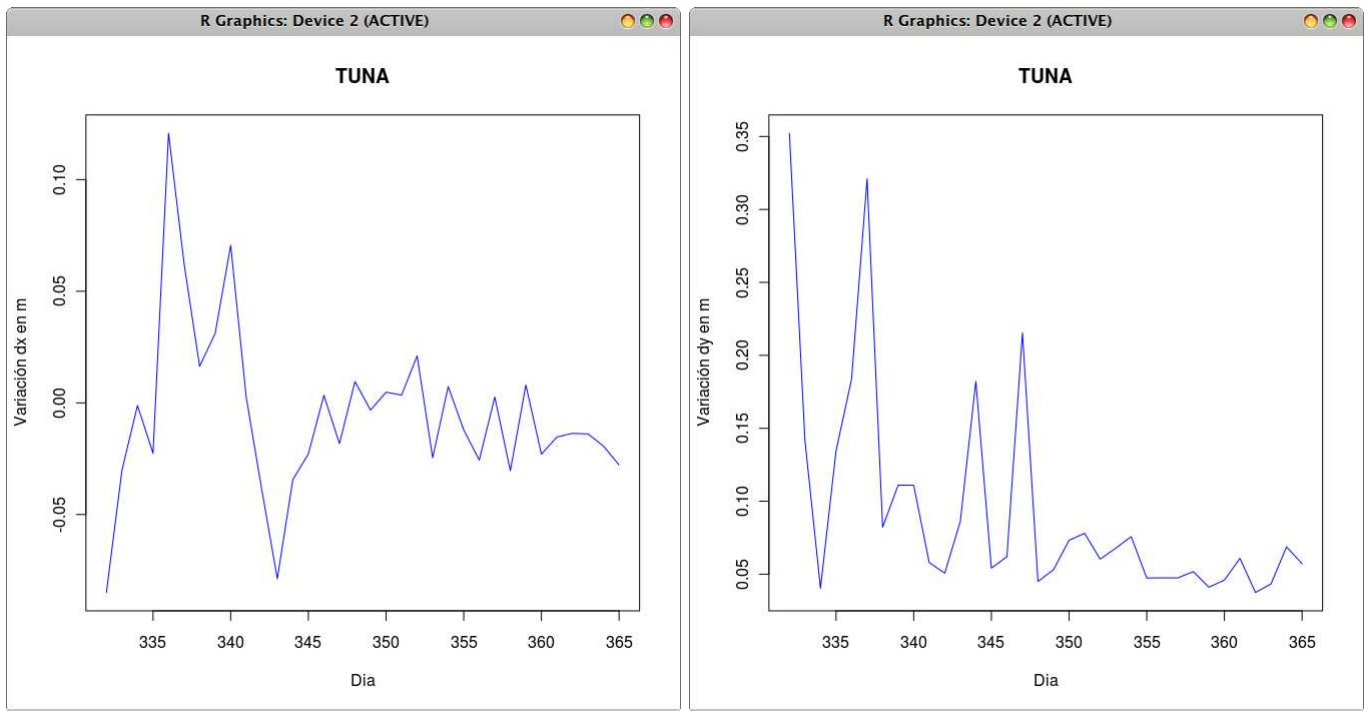


Figura 11: Comportamiento de los promedios en X e Y para TUNA

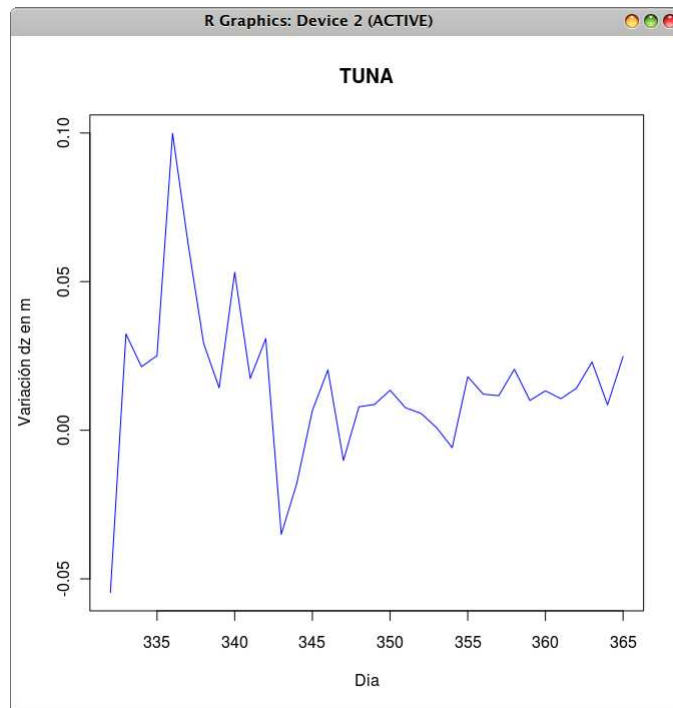


Figura 12: Comportamiento de los promedios en Z para TUNA

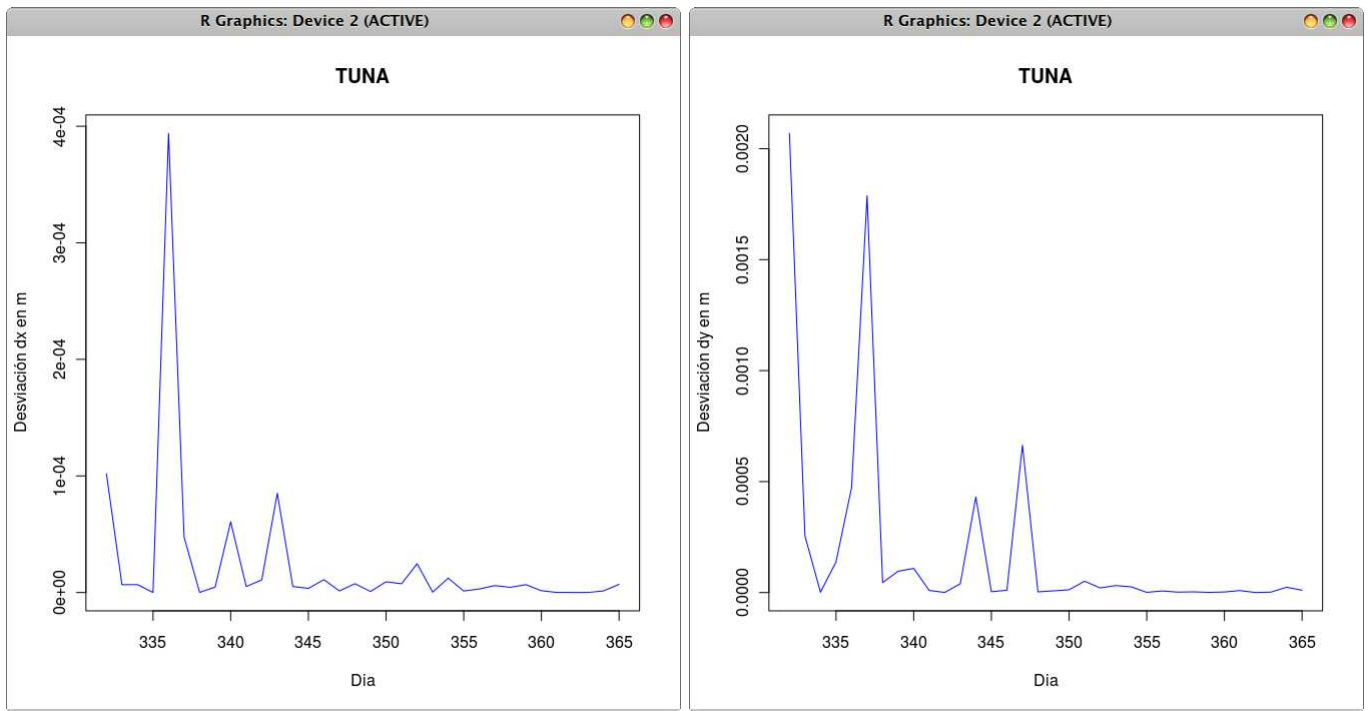


Figura 13: Comportamiento de las varianzas en X e Y para TUNA

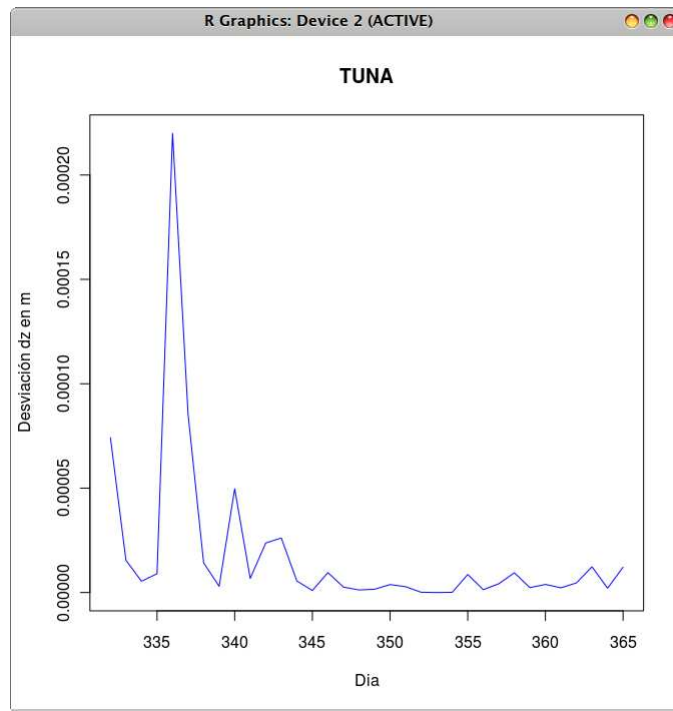


Figura 14: Comportamiento de la varianzas en Z para TUNA

VIVI						
Día	PROMEDIOS POR OBSERVACION			VARIANZAS POR OBSERVACION		
	dx	dy	dz	dx	dy	dz
332	-0.017215	-0.095515	0.0318995	0.000000	0.000459	0.000016
333	-0.001788	-0.096162	0.0221934	0.000002	0.000419	0.000005
334	-0.022061	0.2518025	0.0109978	0.000012	0.000975	0.000000
335	0.0229890	0.1982250	0.0419805	0.000017	0.000542	0.000024
336	-0.090448	0.4037462	0.0615249	0.000115	0.002596	0.000065
337	0.0622995	0.3210792	0.0627668	0.000047	0.001787	0.000085
