



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **“ANALIZAR LOS EFECTOS DE LA TROPÓSFERA SOBRE LA SEÑAL DE GPS Y EL IMPACTO EN LA PRECISIÓN EN EL POSICIONAMIENTO DE UN RECEPTOR”**

**JHONNY GABRIEL ÁLVAREZ PACHECO**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero 2019

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, denominado: “ANALIZAR LOS EFECTOS DE LA TROPÓSFERA SOBRE LA SEÑAL DE GPS Y EL IMPACTO EN LA PRECISIÓN EN EL POSICIONAMIENTO DE UN RECEPTOR”, de responsabilidad del señor **ÁLVAREZ PACHECO JHONNY GABRIEL**, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Juan Mario Vargas Guambo; Msc.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

Ing. Mónica Andrea Zabala Haro; Msc.

**DIRECTORA**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

Ing. Fabricio Javier Santacruz Sulca; Msc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

Ing. Tony Fernando Flores Pulgar; Msc.

**MIEMBRO**

\_\_\_\_\_

**FIRMA**

**Riobamba, Enero 2019**

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Jhonny Gabriel Álvarez Pacheco, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Jhonny Gabriel Alvarez Pacheco

CI: 0603318940

**©2018, Jhonny Gabriel Alvarez Pacheco.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Jhonny Gabriel Alvarez Pacheco, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras Fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

Jhonny Gabriel Alvarez Pacheco

N° de Cédula: 060331894-0

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación y el esfuerzo que este represente lo dedico a Dios ya que toda la honra y la gloria es para el señor, lo dedico mi esposa Glenda Claribel y a mis hijas Itzmy Zoé y Lyha Mayte, quienes han sido mi inspiración, y sin quienes la ejecución de este trabajo no habría tenido sentido. A mi familia y amigos que siempre han estado allí para alentarme y apoyar en los momentos de flaqueza.

Jhonny Gabriel

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a cada una de las personas e instituciones que de una u otra forma permitieron que se lleve a cabo el presente trabajo investigativo, en especial a mi querida esposa quien con su voz de aliento me incentivo llevar a buen término mi trabajo de titulación, como no agradecer a cada uno de los docentes y compañeros de clase, a la Ing. Mónica Zabala por su paciencia y dedicación, quien ha sabido transmitir sus ideas y todo su conocimiento durante este tiempo. A mis amigos y familia les agradezco por sus palabras de aliento y compañía, confortándome para alcanzar esta meta.

Jhonny Alvarez

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN: .....	ii
DERECHOS INTELECTUALES .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
RESUMEN .....	xvi
SUMMARY .....	xvii
CAPÍTULO I .....	1
1. Marco Referencial .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema de investigación.....	1
1.2.1 Situación problemática.....	1
1.2.1 Formulación del problema .....	3
1.2.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación.....	3
1.3 Justificación de la investigación .....	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
1.5 Hipótesis.....	5
1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.5.2 Hipótesis específicas .....	5
1.6 Identificación de variables.....	6

1.7	Operacionalización de variables .....	6
CAPÍTULO II .....		7
2.	MARCO TEÓRICO .....	7
2.1	Antecedentes del problema.....	7
2.2	Bases teóricas .....	8
2.2.1	<i>Sistemas globales de navegación por satélite</i> .....	8
2.2.2	<i>Atmósfera</i> .....	8
2.2.3	<i>Estructura de la atmósfera</i> .....	9
2.2.4	<i>Sistema GPS</i> .....	10
2.2.5	<i>Generalidades del sistema</i> .....	10
2.2.6	<i>Atenuaciones y errores de las señales GPS</i> .....	11
2.2.7	<i>Trayectoria de la señal GPS</i> .....	11
2.2.8	<i>Efectos de la tropósfera</i> .....	12
2.2.9	<i>La señal GPS</i> .....	14
2.2.10	<i>Atenuación</i> .....	14
2.2.11	<i>Retardo</i> .....	15
2.2.12	<i>Modelos de corrección troposféricos</i> .....	15
2.2.12.1	<i>Modelo de Hopfield:</i> .....	16
2.2.12.2	<i>Modelo de Saastamoinen:</i> .....	17
2.2.12.3	<i>Modelo Hopfield modificado (Goad &amp; Goodman)</i> .....	18
2.2.12.4	<i>Modelo de Black and Eisner (B&amp;E)</i> .....	20
2.2.12.5	<i>Altshuler y Kalagham</i> .....	20
2.2.13	<i>Funciones de mapeo</i> .....	22
2.2.13.1	<i>Chao</i> .....	22
2.2.13.2	<i>Davis</i> .....	23
2.2.14	<i>Canal de propagación</i> .....	24
2.2.15	<i>Recomendación ITU-R referentes a la propagación de señales en la atmósfera.</i> .....	25
CAPÍTULO III.....		27
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	27

3.1	Introducción .....	27
3.2	Escenario .....	27
3.3	Metodología .....	29
3.4	Periodo de evaluación: .....	29
CAPÍTULO IV.....		33
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	33
4.1	Introducción .....	33
4.2	Adquisición de datos meteorológicos .....	34
4.3	Estimación del retardo troposférico .....	34
4.4	Obtención de datos GPS .....	37
4.5	Procesamiento de datos GPS .....	39
4.5.1	<i>Procesamiento sin corrección troposférica</i> .....	39
4.5.2	<i>Procesamiento con corrección troposférica</i> .....	45
4.6	Análisis de resultados .....	49
4.7	Comprobación de la hipótesis.....	58
4.7.1	<i>Variables</i> .....	59
4.7.2	<i>Población</i> .....	59
4.7.3	<i>Procedimientos generales</i> .....	59
4.7.4	<i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	59
4.7.5	<i>Procesamiento de la información</i> .....	60
4.7.6	<i>Prueba de hipótesis</i> .....	60
4.6.7	<i>Grados de libertad</i> .....	60
4.7.8	<i>Valor crítico</i> .....	61
CONCLUSIONES .....		63
RECOMENDACIONES .....		64
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Operacionalización de variables .....	6
<b>Tabla 1-2</b>	Términos B y $\delta_R$ en base a la altura de la estación de observación .....	18
<b>Tabla 2-2</b>	Coefficientes del polinomio $\alpha_{Nj}$ .....	19
<b>Tabla 1-3</b>	Coordenadas ITRF08, después del sismo del 16 de abril de 2016 .....	28
<b>Tabla 2-3</b>	Registro meteorológico febrero 2018 .....	31
<b>Tabla 3-3</b>	Registro meteorológico abril 2018 .....	31
<b>Tabla 1-4</b>	Datos meteorológicos .....	34
<b>Tabla 2-4</b>	Retardos troposféricos calculados .....	36
<b>Tabla 3-4</b>	Operacionalización conceptual de variables .....	59
<b>Tabla 4-4</b>	Tabla de chi-cuadrado .....	61
<b>Tabla 5-4</b>	Tabla de chi-cuadrado calculado para el caso de estudio .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Antena TRIMBLE NETR9 .....	4
<b>Figura 1-2</b>	La atmósfera .....	9
<b>Figura 2-2</b>	Disposición de las órbitas de la constelación de satélites GPS.....	10
<b>Figura 3-2</b>	Arquitectura del sistema GPS .....	11
<b>Figura 4-2</b>	Distribución altimétrica de las capas atmosféricas .....	13
<b>Figura 5-2</b>	Efecto de la refracción troposférica .....	14
<b>Figura 6-2</b>	Fuentes de retardo de una señal GPS .....	15
<b>Figura 7-2</b>	División de la atmósfera según Hopfield .....	16
<b>Figura 8-2</b>	Errores GPS .....	24
<b>Figura 1-3</b>	Portal meteored.com.ec .....	27
<b>Figura 2-3</b>	Estación EREC coordenadas .....	28
<b>Figura3-3</b>	Flujograma metodología de investigación .....	29
<b>Figura 4-3</b>	Precipitación promedio enero-abril 2018 .....	30
<b>Figura 5-3</b>	Temperatura promedio enero-abril 2018 .....	30
<b>Figura 1-4</b>	Interfaz MATLAB .....	33
<b>Figura 2-4</b>	Ventana estado del receptor – actividad.....	38
<b>Figura 3-4</b>	Descarga de archivos de datos RINEX.....	38
<b>Figura 4-4</b>	Ventana herramienta RTKPOST .....	39
<b>Figura 5-4</b>	Ventana OPTIONS RTKPOST .....	39
<b>Figura 6-4</b>	Ventana herramienta RTKPLOT.....	40
<b>Figura 7-4</b>	Distribución Chi-Cuadrado.....	62

