

MODELO PRELIMINAR DE MOVIMIENTO DE VELOCIDADES DE PLACAS TECTONICAS DE AL MENOS UNA ESTACIÓN DE MONITOREO CONTINUO

AUTOR: CAPT. FREDDY ROMERO

DIRECTOR: PHD ALFONSO TIERRA

CODIRECTOR: ING. ALEXANDER ROBAYO

RESUMEN

En la actualidad existe la necesidad de reducir errores y mejorar las precisiones en los trabajos de tanto de Topografía como de Geodesia, existen organismos internacionales y nacionales que se encargan de desarrollar tecnologías acordes a la época orientadas todas estas e tener una mejor apreciación de la realidad de nuestro planeta, un planeta activo y cambiante constantemente. La tecnología GPS ha permitido dar un salto enorme en lo que concierne a redes geodésicas nacionales y regionales, obteniendo gran cantidad de información, la que de no ser manejada eficientemente sería únicamente eso, información. El presente proyecto de tesis recopiló la información de estaciones GNSS del país pertenecientes a la REGME, y se realizó modelos para determinar cómo y hacia donde se mueven las placas del país. Esta información es importante ya que existen modelos globales y regionales, pero se generó un modelo de velocidades nacional que pretende ser útil en las diferentes transformaciones de datos que se requiera.

PALABRAS CLAVES: ESTACIONES GNSS; REGME; MODELO DE VELOCIDADES

ABSTRACT

There is now the need to reduce errors and improve precision in the work of both of Surveying and Geodesy, there are international and national agencies are responsible for developing technologies appropriate to the time-oriented all these and have a better

appreciation of reality of our planet, a planet active and constantly changing. GPS technology has enabled a quantum leap with respect to national and regional geodetic networks, obtaining large amount of information, which if not handled efficiently would be only that, information. This thesis project information collected GNSS stations belonging to the REGME country, and was made models to determine how and where plates move the country. This information is important as there are global and regional models, but generated a national velocity model should be useful in the various data transformations required.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de posicionamiento GNSS (Global Navigation Satellite System) han revolucionado dentro de la historia de metodologías de mediciones y obtención de datos espaciales. Durante los últimos años se han desarrollado estas técnicas con el avance de la tecnología satelital y de las comunicaciones, que ahora no solamente se utilizan para obtener posicionamiento, sino también para diferentes aplicaciones antes no imaginadas. Vale la pena recordar cuando se realizaban apenas mediciones a partir de cinta o levantamientos topográficos con taquímetros y regletas, que actualmente han sido cambiadas por equipos de recepción GNSS.

Una de las aplicaciones posibles para estos datos GNSS es la geodinámica de las placas tectónicas del planeta

DESARROLLO

Hace 225 millones de años, aún existía un único continente denominado Pangea. Hoy en día, Pangea se ha fragmentado, el agua ha invadido las zonas bajas y la apariencia de la Tierra ha variado sustancialmente. Por supuesto, seguirá cambiando con el paso del tiempo.

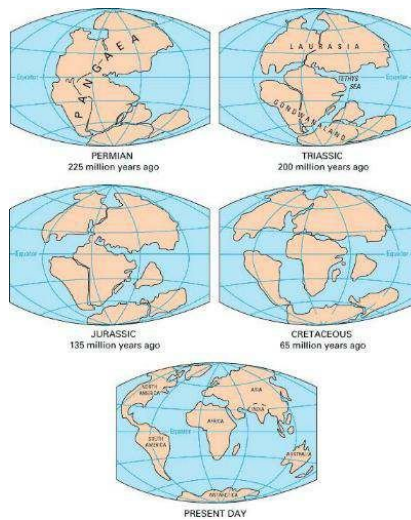


Figura No. 1 Deriva Continental

Fuente: <http://www.portalplanetasedna.com.ar>

Sin embargo, no ha sido fácil demostrar, que efectivamente las placas se están moviendo hoy en día, ya que el desplazamiento es muy lento y su medición muy complicada; hemos tenido que esperar a la llegada de la era espacial para poder constatar que efectivamente aún existe una tectónica de placas es decir que estas se mueven.

Las velocidades calculadas para este fenómeno no suelen superar unos pocos centímetros al año, así que el grado de precisión en la medición de las distancias entre placas debe ser muy elevado. El uso de satélites es uno de los sistemas más precisos empleados en la actualidad, en sus dos modalidades, óptica y electrónica.