338	0.0507552	0.0998142	0.0168886	0.000022	0.000071	0.000005
339	0.0230957	0.0769264	0.0151372	0.000002	0.000022	0.000004
340	0.1310235	0.137551	0.02724461	0.000317	0.000192	0.000014
341	0.2414486	0.224488	0.05859972	0.000830	0.000912	0.000060
342	-0.003226	0.074712	0.03471736	0.000000	0.000011	0.000024
343	0.0206032	0.133586	0.02191501	0.000014	0.000150	0.000013
344	-0.050733	0.193389	0.01274809	0.000024	0.000525	0.000004
345	-0.100576	0.109579	0.03898436	0.000130	0.000052	0.000032
346	0.0000256	0.119715	-0.0089918	0.000004	0.000090	0.000000
347	-0.067475	0.057638	0.01141388	0.000072	0.000041	0.000003
348	-0.010307	0.140718	0.01430016	0.000004	0.000124	0.000002
349	-0.032309	0.093255	0.01477052	0.000005	0.000037	0.000007
350	0.0031534	0.118957	-0.0222549	0.000006	0.000070	0.000004
351	-0.041992	0.117802	0.00509265	0.000024	0.000161	0.000000
352	0.0005142	0.061114	0.01586461	0.000000	0.000027	0.000006
353	0.0748145	0.347660	0.00224689	0.000160	0.001899	0.000000
354	0.0210036	0.049029	0.01063263	0.000012	0.000000	0.000006
355	-0.064873	0.057291	0.00458651	0.000053	0.000000	0.000002
356	-0.046684	0.076017	0.03004073	0.000015	0.000010	0.000017
357	0.0354082	0.103188	0.00782982	0.000027	0.000097	0.000001
358	-0.020580	0.053314	-0.0241936	0.000018	0.000002	0.000014
359	-0.011976	0.041386	0.01407714	0.000000	0.000004	0.0000031
360	0.0042133	0.087232	0.00831994	0.000007	0.000046	0.0000014
361	-0.060382	0.060718	0.04374322	0.000060	0.000000	0.0000432
362	0.0641126	0.243932	0.01522455	0.000126	0.000687	0.0000065
363	0.0028825	0.048209	0.02664915	0.000001	0.000006	0.0000103
364	-0.077916	0.111982	-0.0063686	0.000454	0.000136	0.0000034
365	0.0122744	0.055649	0.00546693	0.000014	0.000000	0.0000018