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4</b>	Retardo troposférico .....	37
<b>Gráfico 2-4</b>	Sin corrección troposférica día 32.....	41
<b>Gráfico 3-4</b>	Sin corrección troposférica día 38.....	41
<b>Gráfico 4-4</b>	Sin corrección troposférica día 39.....	42
<b>Gráfico 5-4</b>	Sin corrección troposférica día 94.....	42
<b>Gráfico 6-4</b>	Sin corrección troposférica día 95.....	43
<b>Gráfico 7-4</b>	Sin corrección troposférica día 115.....	43
<b>Gráfico 8-4</b>	Registro de error cuadrático medio sin corrección troposférica.....	44
<b>Gráfico 9-4</b>	Con corrección troposférica día 32.....	45
<b>Gráfico 10-4</b>	Con corrección troposférica día 38.....	46
<b>Gráfico 11-4</b>	Con corrección troposférica día 39.....	46
<b>Gráfico 12-4</b>	Con corrección troposférica día 94.....	47
<b>Gráfico 13-4</b>	Con corrección troposférica día 95.....	47
<b>Gráfico 14-4</b>	Con corrección troposférica día 115.....	48
<b>Gráfico 15-4</b>	Registro de error cuadrático medio con corrección troposférica .....	48
<b>Gráfico 16-4</b>	Variación eje Norte día 32.....	49
<b>Gráfico 17-4</b>	Variación eje Este día 32.....	50
<b>Gráfico 18-4</b>	Variación altura día 32.....	50
<b>Gráfico 19-4</b>	Variación eje Norte día 38.....	51
<b>Gráfico 20-4</b>	Variación eje Este día 38.....	51
<b>Gráfico 21-4</b>	Variación altura día 38.....	52
<b>Gráfico 22-4</b>	Variación eje Norte día 39.....	52
<b>Gráfico 23-4</b>	Variación eje Este día 39.....	53
<b>Gráfico 24-4</b>	Variación altura día 39.....	53
<b>Gráfico 25-4</b>	Variación eje Norte día 94.....	54
<b>Gráfico 26-4</b>	Variación eje Este día 94.....	54
<b>Gráfico 27-4</b>	Variación altura día 94.....	55
<b>Gráfico 28-4</b>	Variación eje Norte día 95.....	55
<b>Gráfico 29-4</b>	Variación eje Este día 95.....	56
<b>Gráfico 30-4</b>	Variación altura día 95.....	56
<b>Gráfico 31-4</b>	Variación eje Norte día 115.....	57
<b>Gráfico 32-4</b>	Variación eje Este día 115.....	57
<b>Gráfico 33-4</b>	Variación altura día 115.....	58

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2</b>	Índice de refracción componente seca.....	16
<b>Ecuación 2-2</b>	Índice de refracción componente húmeda.....	16
<b>Ecuación 3-2</b>	Índice de atenuación.....	17
<b>Ecuación 4-2</b>	Retardo cenital en la constante de componente seca.....	17
<b>Ecuación 5-2</b>	Índice de refracción para el componente seco según Saastoinen.....	17
<b>Ecuación 6-2</b>	Índice de refracción para el componente húmedo según Saastoinen.....	18
<b>Ecuación 7-2</b>	Componente seca según el modelo Hopfiel modificado.....	18
<b>Ecuación 8-2</b>	Componente húmeda según el modelo Hopfiel modificado.....	19
<b>Ecuación 9-2</b>	Corrección troposférica según el modelo Hopfiel modificado.....	19
<b>Ecuación 10-2</b>	Constante $C_p$ .....	19
<b>Ecuación 11-2</b>	Componente de corrección troposférica.....	19
<b>Ecuación 12-2</b>	Coefficientes polinómicos $a_j$ y $b_j$ .....	20
<b>Ecuación 13-2</b>	Retardo troposférico según el Modelo de Black and Eisner.....	20
<b>Ecuación 14-2</b>	Sumatoria del retardo.....	20
<b>Ecuación 15-2</b>	Promedio de la refracción en la superficie.....	21
<b>Ecuación 16-2</b>	Función de mapeo.....	21
<b>Ecuación 17-2</b>	Función de altura.....	21
<b>Ecuación 18-2</b>	Función F.....	21
<b>Ecuación 19-2</b>	Refracción de la superficie.....	21
<b>Ecuación 20-2</b>	Función de mapeo Chao para la componente seca.....	22
<b>Ecuación 21-2</b>	Función de mapeo Chao para la componente húmeda.....	23
<b>Ecuación 22-2</b>	Función de mapeo de Davis.....	23
<b>Ecuación 23-2</b>	Coefficiente a.....	23
<b>Ecuación 24-2</b>	Coefficiente b.....	23
<b>Ecuación 25-2</b>	Coefficiente c.....	23
<b>Ecuación 1-4</b>	Error cuadrático medio .....	44
<b>Ecuación 2-4</b>	Chi – Cuadrado.....	60
<b>Ecuación 3-4</b>	Grados de Libertad .....	60

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A** Ficha técnica descriptiva de la estación EERSA Riobamba –EREC

**ANEXO B** Boletín de precipitación y temperatura zona 3

**ANEXO C** Boletín estación agrometereologica ESPOCH mes febrero 2018

**ANEXO D** Boletín estación agrometereologica ESPOCH mes abril 2018

**ANEXO E** Información meteorológica días de análisis

**ANEXO F** Código MATLAB

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo el análisis de los efectos de la tropósfera sobre la señal de GPS y el impacto en la precisión en el posicionamiento de un receptor GPS. Para lo cual se investigó cuáles son los datos meteorológicos que permiten determinar el retardo troposférico, factor primordial para determinar la afectación que existe en la precisión de la lectura de posición de un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), además se investigó cuáles son los modelos de corrección troposférica, que permiten disminuir el efecto que tiene el retardo troposférico sobre la señal, así como las recomendaciones ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) sobre la propagación de las señales en la tropósfera. Para la determinación de los efectos que provoca los componentes troposféricos para lo cual se utilizó datos meteorológicos de humedad relativa, temperatura ambiente y presión atmosférica, tomando como referencia 6 días de observación con diferentes condiciones climáticas datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Chimborazo. De la estación de observación GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) ubicada en el edificio de la Empresa Eléctrica Riobamba SA se extrajo los archivos RINEX mismos que fueron procesados mediante la utilización de la herramienta informática MATLAB y modelada la corrección troposférica con el pool de herramientas RTKLIB, se concluye que las mayores variaciones se presentan en el valor de la altitud que con el pos procesamiento de los datos con un modelo de corrección troposférico adecuado puede reducirse el índice de error hasta en un 70 %.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)>, <EFECTO TROPOSFÉRICO>, <MODELOS DE CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA>, <RTKLIB (SOFTWARE)>

## SUMMARY

The objective of this research was to analyze the effects of the troposphere on the GPS signal and the impact on the positioning accuracy of a GPS receiver. For this purpose, it was investigated the meteorological data that allows to determine the tropospheric delay, fundamental factor to determine the affection that exists in the accuracy of the position reading of a GPS receiver (Global Positioning System), besides, it was investigated which are the tropospheric correction models, which reduce the effect that tropospheric delay has on the signal, as well as the ITU recommendations (International Telecommunication Union) on the propagation of signals in the troposphere. For the determination of the effects caused by the tropospheric components, for which meteorological data of relative humidity, ambient temperature and atmospheric pressure were used, taking as reference 6 days of observation with different climatic conditions, data obtained from the meteorological station located at Chimborazo Airport. From the GNSS (Global Navigation System) observation station located in the building of the Empresa Eléctrica Riobamba SA, the RINEX files were extracted, which were processed by using the MATLAB computer tool and the tropospheric correction was modelled with the RTKLIB tools pool, it is concluded that the greatest variations are presented in the altitude value that with the post processing of the data with a suitable tropospheric correction model the error rate can be reduced up to 70%.