Los satélites geodésicos como el ANNA-1B (Primer satélite geodésico puesto en órbita en 1962), sirven como puntos de referencia de dos o más lugares situados sobre la superficie terrestre. Basta con utilizar una cámara en dirección al satélite para obtener una imagen sincronizada de su paso sobre el bien conocido cielo estelar. La comparación de diversas imágenes procedentes de varios lugares de observación permite realizar cálculos de triangulación bastante aproximados.

Mayor precisión se obtiene utilizando señales de radio (teniendo en cuenta el efecto Doppler) o, sobre todo, rayos láser, que son enviados hacia el satélite para ser reflejados y retornar al punto de origen. El láser es apuntado hacia el vehículo y activado según un protocolo de tiempo predeterminado. Cuando se detecta el retorno del pulso mediante un dispositivo fotoeléctrico, es posible medir la distancia exacta entre el satélite y el punto de observación.

Este tipo de medidas se hace en condiciones de luminosidad ambiental adecuadas. Dos mediciones simultáneas desde dos puntos distintos permite determinar las coordenadas de uno de ellos respecto al otro y por tanto la distancia entre ambos.

Otro método muy utilizado en la actualidad es el sistema GPS

La mejora al nivel de centímetro o a una precisión mejor es obtenida usando los retardos de la fase de los portadores de la microonda. El uso de señales diferenciadas reduce errores de reloj. Combinar ambas frecuencias transmitidas quita los retardos causados por el paso de las señales del GPS a través de la ionosfera. Los retardos troposféricos se pueden estimar para reducir errores de la posición y, además, para proporcionar datos atmosféricos valiosos. El elemento final para los levantamientos de alta precisión es proporcionado por un continuo funcionamiento de las estaciones permanentes GPS y de los centros de datos a los que estas estaciones pertenecen. Con estas respectivas correcciones la precisión a la que llegan puede ser de 5 a 10 mm.

La distribución mundial de las estaciones permanentes es crucial para los estudios locales del GPS y proporciona valiosos datos para los estudios globales. Un rango de instrumentos y de las técnicas del GPS está disponible para tratar una variedad amplia de aplicaciones de la investigación.

Para la presente investigación se utilizarán los puntos de la red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME). La REGME (IGM), se encuentra constituida por 31 estaciones (hasta Oct-2013) distribuidas en todo el territorio continental y 2 estaciones en Galápagos, cubriendo el 95% de la superficie nacional, las cuales captan datos

GNSS las 24 horas del día, los 365 días del año, proporcionando información necesaria para realizar el procesamiento diferencial de información GPS, sin necesidad de salir al campo para la colocación de bases GPS, que muchas veces generan problemas de logística y accesibilidad a los puntos; así como aumento del presupuesto.

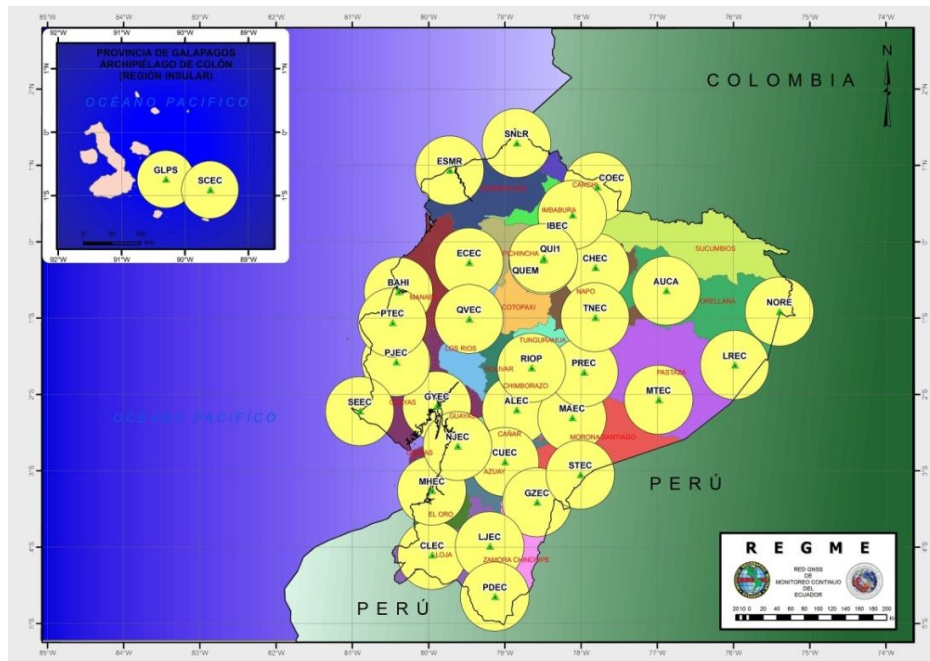


Figura No. 2 Red GNSS de Monitoreo continuo del Ecuador (Oct-2013)

Fuente: IGM, Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec>.