Cuadro 4: Resultados obtenidos con *GPSik* para VIVI

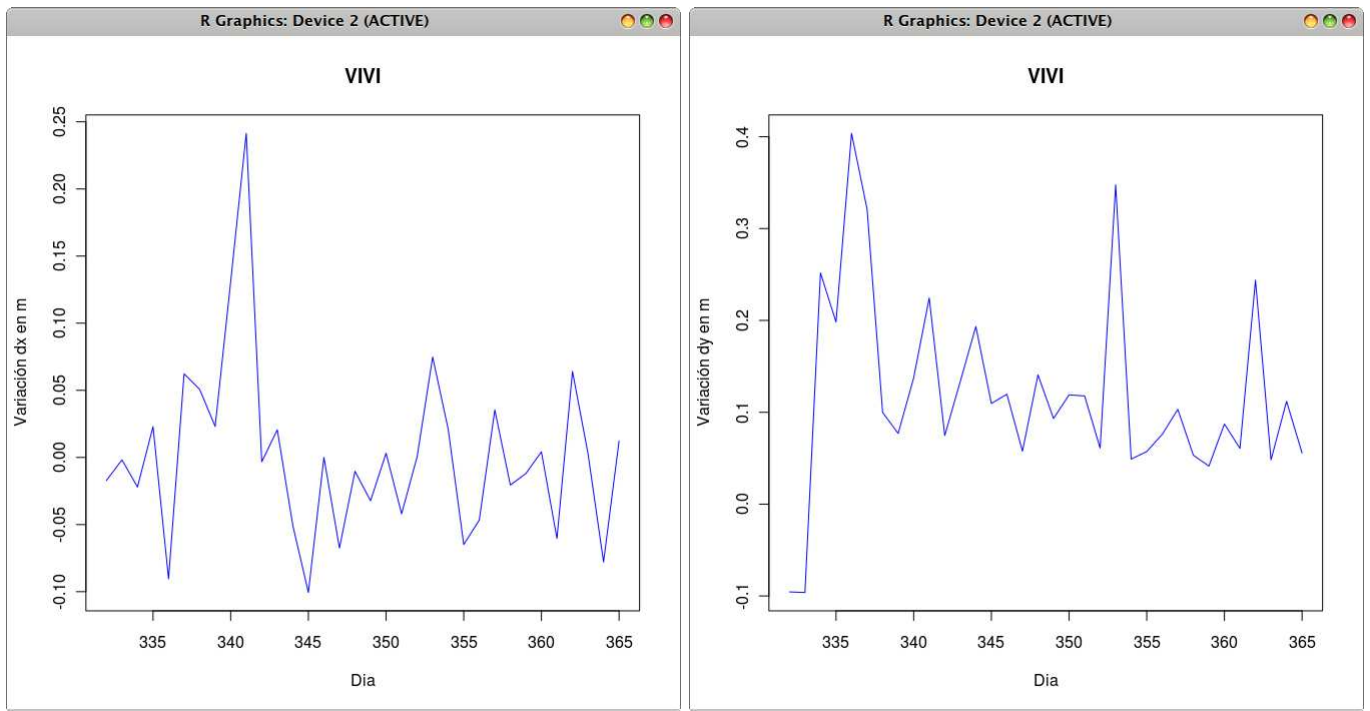


Figura 15: Comportamiento de los promedios en X e Y para VIVI

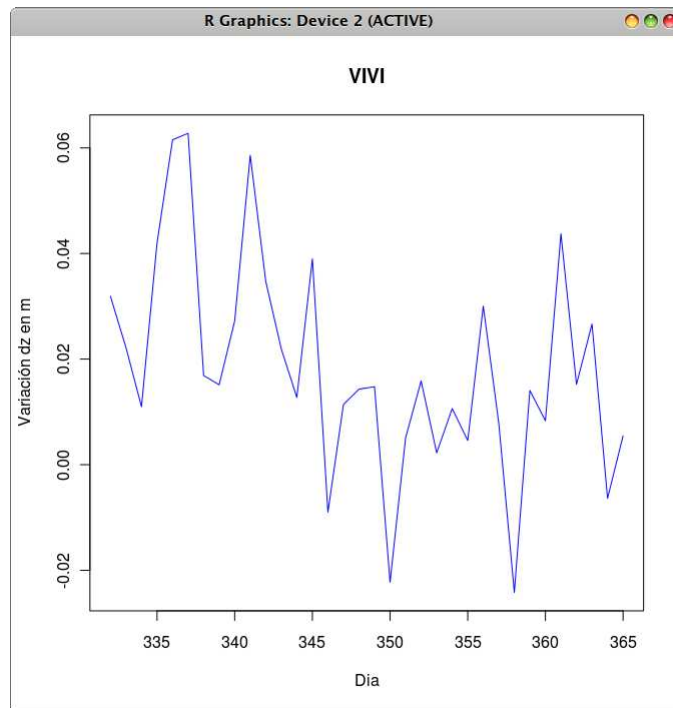


Figura 16: Comportamiento de los promedios en Z para VIVI