**Keywords:** < TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)>, <TROPOSPHERIC EFFECT>, <TROPOSPHERIC CORRECTION MODELS>, <RTKLIB (SOFTWARE)>

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Introducción

El desarrollo del trabajo investigativo se encuentra orientado al análisis de la tropósfera sobre la señal del GPS y el impacto en la precisión que se obtiene en el receptor, a través de la revisión del estado del arte acerca del estudio de los errores introducidos en la señal GPS cuando esta atraviesa la atmósfera enfocándose de forma especial en la capa más baja la tropósfera, además de realizar un análisis de las recomendaciones ITU referente a la propagación de las señales en la tropósfera y los modelos de corrección troposféricos con la finalidad de determinar cuál es la variación de la precisión de la lectura de ubicación de la señal GPS, para de esta forma evaluar la afectación que sufre las señales GPS al atravesar la tropósfera mediante la utilización de herramientas informáticas, para el caso de estudio ciudad de Riobamba.

Como dato importante se puede mencionar que “el sistema de posicionamiento global GPS se ha convertido, desde que fuera declarado operacional en 1993, en la herramienta de posicionamiento por excelencia por su versatilidad y bajo costo” (CIAT , 2007).

Dentro de ello también se determinará las características del sistema de GPS y el tratamiento de los archivos observacionales y de navegación, para el establecimiento de los problemas al modelo de propagación de la señal.

### 1.2 Problema de investigación

#### 1.2.1 *Situación problemática*

El rendimiento de las comunicaciones satelitales puede ser afectado por diversos factores, los sistemas de navegación global por satélite (su acrónimo en inglés, GNSS) no son ajenos a dichos factores, un sistema GNSS está constituido por una constelación de satélites que transmiten señales que son utilizados esencialmente para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terráqueo, ya sea en tierra, mar o aire.

Los sistemas de posicionamiento global permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado, como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra y la triangulación de las mismas, estos sistemas son utilizados en diversas aplicaciones de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.

En términos de errores, por ejemplo, los retardos de las señales que llegan al receptor afectan la precisión en el posicionamiento. Los principales errores que afecta a la señal pueden ser la atenuación, distorsión, pérdidas en el espacio libre, ruido termal, interferencia, absorción atmosférica, distorsión de multi-trayectoria (Multipath), refracción, etc.

Ecuador al encontrarse en la línea ecuatorial y atravesado por la cordillera de los Andes posee una tropósfera con un comportamiento de carácter inestable, misma presenta una concentración de vapor de agua que puede llegar a ser hasta 10 veces mayor a la registrada que en los polos, manifestándose en cambios bruscos del clima, siendo el vapor de agua es el factor con mayor influencia de los retardos de la señal GPS, afectando a la precisión de los datos captados en la superficie terrestre (SAPUCCI, 2005).

El presente trabajo investigativo considera como caso de estudio la ciudad de Riobamba, ubicada en el centro geográfico del Ecuador, en la cordillera de los Andes, a 2.750 msnm en el centro de la hoya de Chambo con una superficie aproximada de 45 km<sup>2</sup>, rodeada de varias formaciones montañosas como el Chimborazo, el Tungurahua, el Altar y el Carihuairazo, Riobamba se caracteriza por tener un clima generalmente frío, con dos estaciones plenamente definidas, una húmeda y una seca, el viento puede producir una sensación térmica de casi 0 °C en algunas épocas del año y la máxima temperatura diaria puede alcanzar los 25 °C a 27 °C.

Instituciones como IEEA y el INAMHI ejecutan constantemente los estudios de la tropósfera y generan mapas climáticos basados en la red de monitoreo hidro-meteorológica sin embargo no existen documento alguno que detalle algún tipo de estudio de la tropósfera o sus efectos mediante la utilización de señales GPS en la ciudad de Riobamba.

El estudio de la tropósfera mediante observaciones geodésicas satelitales ha venido desarrollándose por más de dos décadas, impulsando numerosas investigaciones orientadas a la comprensión y representación de la ionosfera y tropósfera como principales capas de la atmósfera, siendo Bevis, uno de sus precursores en estos estudios desde 1992.

Varias de estas investigaciones concluyen que, al momento de obtener una lectura de posicionamiento en un receptor GPS, la refracción troposférica es considerada como una de las principales fuentes de error y de mayor impacto sobre la señal de GPS, requiriéndose un tratamiento y modelado especiales para lograr la mitigación de los errores.

### ***1.2.1 Formulación del problema***

¿Permitirá el análisis de la señal GPS evaluar el impacto de la tropósfera sobre la precisión en el posicionamiento de un receptor?

### ***1.2.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación***

- ¿Cuáles son las recomendaciones ITU referentes a la composición de las capas atmosféricas bajas?
- ¿Cómo afecta la composición de la tropósfera sobre las señales de GPS?
- ¿Cuáles son los modelos matemáticos aplicados para la corrección de errores producidos por la tropósfera?

## **1.3 Justificación de la investigación**

Según el INAMHI, en el Ecuador es difícil de predecir el comportamiento de la tropósfera, entre otros aspectos porque se encuentra atravesado por la cordillera de los Andes lo que genera micro climas, en su parte central, es por eso que el tener nuevas formas de estudiar la tropósfera es de gran importancia para obtener datos que contribuyan a mejorar los sectores productivos del país que dependen del clima para su trabajo.

El estudio de los efectos de la tropósfera sobre las señales GPS en el Ecuador es precaria por lo que es importante desarrollar investigaciones con el objetivo de obtener y establecer un proceso referencial de análisis de la tropósfera aplicable a varias localidades del país.

Para la realización de este estudio se utilizará una de las estaciones de Red GNSS De Monitoreo Continuo Del Ecuador (REGME), del Instituto Geográfico Militar ente rector de la cartografía en Ecuador, esta estación se encuentra ubicada en la ciudad de Riobamba, en la terraza del edificio antiguo de EERSA (Empresa Eléctrica Riobamba S.A.), ubicada en las calles García Moreno 2234 entre 10 de Agosto y Primera Constituyente, denominada EREC con código internacional número 42037M001 con las siguientes características:

- Tipo de antena: TRIMBLE NETR9 como se muestra en la Figura 1-1.
- Dos conjuntos de chips Trimble Maxwell 6 GNSS.
- Manejo de 440 canales en total.
- Tecnología Trimble EVEREST para reducción de errores por multitrayectoria.
- Generación de archivos observacionales en formatos NMEA -0183 v2.30.
- Libre acceso a información para su post-procesamiento, para fines de investigación.



**Figura 1-1** Antena TRIMBLE NETR9

**Fuente:** (Trimble NetR9 Geospatial, 2018)

Tomando en cuenta que GPS es un sistema de comunicación satelital de órbita media con una altitud de 20.200km y con un periodo: 1h58min (12 horas sidéreas), las de frecuencias portadoras de L1 (1575,42 MHz) y L2 (1227,60 MHz). Se puede extender y relacionar los efectos provocados por la tropósfera sobre la señal GPS con los fenómenos provocados sobre sistemas de comunicación satelital con diferentes servicios como los de Televisión, Radio y Telefonía satelital, que utilizan frecuencias de bandas adyacentes a las del GPS, pero con la particularidad de que este tipo de señales al ser de uso comercial son difíciles de interceptar, decodificar, descifrar y procesar para obtener resultados como los logrados con la señal GPS.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo general.**

- Realizar el análisis de los efectos de la tropósfera sobre la señal de GPS y el impacto en la precisión en el posicionamiento de un receptor.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Revisar el estudio de arte acerca de los modelos de corrección troposféricos y su efecto en la señal GPS.
- Analizar el efecto la tropósfera en la señal GPS en base a los datos brutos obtenidos de la estación base.
- Analizar las recomendaciones ITU referente a la propagación de las señales en la tropósfera y los modelos de corrección troposféricos con el fin de determinar la variación de la precisión.
- Evaluar la variación que sufre las señales GPS al atravesar la tropósfera mediante la utilización de herramientas informáticas, para el caso de estudio ciudad de Riobamba.