Una estación de monitoreo continuo GPS es un antena más receptor GPS que funciona de manera permanente, se encuentra ubicado en un punto previamente seleccionado sobre la superficie terrestre (VILLELLA, 2006).

Con los datos proporcionados por las estaciones GPS permanentes y aplicando varias metodologías han sido desarrollados varios modelos que explican el movimiento de las placas tectónicas

Los modelos más reconocidos desarrollados en base a esta temática son los siguientes:

Tabla 1 Principales Modelos de Movimiento de Placas

Fuente: UNAVCO

| MODELO | AUTOR |
|-----------------------------------|---|
| MORVEL (2010) | <i>DeMets, Gordon, y Arugs [2010]</i> |
| APKIM2005 | <i>Drewes [2009]: soluciones ITRF2005 sitio DGFI o IGN</i> |
| GSRM v1.2 (2004) | <i>Kreemer, Holt, y Haines [2003] + actualizaciones</i> |
| CGPS (2004) | <i>Prawirodirdjo y Bock [2004] + actualizaciones mensuales</i> |
| REVEL 2000 | <i>Sella, Dixon, y Mao [2002]</i> |
| ITRF2000 (AS&B [2002]) | <i>Altamimi, Sillard, y Boucher [2002]</i> |
| HS3-NUVEL 1^a | <i>Gripp y Gordon [2002]</i> |
| APKIM2000 | <i>Drewes [1998], Drewes y Angermann [2001]</i> |
| ITRF2000 (D&A [2001]) | <i>Drewes y Angermann [2001]</i> |
| HS2-NUVEL 1^a | <i>Gripp y Gordon [1990], DeMets, Gordon, Argus, y Stein [1994]</i> |
| NUVEL 1^a | <i>DeMets, Gordon, Argus, y Stein [1994]</i> |
| NUVEL 1 | <i>Argus y Gordon [1991]</i> |
| VEMOS 2009 | <i>Drewes and Heidbach 2009</i> |

PREPROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Para iniciar con el modelamiento de los datos se deber realizar varios procesos previos que se cita a continuación:

- Descargar de la página oficial de SIRGAS los datos de las estaciones de monitoreo continuo GPS del Ecuador, es necesario tener en cuenta que estos datos vienen dados en coordenadas cartesianas, divididos por semana GPS y vienen los datos de todas las estaciones SIRGAS, es decir que de cada archivo se debe seleccionar los datos de las estaciones del Ecuador.
- Analizar la continuidad de los datos de las estaciones del Ecuador, se considera que un buen modelo debe tener datos continuos de al menos 2 años, es decir aproximadamente 100 observaciones o más, teniendo en cuenta este condicionamiento se ha seleccionado a 3 estaciones para el modelamiento,

Esmeraldas, Riobamba y Loja (Las monografías de las estaciones se encuentran en el Anexo1)

- Los datos vienen dados en coordenadas cartesianas por lo que se requiere realizar una transformación a coordenadas que sean más entendibles para el futuro usuario, para este caso particular se decidió transformar a coordenadas UTM y la altura considerada es la elipsoidal.

Se procede a hacer un análisis estadístico básico; se obtiene la media y la desviación estándar, con el fin de analizar la “validez de los datos”

Una regla empírica indica lo siguiente; en una distribución de frecuencias simétrica, con forma de campana, aproximadamente el 95% de las observaciones se encontrarán entre más dos y menos dos desviaciones estándar desde la media, a partir del valor medio.

- Se analiza individualmente los requerimientos de cada uno de los modelamientos matemáticos uno vez determinados los mismos se procede a los diferentes modelamientos.