## **1.5 Hipótesis**

### ***1.5.1 Hipótesis general***

- Mediante el análisis de la señal de GPS se podrá evaluar el impacto de la tropósfera sobre la precisión en el posicionamiento de un receptor

### ***1.5.2 Hipótesis específicas***

- La revisión del estudio de arte fundamentara el efecto de la utilización de los modelos de corrección troposféricos en la señal GPS.
- El análisis de los datos brutos obtenidos de la estación base permitirá determinar el efecto de la tropósfera sobre la señal GPS.
- El análisis de cada una de las recomendaciones ITU referente a la propagación de las señales en la tropósfera y los modelos de corrección troposféricos permitirá determinar la variación en la lectura de la precisión del posicionamiento del receptor GPS.
- La evaluación de la variación que sufre las señales del GPS al atravesar la tropósfera mediante la utilización de herramientas informáticas específicamente para el caso de estudio ciudad de Riobamba permitirá determinar su efecto en la señal GPS y de qué manera se afecta la precisión en la ubicación del receptor.

## 1.6 Identificación de variables

- **Variable independiente:** Archivos NMEA con datos de la señal de GPS.
- **Variable dependiente:** Impacto de la tropósfera en la precisión del posicionamiento en un receptor GPS.

## 1.7 Operacionalización de variables

Se va a recoger información entregada por la estación EREC, determinar los datos erróneos en la lectura del GPS y mediante un análisis de los retardos y la medida de precisión evaluar el impacto de la tropósfera en la señal GPS.

**Tabla 1-1** Operacionalización de variables

VARIABLES	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Independiente</b> Archivos NMEA con datos de la señal de GPS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación y evaluación los datos de la señal GPS contenidos en los archivos NMEA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pseudorangos</li> </ul>	Observación y Revisión de archivos de observación y navegación NMEA en formato RINEX.
<b>Dependiente</b> Impacto de la tropósfera en la precisión del posicionamiento en un receptor GPS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los parámetros de rendimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pseudorango corregido</li> <li>• Modelo de correcciones troposféricos.</li> <li>• Relación señal a Ruido (SNR).</li> <li>• Lectura de Precisión</li> </ul>	Observación de campo y herramientas informáticas de postprocesamiento.

Elaborado por: Jhonny Álvarez 2018

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

Autores como (Espinal, 2012) en su trabajo investigativo “ESTUDIO DE LOS EFECTOS TROPOSFÉRICOS EN LA PRECISIÓN DE MEDICIONES GPS EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO” identifica la problemática existente con la composición de la tropósfera y sus efectos sobre la precisión de las mediciones en GPS.

De la misma forma el autor (Perdiguer, 2008) en su investigación “ESTRATEGIAS DE CÁLCULO DEL RETARDO TROPOSFÉRICO Y SU INFLUENCIA EN PROCESAMIENTO GPS DE ALTA PRECISIÓN” realiza un estudio pormenorizado del retardo troposférico, sus modelos troposféricos y cómo afecta este a la precisión del GPS.

Gracias al autor Roberto Manzano, en su documento “ANÁLISIS ESPECTRAL DEL EFECTO TROPOSFÉRICO EN LA SEÑAL GPS”; propone recomendaciones que se deben considerar para evaluar cómo se producen los errores que afectan a la señal de GPS durante su trayectoria de propagación, además de sus posibles correcciones.

Entre las cuales se menciona:

- La existencia de dos servicios de posicionamiento uno preciso (PPS) el cual es un servicio restringido para los servicios militares, provisto de un código P, y el servicio estándar (SPS) al cual todos los civiles tienen acceso con cualquier tipo de receptor GPS.
- La precisión de los Relojes es una de las mayores fuentes de error que afecta al pseudorange, mismo que es posible anular mediante un posicionamiento diferencial.
- El retardo que sufre la señal GPS debido a la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica se conoce como el efecto troposférico, otro factor que aporta al retardo de la señal es la distancia cenital del satélite que emite la señal.
- Obtener un modelo matemático en términos de la serie de Fourier que describa el efecto troposférico de manera general es imposible debido a que depende del ángulo cenital de cada satélite, además de que el periodo orbital de cualquier satélite es de 12 horas, lo que impide hacer una serie de tiempo constante para un solo satélite.

- Es indispensable trabajar con valores cenitales bajos ya que con medidas cenitales altos el efecto troposférico es mayor.
- El efecto troposférico en la mañana es menor, por lo que es recomendable hacer las observaciones GPS entre las 7 y 10 de la mañana. (Manzano R. , 2014)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 *Sistemas globales de navegación por satélite***

Los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) son sistemas pasivos de navegación que basan su funcionamiento en satélites que emiten radiofrecuencias, y proporcionan un marco de referencia espaciotemporal con cobertura global, independiente de las condiciones atmosféricas, de forma continua en cualquier lugar del planeta, y está disponible para cualquier usuario civil o militar. (Sanchez, Perez, Jigena, Fernandez, & Páez)

El origen de los sistemas GNSS se remontan a los años 70, con la aparición del sistema militar de posicionamiento estadounidense GPS (Global Positioning System), el cual originalmente se desarrolló con el fin de guiar a misiles, localización de objetivos y tropas etc. Sin embargo, no es hasta la segunda mitad de los años noventa que esta tecnología se empieza a aplicarse para fines civiles, en la actualidad el sistema de posicionamiento global (GPS) de los EEUU y el sistema orbital mundial de navegación por satélite (GLONASS) de Rusia son los únicos sistemas que forma parte del concepto GNSS, mientras que el sistema de navegación por satélite GALILEO desarrollado por la Unión Europea se encuentra siendo evaluado para su adhesión a GNSS por parte del Panel de Sistemas de Navegación (NPS) de la Organización Internacional de Aviación Civil ente encargado de la actualización de estándares y practicas recomendadas del GNSS. (Garcia, 2008)

### **2.2.2 *Atmósfera***

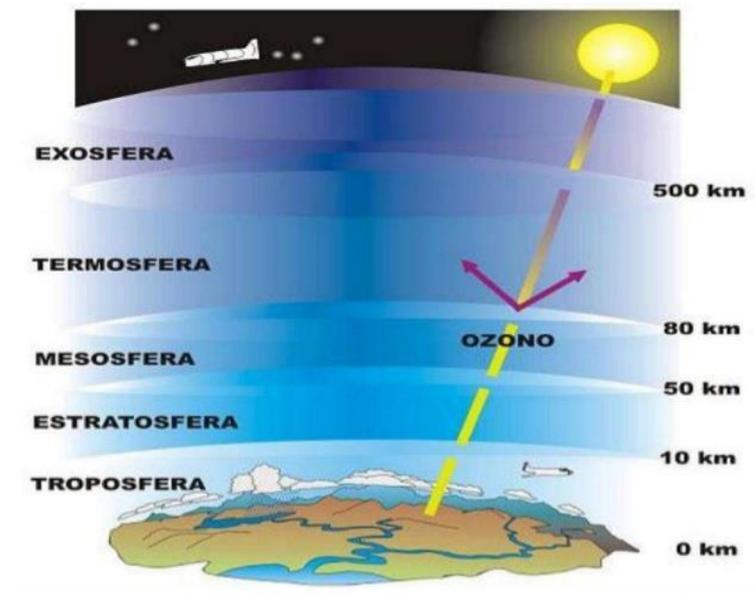
La atmósfera se puede definir como la envoltura de gases que rodea la Tierra. Constituida por varias capas, su límite superior de la atmósfera se estima alrededor de los 10.000 Km de altura dónde la concentración de gases es tan baja (prácticamente despreciable) que se asemeja a la del espacio exterior, aunque algunos autores y científicos sitúan este límite entre los 30.000 y 40.0000 km. Además de los gases, en la composición de la atmósfera también aparecen líquidos (agua líquida en las nubes) y sólidos como polen, esporas, polvo, microorganismos, sales, cenizas y agua sólida en las nubes formando minúsculos cristales de hielo. (Sánchez, 2015)

### 2.2.3 Estructura de la atmósfera

La atmósfera es una delgada capa compuesta de una mezcla de gases, partículas y aerosoles que envuelve el planeta Tierra. Esta mezcla de gases está compuesta por una veintena de gases cuyas proporciones relativas se mantienen constantes hasta una altura aproximada de 25 km. Los dos gases principales de la atmósfera son el nitrógeno (78%) y el oxígeno (21%). El 1% restante lo forman una serie de gases como el argón, neón, helio, xenón, ozono y los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono. (Molina, 2013)

La atmósfera se encuentra constituida por capas como se puede observar en la Figura 1-2 siendo estas capas las siguientes:

- **Tropósfera:** Capa más cercana a la superficie terrestre, dónde se producen los efectos climáticos su altura varía entre 8 y 15 Km siendo su altura media los 12 Km.
- **Estratósfera:** En ella se encuentra la capa de Ozono, esta capa es ideal para el transporte aéreo su extensión alcanza unos 50 Km de la superficie terrestre.
- **Mesosfera:** Situada en la parte superior de la Estratósfera y llega aproximadamente a los 80Km de altura.
- **Termosfera:** Las partículas que la forman son ionizadas, dentro de ella se encuentran algunas capas ionosféricas y su límite superior alcanza los 400Km.
- **Exosfera:** Capa más alejada y extensa de la atmósfera (Sánchez, 2015).



**Figura 1-2** La Atmósfera

Fuente: (Molina, 2013)

#### 2.2.4 *Sistema GPS*

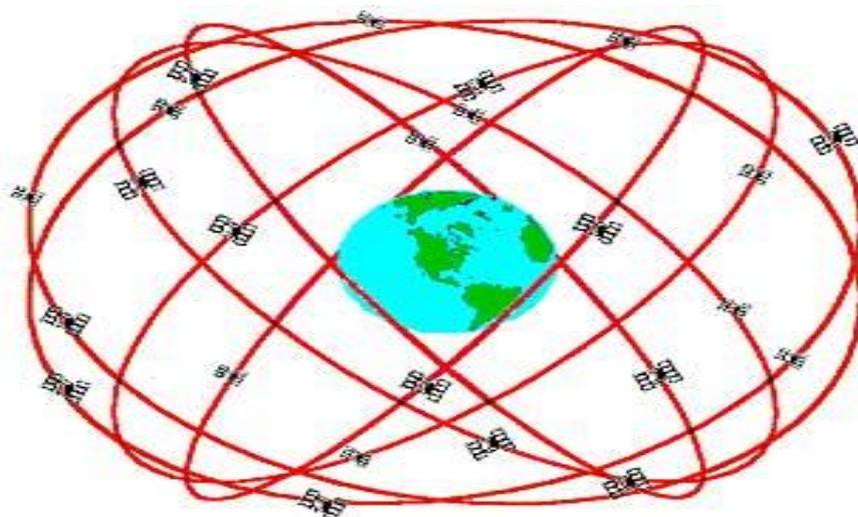
El Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) es un sistema de posicionamiento desarrollado por los Estados Unidos con fines militares a finales de la década de los 70. Según (Arnalich y Urruela, 2012, pág. 28) “un GPS es un dispositivo que te permite conocer las coordenadas del lugar dónde estás con gran precisión”.

Entonces un GPS es un sistema de radionavegación que utiliza mediciones de distancia precisa de los satélites hasta el receptor con la finalidad de determinar la posición de un punto en el globo terráqueo.

La masificación de aplicaciones civiles para GPS permite que este se haya convertido en una herramienta fundamental en el mercado existen diferentes versiones de receptores GPS, desde los más económicos en blanco y negro hasta los que se pueden conectar con otros dispositivos para mejorar la experiencia de los usuarios. Para diversas aplicaciones que pueden ser: Navegación y orientación en dispositivos de mano para senderismo, dispositivos integrados en los automóviles, camiones, barcos, etc. Sistemas de localización para emergencias, geomántica, topografía, agricultura, seguimiento de los dispositivos usados en la fauna, etc.

#### 2.2.5 *Generalidades del sistema*

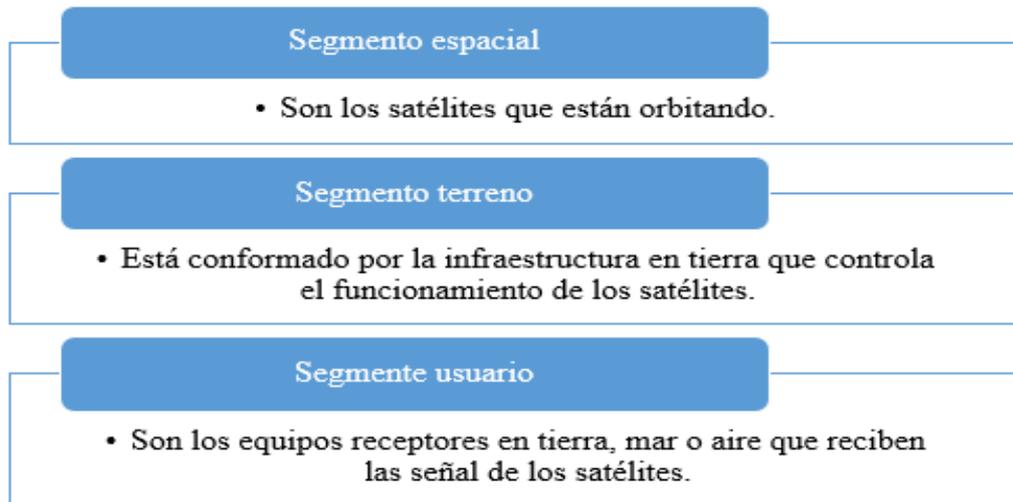
El GPS funciona con la ayuda de 31 satélites que orbitan alrededor de la Tierra a una altura aproximada de 20 200 kilómetros. Cada uno completa una vuelta al planeta en doce (12) horas aproximadamente. (Olmedillas, 2012, pág. 37).



**Figura 2-2** Disposición de las órbitas de la constelación de satélites GPS

Fuente: (Velasquez, 2010)

Además, el sistema GPS está conformado por tres conjuntos de equipos denominados segmentos y descritos en la Figura 3-2.



**Figura 3-2** Arquitectura del sistema GPS

Fuente: (Olmedillas, 2012, pág. 36)

El GPS ofrece dos tipos de servicios mediante dos señales diferentes. El servicio SPS es usado por civiles mientras que el servicio PPS contiene la señal de uso militar. Cada satélite emite los dos tipos de señales, denominada L1 y L2. La primera señal es captada por los equipos GPS civiles y celulares, mientras que la L2 es captada únicamente por militares. Se utilizan dos señales para compensar el retraso de propagación causados por la ionósfera. (Olmedillas, 2012, pág. 39).

### 2.2.6 *Atenuaciones y errores de las señales GPS*

La información procedente de los satélites de la GPS puede verse afectada por distintas fuentes de error, que provoca la degradación en la precisión de los servicios (posicionamiento):

- Efectos atmosféricos
- Efectos multitrayecto
- Errores de efemérides y reloj
- Errores debidos a la relatividad
- Disponibilidad selectiva

### 2.2.7 *Trayectoria de la señal GPS*

La señal GPS que transmiten los satélites por medio de señales de radio, llevan información sobre la medición del tiempo para calcular la distancia sabiendo que la velocidad de la señal (luz) es constante sea cual sea la frecuencia de la onda.

La onda electromagnética emitida por el satélite atraviesa tres zonas características antes de alcanzar un receptor estacionado sobre la superficie terrestre, estas son:

- El vacío
- La ionosfera
- La tropósfera

Es así entonces que el retardo como el incremento del tiempo de propagación de una señal electromagnética entre dos puntos cuando se propaga en un medio material, comparado con el tiempo de propagación en el vacío, ya que la velocidad de propagación en el primero es menor y la trayectoria aumenta su longitud al curvarse debido a la refracción (Espinal, 2012).