Tabla 2 Coordenadas UTM estación Esmeraldas

| SEMANA | ESTE | NORTE | h | SEMANA | ESTE | NORTE | h | SEMANA | ESTE | NORTE | h |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1543 | 0,5237 | 0,4214 | 0,6565 | 1575 | 0,5316 | 0,4217 | 0,6425 | 1607 | 0,5409 | 0,4218 | 0,6503 |
| 1544 | 0,5204 | 0,4215 | 0,6511 | 1576 | 0,5302 | 0,4217 | 0,6454 | 1608 | 0,5393 | 0,4217 | 0,6536 |
| 1545 | 0,5249 | 0,4214 | 0,6609 | 1577 | 0,5313 | 0,4216 | 0,6398 | 1609 | 0,5389 | 0,4218 | 0,6527 |
| 1546 | 0,5208 | 0,4215 | 0,6568 | 1578 | 0,5346 | 0,4217 | 0,64 | 1610 | 0,5385 | 0,4218 | 0,6532 |
| 1547 | 0,5221 | 0,4215 | 0,6582 | 1579 | 0,5301 | 0,4217 | 0,6399 | 1611 | 0,5381 | 0,4218 | 0,6536 |
| 1548 | 0,5209 | 0,4215 | 0,6577 | 1580 | 0,5342 | 0,4216 | 0,6443 | 1612 | 0,5416 | 0,4218 | 0,6605 |
| 1549 | 0,5214 | 0,4215 | 0,6568 | 1581 | 0,5332 | 0,4216 | 0,6364 | 1613 | 0,5425 | 0,4218 | 0,6566 |
| 1550 | 0,5231 | 0,4215 | 0,6545 | 1582 | 0,5332 | 0,4216 | 0,6366 | 1614 | 0,544 | 0,4218 | 0,6544 |
| 1551 | 0,5237 | 0,4215 | 0,6563 | 1583 | 0,5347 | 0,4217 | 0,6376 | 1615 | 0,5445 | 0,4218 | 0,655 |
| 1552 | 0,523 | 0,4215 | 0,656 | 1584 | 0,5341 | 0,4216 | 0,6452 | 1616 | 0,5451 | 0,4218 | 0,6577 |
| 1553 | 0,5226 | 0,4215 | 0,6588 | 1585 | 0,5338 | 0,4216 | 0,6389 | 1617 | 0,5444 | 0,4219 | 0,6538 |
| 1554 | 0,524 | 0,4215 | 0,6595 | 1586 | 0,5352 | 0,4216 | 0,6418 | 1618 | 0,5446 | 0,4219 | 0,6591 |
| 1555 | 0,5246 | 0,4215 | 0,6544 | 1587 | 0,5374 | 0,4216 | 0,6437 | 1619 | 0,5455 | 0,4219 | 0,6622 |
| 1556 | 0,5245 | 0,4215 | 0,657 | 1588 | 0,5376 | 0,4216 | 0,6464 | 1620 | 0,5468 | 0,4218 | 0,6577 |
| 1557 | 0,5237 | 0,4215 | 0,6565 | 1589 | 0,5362 | 0,4217 | 0,6477 | 1621 | 0,5474 | 0,4218 | 0,658 |
| 1558 | 0,5226 | 0,4215 | 0,6578 | 1590 | 0,5366 | 0,4217 | 0,6499 | 1622 | 0,5453 | 0,4219 | 0,6551 |
| 1559 | 0,5238 | 0,4215 | 0,6541 | 1591 | 0,5365 | 0,4217 | 0,6472 | 1623 | 0,5465 | 0,4219 | 0,6556 |
| 1560 | 0,5207 | 0,4215 | 0,6544 | 1592 | 0,5361 | 0,4217 | 0,6478 | 1624 | 0,548 | 0,4219 | 0,6522 |
| 1561 | 0,5253 | 0,4216 | 0,6557 | 1593 | 0,5393 | 0,4217 | 0,6459 | 1625 | 0,548 | 0,4219 | 0,6479 |

MODELAMIENTO ARIMA

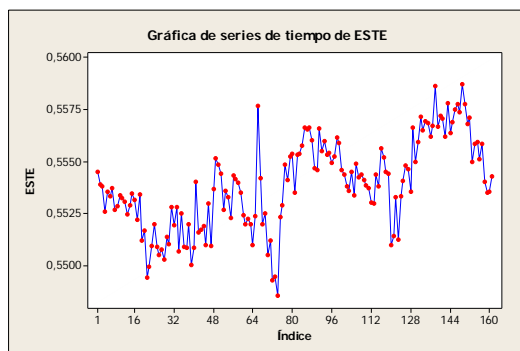
Vasado en la metodología ARIMA se procede a analizar los datos, considerando que es necesario que todos los datos sean continuos. Para este trabajo, en caso de no existir algún valor, este se debía calcular sacando el promedio entre la observación anterior y posterior, para así tener la continuidad de los datos.

A continuación se va a realizar el proceso con las coordenadas de la estación de Esmeraldas.