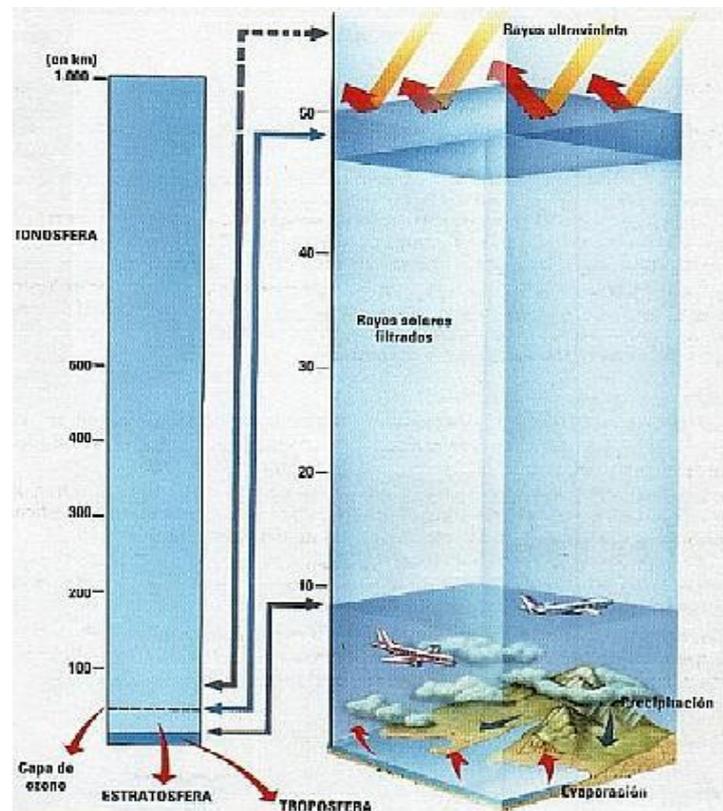
### **2.2.8 Efectos de la tropósfera**

Para estudiar los efectos se provoca sobre la señal GPS; la tropósfera, tropopausa y estratosfera se debe considerar como una sola capa, y ésta no es un medio dispersivo por ello su impacto no depende de la frecuencia, de manera que afecta a la modulación del código y a la fase de la misma forma. Aunque esta capa así definida alcance hasta los 80-100 km de altitud, el problema de retraso troposférico se produce en los 40 km más próximos a la Tierra, e incluso se distinguirán dos capas de acuerdo a las razones del retardo y su comportamiento: los primeros 11 km dónde la humedad juega un papel importante y los comprendidos desde la Tierra hasta los 40 km, dónde la temperatura y presión son factores importantes. (Berné Valero, 2014).

La tropósfera es la capa de la atmósfera dónde se originan los fenómenos meteorológicos o climáticos, estos efectos meteorológicos como: lluvia, granizo, nieve, tormentas, entre otras, pueden hacer que ciertos aparatos electrónicos no funcionen correctamente, la tropósfera es la capa que presenta mayores inconvenientes al momento de la transmisión de información por parte de los satélites GPS. Según Garrido (2016). “El retraso producido por la tropósfera puede llegar a alcanzar unos valores medios de 2,5m en el cenit y se incrementa hasta los 25-30m con la cosecante del ángulo de elevación, es decir unos retardos entre 3 y 100 nanosegundos”.

La temperatura en la tropósfera varía en promedio de 15°C al nivel del mar a -56°C en su capa superior, ya que disminuye 1°C por cada 200 m de altitud. En ella es dónde se llevan a cabo los fenómenos meteorológicos. Su límite superior es la tropopausa. (Solís & López, 2013, pág. 192).

La tropósfera induce un retraso en cualquier señal electromagnética que la atraviesa debido a dos componentes, uno es el retraso hidrostático debido a los gases inertes presentes en la atmósfera, que es el causante de un 90% del total del retardo, como se puede observar en la siguiente grafica la tropósfera, es dónde se encuentra la mayor cantidad de componentes causantes de los retardos.



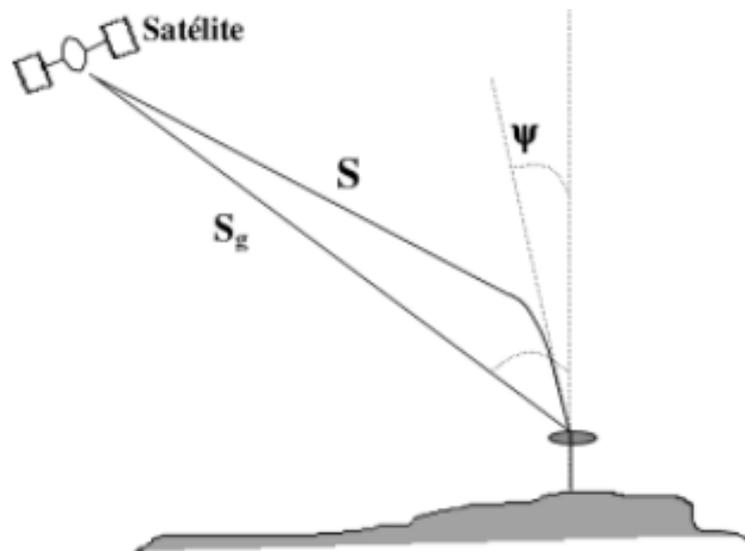
**Figura 4-2** Distribución altimétrica de las capas atmosféricas.

Fuente: (Casero, 2009)

El retraso hidrostático es muy estable, fácil de modelar y tiene fundamentalmente que ver con la presión atmosférica y por tanto depende de la altura sobre el nivel del mar a la que se toman las medidas. El segundo componente del retraso troposférico es el contenido de vapor de agua en la atmósfera, el cual es difícil de modelar, ya que el vapor de agua en la atmósfera puede cambiar rápidamente debido a las condiciones atmosféricas locales. El contenido de vapor de agua en la atmósfera es muy importante en el estudio del clima y en la predicción del tiempo, pero también es fundamental en la claridad y calidad del aire, ya que generalmente una atmósfera más seca permite mejor visibilidad. (Espinal, 2012).

Según Manzano (2003, pág. 87) cita a Leik (1994) quien afirma que “los retrasos de la señal GPS se debe al paso de ésta por la tropósfera, en esta zona de 50 km de la atmósfera, la señal en banda L sufre una refracción y curvatura en la trayectoria.”

En la siguiente imagen, se puede apreciar cómo se ve afectada la distancia del satélite receptor por la refracción atmosférica. “Dónde la  $S$  es la distancia medida que se ve afectada de dicho efecto y  $S_g$  es la distancia geométrica satélite receptor, que es la que real, el error cometido en distancia será pues  $\Delta S = S - S_g$ ”. (Manzano G. , 2003, pág. 87)



**Figura 5-2** Efecto de la refracción troposférica

Fuente: (Manzano G. , 2003, pág. 88)

### 2.2.9 *La señal GPS*

La señal GPS al ser una señal electromagnética puede reflejarse, refractarse, difractarse y atenuarse durante su trayectoria dentro de la atmósfera, siendo la tropósfera la capa atmosférica en la que se presentan mayores efectos sobre la señal GPS.

### 2.2.10 *Atenuación*

La atenuación es el debilitamiento de la señal recibida versus la señal transmitida, es difícil de predecirla al estar influenciado por numerosas variables: la hora, el día, la estación, el viento, la temperatura, la humedad, composición de las masas de aire, alturas entre otros. (Espinal, 2012)

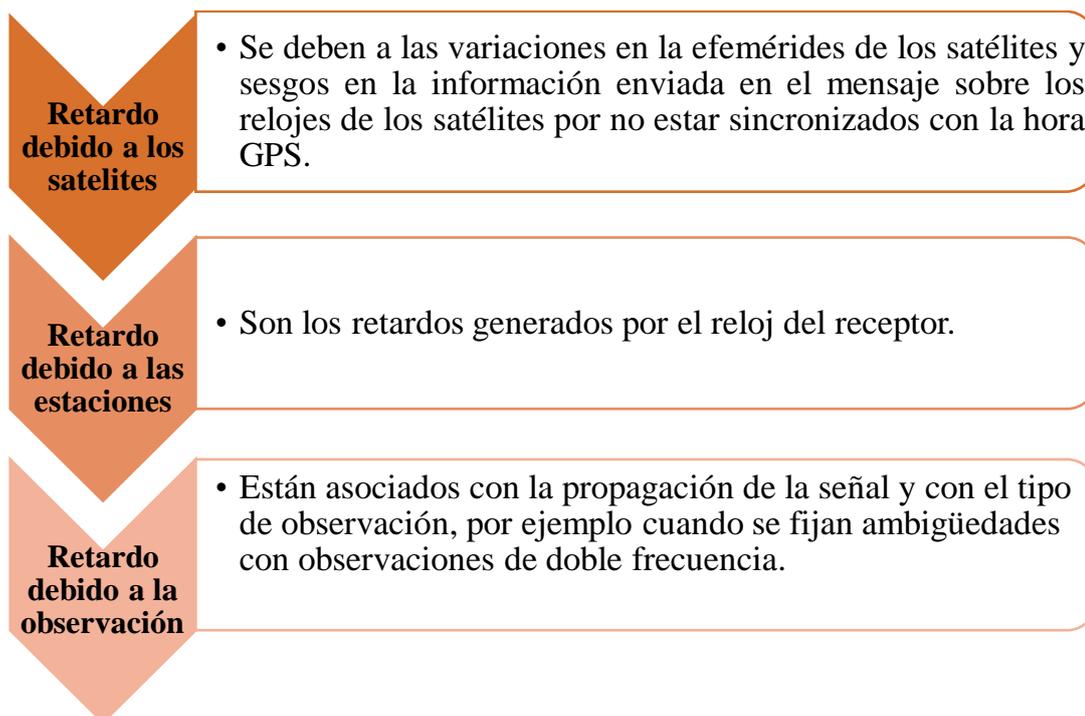
La atenuación de la señal se debe principalmente a:

- A las variaciones temporales de las características del medio de propagación. Son variaciones relativamente lentas, por ejemplo, la atenuación debida a la absorción de energía por parte del medio puede variar de una hora a la siguiente.

- A la interferencia entre las ondas que llegan al receptor siguiendo recorridos diferentes. Se trata de variaciones más rápidas que influyen en las características no sólo de amplitud, sino también de frecuencia de la señal.
- Al ruido, siendo una interferencia en la señal GPS generada por descargas eléctricas en la atmósfera o por fuentes cósmicas. (Manzano G. , 2003, pág. 88)

### 2.2.11 Retardo

Existen principalmente tres fuentes de retardo de una señal GPS, ya que dependen del emisor de la señal (satélite), estaciones y dependientes de la observación.



**Figura 6-2.** Fuentes de retardo de una señal GPS.

Fuente: (Espinal, 2012)

### 2.2.12 Modelos de corrección troposféricos

Los efectos de los retardos pueden removerse o en su defecto reducirse si éstas se modelan, ya que se asume que éstas tienen relaciones funcionales con el tiempo, la posición, la temperatura, la humedad, etc.

Los modelos de corrección troposféricos son métodos desarrollados con el fin de reducir el retardo y la refracción de la señal causada por la tropósfera. Con el transcurso del tiempo los modelos de corrección troposférico han venido apareciendo y modificándose gracias al aparecimiento de

nuevos métodos de corrección, procesamiento y post-procesamiento de señales con la incorporación de nuevas tecnologías, entre los principales se pueden contar:

### 2.2.12.1 Modelo de Hopfield:

Hopfield en 1969 desarrolló dos modelos diferentes para la refracción, uno para la componente seca (dry) y otro para la componente húmeda (wet), como se puede observar en la Figura 7-2, se considera que la refracción en la componente seca resultante de la atmósfera hidrostática y en la componente húmeda del vapor de agua, son dos refracciones distintas que también dependerán de la altura de cada una de las capas. La capa húmeda desde la superficie de la Tierra hasta unos 11 km de altitud y la capa seca desde 11 km hasta unos 40 km aproximadamente. (Munich, 2011).



**Figura 7-2** División de la atmósfera según Hopfield

Fuente: (Munich, 2011)

El índice de refracción para la componente seca  $N_d$ , la ecuación 1-2 :

$$N_d(h) = N_{d0} \left(1 - \frac{h}{h_d}\right)^4 \text{ para } h \leq h_d = 43 \text{ km}$$

**Ecuación 1-2**

Fuente: (Munich, 2011)

El índice de refracción la componente húmeda  $N_w$ , la ecuación 2-2:

$$N_w(h) = N_{w0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4 \text{ para } h \leq h_w = 12 \text{ km}$$

**Ecuación 2-2**

Fuente: (Munich, 2011)

Dónde,  $N_{d0}$  y  $N_{w0}$  son respectivamente los índices de refracción seco y húmedo a la superficie,  $h$  es la altitud del observador y los valores del espesor de la componente húmeda y seca,  $h_d$  y  $h_w$ , están en el rango de los 40 a 45 Km para  $h_d$  y de los 10 a 13 Km para  $h_w$ .

El índice de atenuación que se obtiene aplicar este método se obtiene con la ecuación 3-2:

$$\Delta = 10^{-6} \int_0^{h_d} N_{d0} \left(1 - \frac{h}{h_d}\right)^4 dh + 10^{-6} \int_0^{h_w} N_{w0} \left(1 - \frac{h}{h_w}\right)^4 dh$$

$$\Delta = \frac{10^{-6}}{5} [N_{d0} h_d + N_{w0} h_w]$$

$$\Delta^{TROP} = \Delta_d + \Delta_w$$

**Ecuación 3-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $h_d$  y  $h_w$  son las alturas sobre la superficie dónde se han medido los índices de refracción.

Finalmente, Hopfield manifiesta que el retardo cenital en la componente seca, se puede modelar respecto a una constante pues ésta es uniforme.

$$\Delta_d = kP_0$$

**Ecuación 4-2**

Dónde,  $k = \left(77.6 \frac{R}{g}\right) \times 10^{-9}$  es la constante de refracción,  $P_0$  es la presión del lugar en observación,  $R$  es el radio de la Tierra más la altitud respecto del nivel del mar; y  $g$  es la constante de la gravimetría. (Munich, 2011)

#### 2.2.12.2 Modelo de Saastamoinen:

En estudios publicados en 1972 y 1973, Saastamoinen presentó uno de los primeros modelos de refracción de la tropósfera, que estimaba el retardo según el ángulo de elevación. (Munich, 2011)

La ecuación 5-2 propuesta por Saastamoinen modela la presión atmosférica seca. En este modelo se utiliza un modelo de temperaturas sobre tropopausa.

$$P = P_T \exp \left[ -\frac{gM}{TR_T} (h - h_T) \right]$$

**Ecuación 5-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde, todos los valores expresados con el subíndice T, son parámetros en la tropopausa,  $P_T$  es la presión atmosférica,  $g$  es la constante gravitatoria de la Tierra ( $M = cte = 28.9644 \text{ kg} - \text{mol}$ ) masa molecular de la atmósfera que se considera un valor constante en las 3 capas inferiores de la atmósfera hasta una altitud de 80 km,  $T$  la temperatura ambiente en grados Kelvin,  $R$  el radio de la Tierra en metros,  $h$  es la altitud de la estación de observación,  $h_T$  es la altitud de referencia, la diferencia entre  $(h - h_T)$  es cercana a 0.

Para calcular el componente húmedo propone la ecuación 6-2, la cual sólo funciona para ángulos de elevación superiores a 10°:

$$\Delta = 0.002277(1 + D) \sec \varphi_0 \left[ P_0 + \left( \frac{1255}{T_0} + 0.005 \right) e_0 - B \tan^2 \varphi_0 \right] + \delta_R m$$

**Ecuación 6-2**

Fuente: (Munich, 2011)

Dónde,  $\Delta$  es el retardo sufrido en metros,  $P_0$  (presión del lugar),  $e_0$  están en milibares,  $T_0$  es en °K.

La tabla 1-2 muestra los valores correspondientes a  $B$  y  $\delta_R$  para las correcciones, basados en la altura ( $h$ ) de la estación de observación y el Angulo zenit.

**Tabla 1-2** Términos  $B$  y  $\delta_R$  en base a la altura de la estación de observación.

Apparent zenith	Station height above sea level							
	0 km	0,5 km	1 km	1,5 km	2 km	3 km	4 km	5 km
Angle								
60 deg 00 min,	+0,003	+0,003	+0,002	+0,002	+0,002	+0,002	+0,001	+0,001
66 deg 00 min,	+0,006	+0,006	+0,005	+0,005	+0,004	+0,003	+0,003	+0,002
70 deg 00 min,	+0,012	+0,011	+0,010	+0,009	+0,008	+0,006	+0,005	+0,004
73 deg 00 min,	+0,020	+0,018	+0,017	+0,015	+0,013	+0,011	+0,009	+0,007
75 deg 00 min,	+0,031	+0,028	+0,025	+0,023	+0,021	+0,017	+0,014	+0,011
$\delta_R, m$								
76 deg 00 min,	+0,039	+0,035	+0,032	+0,029	+0,026	+0,021	+0,017	+0,014
77 deg 00 min,	+0,050	+0,045	+0,041	+0,037	+0,033	+0,027	+0,022	+0,018
78 deg 00 min,	+0,065	+0,059	+0,054	+0,049	+0,044	+0,036	+0,030	+0,024
78 deg 30 min,	+0,075	+0,068	+0,062	+0,056	+0,051	+0,042	+0,034	+0,028
79 deg 00 min,	+0,087	+0,079	+0,072	+0,065	+0,059	+0,049	+0,040	+0,033
79 deg 30 min,	+0,102	+0,093	+0,085	+0,077	+0,070	+0,058	+0,047	+0,039
79 deg 45 min,	+0,111	+0,101	+0,095	+0,083	+0,076	+0,063	+0,052	+0,043
80 deg 00 min,	+0,121	+0,110	+0,100	+0,091	+0,083	+0,086	+0,056	+0,047
B mb	1,156	1,079	1,006	0,938	0,874	0,757	0,654	0,563

Fuente: (Munich, 2011)

El ángulo aparente en el cenit  $\vartheta_0 = 90 - E$ , dónde  $E$  es el ángulo de elevación. Y el valor  $D = 0.0026 \cos 2\alpha + 0.00028h$ , dónde  $\alpha$  es la latitud del lugar y  $h$  es la altura del punto de observación en km. (Munich, 2011).