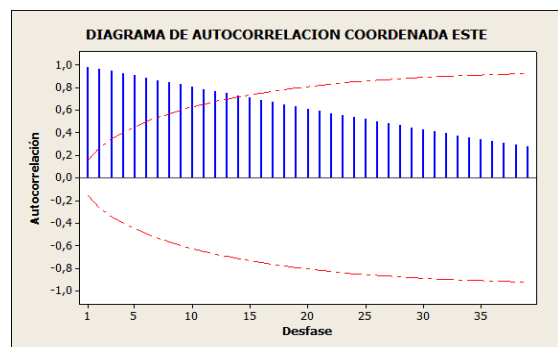
Analizando la continuidad de los datos se visualiza que la semana 1662 no posee información, por lo que se procede a realizar un promedio entre la semana 1661 y 1663.

Se analiza por separado cada coordenada, en este caso la coordenada ESTE

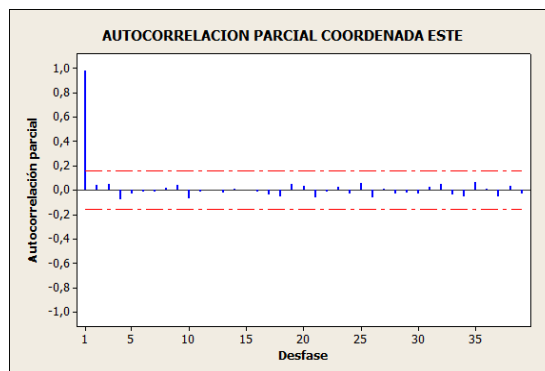
Posteriormente se realiza el análisis de las gráficas de las coordenadas



(a)



(b)



(c)

Figura No. 3 (a) Gráficas de la serie de tiempo, (b) Autocorrelación total y (c) Autocorrelación parcial de la coordenada este

Realizando un análisis de la gráfica a de la fig. 3 de la serie se deduce que la serie no es estacionaria, y que presenta una tendencia creciente. Analizando las gráficas a y b de la fig. 8 autocorrelación y autocorrelación parcial se deduce que nuestro modelo se puede ajustar a los siguientes modelos ARIMA (0,1,1); (1,1,0); (2,1,0); (2,0,0); ya que presenta un desfase significativo en el primer desfase y un desfase menor en el segundo desfase en el software Minitab procedemos a correr los modelos y a analizar los resultados para ver cual modelos es el óptimo, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3 Modelamiento ARIMA para coordenada Este

| Modelo ARIMA: ESTE (0,1,1) | | | | | |
|---|---|------------|-------------|-------|-------|
| Estimados en cada iteración | | | | | |
| Iteración | | SSE | Parámetros | | |
| 0 | | 1,91113 | 0,100 | 0,100 | |
| 1 | | 0,01709 | 0,057 | 0,010 | |
| 2 | | 0,00155 | 0,207 | 0,003 | |
| 3 | | 0,00043 | 0,357 | 0,001 | |
| 4 | | 0,00032 | 0,496 | 0,000 | |
| 5 | | 0,00031 | 0,506 | 0,000 | |
| 6 | | 0,00031 | 0,511 | 0,000 | |
| 7 | | 0,00031 | 0,512 | 0,000 | |
| 8 | | 0,00031 | 0,512 | 0,000 | |
| El cambio relativo en cada estimado es menor que 0,0010 | | | | | |
| Estimados finales de los parámetros | | | | | |
| Tipo | | Coef | Coef. de EE | T | P |
| MA | 1 | 0,5119 | 0,0693 | 7,38 | 0,000 |
| Constante | | 0,00032474 | 0,00005578 | 5,82 | 0,000 |
| Diferenciación: 1 Diferencia regular | | | | | |
| Número de observaciones: Serie original 156, después de diferenciar 155 | | | | | |
| Residuos: SC = 0,000308625 (se excluyeron pronósticos retrospectivos) | | | | | |
| MC = 0,000002017 GL = 153 | | | | | |
| Estadística chi-cuadrada modificada de Box-Pierce (Ljung-Box) | | | | | |
| Desfase | | 12 | 24 | 36 | 48 |
| Chi-cuadrada | | 7,7 | 22,9 | 36,0 | 52,5 |
| GL | | 10 | 22 | 34 | 46 |
| Valor P | | 0,657 | 0,408 | 0,374 | 0,238 |
| Modelo ARIMA: ESTE (0,0,1) | | | | | |
| Estimados en cada iteración | | | | | |
| Iteración | | SSE | Parámetros | | |
| 0 | | 1,97013 | 0,100 | 0,647 | |

| | | | |
|----|---------|--------|-------|
| 1 | 1,09173 | -0,050 | 0,633 |
| 2 | 0,70103 | -0,200 | 0,626 |
| 3 | 0,48528 | -0,350 | 0,620 |
| 4 | 0,35210 | -0,500 | 0,616 |
| 5 | 0,26321 | -0,650 | 0,613 |
| 6 | 0,19786 | -0,800 | 0,609 |
| 7 | 0,12873 | -0,950 | 0,600 |
| 8 | 0,01139 | -0,960 | 0,550 |
| 9 | 0,01103 | -0,959 | 0,547 |
| 10 | 0,01103 | -0,958 | 0,547 |

El cambio relativo en cada estimado es menor que 0,0010

Estimados finales de los parámetros

| Tipo | Coef | Coef. de EE | T | P |
|-----------|----------|-------------|--------|-------|
| MA 1 | -0,9582 | 0,0195 | -49,18 | 0,000 |
| Constante | 0,546814 | 0,001283 | 426,17 | 0,000 |
| Media | 0,546814 | 0,001283 | | |

Número de observaciones: 156

Residuos: SC = 0,0109985 (se excluyeron pronósticos retrospectivos)

MC = 0,0000714 GL = 154

Estadística chi-cuadrada modificada de Box-Pierce (Ljung-Box)

| | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Desfase | 12 | 24 | 36 | 48 |
| Chi-cuadrada | 1248,3 | 1976,1 | 2326,7 | 2441,1 |
| GL | 10 | 22 | 34 | 46 |
| Valor P | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Modelo ARIMA: ESTE (1,1,0)

Estimados en cada iteración

| Iteración | SSE | Parámetros |
|-----------|---------|--------------|
| 0 | 1,25778 | 0,100 0,090 |
| 1 | 0,00932 | 0,133 0,008 |
| 2 | 0,00267 | -0,017 0,004 |
| 3 | 0,00089 | -0,167 0,002 |
| 4 | 0,00036 | -0,317 0,001 |
| 5 | 0,00032 | -0,400 0,000 |
| 6 | 0,00032 | -0,407 0,000 |
| 7 | 0,00032 | -0,408 0,000 |
| 8 | 0,00032 | -0,408 0,000 |

El cambio relativo en cada estimado es menor que 0,0010

Estimados finales de los parámetros

| Tipo | Coef | Coef. de EE | T | P |
|-----------|-----------|-------------|-------|-------|
| AR 1 | -0,4079 | 0,0736 | -5,54 | 0,000 |
| Constante | 0,0004537 | 0,0001167 | 3,89 | 0,000 |

Diferenciación: 1 Diferencia regular

Número de observaciones: Serie original 156, después de diferenciar 155

Residuos: SC = 0,000322705 (se excluyeron pronósticos retrospectivos)

MC = 0,000002109 GL = 153

Estadística chi-cuadrada modificada de Box-Pierce (Ljung-Box)

| | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Desfase | 12 | 24 | 36 | 48 |
| Chi-cuadrada | 10,8 | 27,8 | 44,2 | 61,8 |
| GL | 10 | 22 | 34 | 46 |
| Valor P | 0,375 | 0,183 | 0,113 | 0,060 |

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para los modelos ARIMA se ejemplariza el análisis de los datos arrojados en el capítulo anterior, para la coordenada Este de la estación de Esmeraldas

Analizando los valores de los errores para los modelos se tiene:

- ARIMA (0,0,1) $s^2 = 0,0000714$
- ARIMA (1,1,0) $s^2 = 0,000002109$
- ARIMA (0,1,1) $s^2 = 0,000002017$

Se hace un análisis de los resultados arrojados por Minitab:

El error (MC) es menor en el modelo ARIMA (0,1,1) sin embargo es muy similar al error del modelo ARIMA (1,1,0), basados en este parámetro los dos modelos pueden aplicarse; aplicando el principio de parsimonia (sencillez), los dos modelos presentan 2 términos, es decir que por este principio los dos modelos pueden aplicarse de igual manera, un último análisis de los resultados de chi-cuadrado vemos que los valores del modelo ARIMA (0,1,1) son menores, basados en este parámetro podemos decidir que el modelo ARIMA (0,1,1) es el que mejor resultado ofrece. Aplicando esta metodología se obtiene los siguientes modelos para las respectivas coordenadas de cada estación; se debe tener en cuenta que estos modelos se generan siempre con un 95% de confianza, esto ya viene dado por el fabricante del software (Minitab)

Tabla 4 Modelos ARIMA aceptados

| ESTACIÓN | COORDENADA | ARIMA | COEFICIENTES | ERROR s^2 |
|------------|------------|---------|---|-----------------|
| RIOBAMBA | ESTE | (2,0,0) | $\Phi_0=0,0728298$ $\Phi_1=0,5893$ $\Phi_2=0,2793$ | 0,000001427 |
| | NORTE | (2,0,0) | $\Phi_0=-3,61391E-03$ $\Phi_1=0,7026$ $\Phi_2=0,3057$ | 0,0000000004584 |
| | H | (1,1,0) | $\Phi_0=-0,0001093$ $\Phi_1=-0,2452$ | 0,00000797 |
| ESMERALDAS | ESTE | (0,1,1) | $\mu=0,00032474$ $w_1=0,5119$ | 0,000002017 |
| | NORTE | (1,0,0) | $\Phi_0=-3,07241E-03$ | 0,000000000847 |

| | | | | |
|------|-------|---------|---|----------------|
| LOJA | H | (2,0,0) | $\Phi_1=1,0073$ $\Phi_0=0,0153617$ $\Phi_1=0,5753$ $\Phi_2=0,4012$ | 0,00000928 |
| | ESTE | (2,0,0) | $\Phi_0=0,166600$ $\Phi_1=0,4403$ $\Phi_2=0,2510$ | 0,000005400 |
| | NORTE | (2,0,0) | $\Phi_0=-7,02412E-03$ $\Phi_1=0,5642$ $\Phi_2=0,4457$ | 0,000000000600 |
| | h | (0,1,1) | $\mu=-0,0001056$ $w_1=0,6239$ | 0,00002888 |
| | | | | |

UTILIDAD DE LOS MODELOS

Determinando el desplazamiento anual es decir 52 semanas se sabe directamente hacia donde y cuanto se mueve el Ecuador Continental.

Se obtiene el desplazamiento semanal el que se utiliza para la transformación entre épocas de referencia

$$\begin{aligned}
 X(t_o) &= X(t_i) + (t_o - t_i) \times V_x \\
 Y(t_o) &= Y(t_i) + (t_o - t_i) \times V_y \\
 Z(t_o) &= Z(t_i) + (t_o - t_i) \times V_z
 \end{aligned}$$

Siendo $X(t_o)$, $Y(t_o)$, $Z(t_o)$ las coordenadas en la época deseada, $X(t_i)$, $Y(t_i)$, $Z(t_i)$ las coordenadas en la época de referencia, $(t_o - t_i)$ el intervalo de tiempo transcurrido entre la realización del sistema de referencia y el levantamiento GNSS y V_x , V_y , V_z las velocidades de las estaciones de referencia

En las siguientes tablas se presentan los desplazamientos calculados por los modelos para las diferentes estaciones; este cálculo se lo realizó partiendo de la definición de velocidad que es la magnitud física que muestra y expresa la variación en

cuanto a posición de un objeto y en función del tiempo, que sería lo mismo que decir que es la distancia recorrida por un objeto en la unidad de tiempo; pero además del tiempo, para definir la velocidad de desplazamiento de un objeto, será preciso tener en cuenta también la dirección y el sentido del mencionado desplazamiento.

Para la presente investigación se consideró los pronósticos generados en cada uno de los modelos, obteniendo la velocidad de la siguiente manera:

$$v = \frac{\text{desplazamiento}}{\text{tiempo}}$$

El desplazamiento está dado por la diferencia entre coordenada final, con la coordenada inicial; para el tiempo se tiene la diferencia entre el número de semana GPS final con el número de semana GPS inicial; con estos valores se obtiene el valor de velocidad para 1 semana; posteriormente se multiplica por 52 que es el número de semanas GPS que tiene un año GPS para obtener el valor de velocidad anual.

Tabla 5 Velocidad de desplazamiento de las estaciones del Ecuador

| ESTACIÓN | MINIMOS CUADRADOS | | ARIMA | | |
|------------|-------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | ESTE | NORTE | ESTE | NORTE | h |
| | | | (0,1,1) | (1,0,0) | (2,0,0) |
| | mm/año | mm/año | mm/año | mm/año | mm/año |
| ESMERALDAS | 17,8485910098 | 0,3034851203 | 16,5498744516 | 0,2897692223 | 4,9910914607 |
| RIOBAMBA | | 0,1449590514 | 0,1759821555 | 0,1409740552 | -5,0632461114 |
| LOJA | 17,1181370637 | 0,1708226545 | 0,2282509314 | 0,1446886786 | -4,9899137746 |

MAPA DE VELOCIDADES DEL ECUADOR CONTINENTAL

Para los resultados obtenidos en la tabla 17; considerando que existen velocidades con la metodología ARIMA tanto para las coordenadas Este, Norte y Altura elipsoidal se procede a elaborar un mapa de velocidades de cada una de las estaciones, Esmeraldas, Riobamba y Loja; al tener datos en Este y Norte, se procede a obtener el vector resultante de estas, obteniendo una dirección y un desplazamiento representados en la figura 9; al ser el movimiento mucho mayor de la estación de Esmeraldas, no se puede representar con un único símbolo, razón por la cual se los representa con vectores de diferentes colores; al ser los movimientos de las estaciones de Loja y Riobamba similares si se los representa con vectores del mismo color.

VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES GPS PERMANENTES DEL ECUADOR

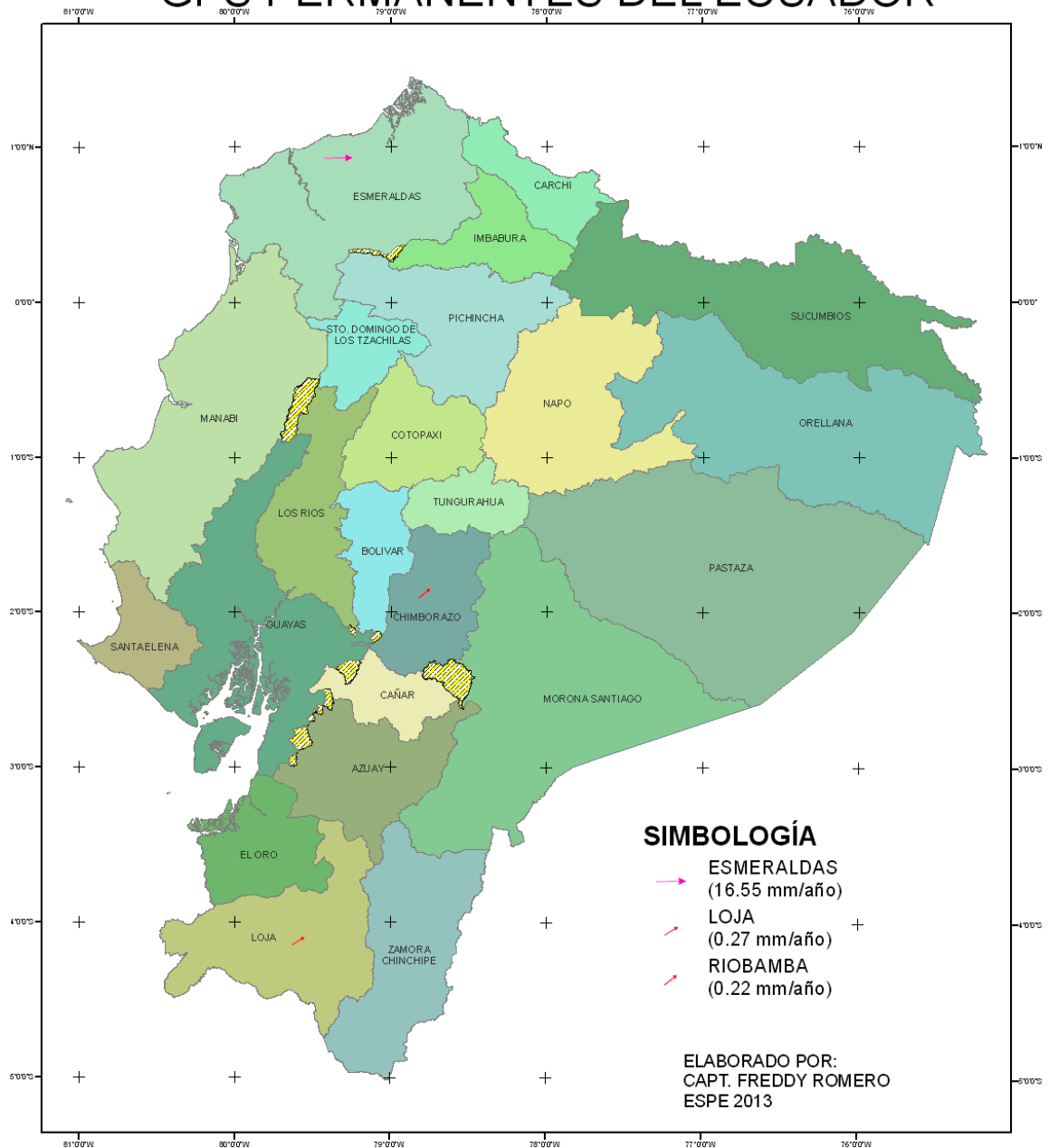


Figura No. 9 Mapa de Modelo de Velocidades de las Estaciones GPS Permanente del Ecuador