### 2.2.12.3 Modelo Hopfield modificado (Goad & Goodman)

En el modelo Goad & Goodman o Hopfiel modificado las alturas de la componente seca y húmeda de la tropósfera depende la presión atmosférica seca y la temperatura, y están determinadas según las ecuaciones 7-2 y 8-2 (Munich, 2011)

$$h_d = \frac{5.0002277}{N_d 10^{-6}} p$$

**Ecuación 7-2**

Fuente: (Munich, 2011)

$$h_w = \frac{5.0,002277}{N_w 10^{-6}} \left[ \frac{1255}{T} + 0.005 \right] e$$

**Ecuación 8-2**

Dónde, las altitudes se determinan en metros, la presión atmosférica seca  $p$  ( $hPa$ ), la presión parcial  $e$  ( $hPa$ ) y la temperatura  $T$  ( $^{\circ}K$ ). (Munich, 2011).

La corrección troposférica para este modelo viene dada por la ecuación 9-2:

$$\Delta\rho = C_\rho \sum_{j=1}^2 \frac{N_j}{10^6} \sum_{i=1}^9 \frac{\alpha_{ij} r_j^i}{i}$$

**Ecuación 9-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $C_\rho$  es una constante dada por la ecuación 10-2.

$$C_\rho = \left[ \frac{170.2649}{173.3 - \frac{1}{\lambda'^2}} \right] \left[ \frac{78.8828}{77.624} \right] \left[ \frac{173.3 + \frac{1}{\lambda'^2}}{173.3 - \frac{1}{\lambda'^2}} \right]$$

**Ecuación 10-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $\lambda' = \frac{\lambda}{1}$  y el 1 expresado en micrómetros,  $\lambda$  longitud de onda. las distancias  $h$  de la competencia seca ( $j=1$ ) y componente húmeda ( $j=2$ ) dadas por la ecuación 11-2:

$$r_j = \sqrt{(R_\theta + h_j)^2 - (R_\theta \cos E)^2 - (R_\theta \sin E)^2}$$

**Ecuación 11-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $R_\theta$  es el radio de la Tierra ( $R_\theta = 6371Km$ ) y  $E$  es el ángulo de elevación, los coeficientes del polinomio  $\alpha_{Nj}$  en la ecuación 9-2 se utiliza los valores y expresiones polinómicas señaladas en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2.** Coeficientes del polinomio  $\alpha_{Nj}$

$\alpha_{1j} = 1$	$\alpha_{2j} = 4a_j$	$\alpha_{3j} = 64_j^2 + 4b$
$\alpha_{4j} = 4a_j(a_j^2 + 3b)$	$\alpha_{5j} = a_j^4 + 12a_j^2 b_j + 6b_j^2$	$\alpha_{6j} = 4a_j b_j (a_j^2 + 3b_j)$
$\alpha_{7j} = b_j^2 (6a_j^2 + 4b_j)$	$\alpha_{8j} = 4a_j b_j^3$	$\alpha_{9j} = b_j^4$

**Fuente:** (Munich, 2011)

Con los coeficientes polinómicos expresados en la ecuación 12-2

$$a_j = \frac{-\sin E}{h_j} ; b_j = \frac{-\cos^2 E}{2h_j R_\theta}$$

**Ecuación 12-2**

Fuente: (Munich, 2011)

#### 2.2.12.4 Modelo de Black and Eisner (B&E)

El modelo de corrección troposférica Black and Eisner, la modela a causa del exceso de retardo para la ruta de un punto a otro, a varios ángulos de elevación, el exceso de retardo troposférico vendrá definido por la sumatoria del retardo en la componente seca y del retardo en la componente húmeda y utiliza una función de mapeo, que dependerá del ángulo de elevación y la temperatura. El exceso de retardo troposférico se expresa según la ecuación 13-2 (Munich, 2011)

$$\Delta = 10^{-6} \int_0^{h_d} \frac{(N_d(h) + N_w(h)) dh}{\sqrt{1 - [\cos E / (1 + a)]^2}}$$

**Ecuación 13-2**

Dónde,  $\Delta$  es el exceso de retardo troposférico,  $h_d$  viene dada por una altura constante igual a 45Km ( $h_d = 45 \text{ km}$ ),  $a$  por la expresión ( $a = \frac{h}{R_e}$ ),  $N_d$  por la expresión ( $N_d = 77,6 \frac{P}{T}$ ) y  $N_w = 3,73 \times 10^5 (\frac{e}{T^2})$  pero que esta será cero hasta que  $h < h_w = 13 \text{ km}$ . (Munich, 2011)

La ecuación 14-2 indica el retardo troposférico y es la sumatoria del retardo en cada una de las componentes.

$$\Delta = (\Delta_d + \Delta_w)m(E, T)$$

$$m(E, T) = 1/\sqrt{1 - ((\cos E)/1 + X_{dw}h_d/R_e)^2}$$

**Ecuación 14-2**

Dónde,  $X_{dw}$  varía con la temperatura. Para elevaciones entre  $7 < E < 90^\circ$  y para temperaturas superficiales entre  $-30^\circ\text{C} < T_0 < 40^\circ\text{C}$ , el valor de  $X_{dw}$  varía entre  $0,00088 < \frac{X_{dw}h_d}{R_e} < 0,001$ . El modelo Black and Eisner (B&E) muestra un error de tan sólo 7 cm. (Munich, 2011).

#### 2.2.12.5 Altshuler y Kalagham

En 1974 proponen un modelo de corrección basado en correcciones mensuales de los valores de refractividad. (Manzano G. , 2003, pág. 89). El modelo es fácil de usar y consiste en expresiones

empíricas para obtener correcciones al error troposférico. (Munich, 2011). La ecuación 15-2 utiliza valores específicos para cada estación del año.

$$\Delta(E, h, N_s) = (0.03048)(2.29286)m(E)H(h)F(h, N_s)$$

**Ecuación 15-2**

Dónde,  $m(E)$  es una función de mapeo del modelo A&K,  $H(h)$  es una función que depende de la altura dónde se encuentre el usuario,  $F(h, N_s)$  es una función que depende de la altura del punto posicionar y de la refractividad en la superficie  $N_s$ . (Munich, 2011)

La función de mapeo es:

$$m(E) = \frac{\left\{ \left( 0.1556 + \frac{138.8926}{E} - \frac{105.0574}{E^2} + \frac{31.5070}{E^3} \right) + [1 + 1 \times 10^{-4}(E - 30)^2] \right\}}{2.29286}$$

**Ecuación 16-2**

Dónde, el ángulo de elevación va puesto en grados sexagesimales, y cuando de elevación es de  $E = 90^\circ$  la función  $m(E) = 1$ . (Munich, 2011)

La función de la altura se encuentra expresada por la ecuación 17-2:

$$H(h) = [(0.00970 - 2.08809(h - 8.6286)^{-1} + 122.73592(h + 8.6286)^{-2} - 703.82166(h + 8.6286)^{-3}]$$

**Ecuación 17-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $H(h)$  dada en pies

La ecuación 18-2 expresa la función  $F$ :

$$F(h, N_s) = 3,28084 \left[ \frac{6,81758}{h + 3,28084} + 0,30480 (h + 3,28084) + 0,00423N_s - 1,33333 \right] [-1,41723 \times 10^{-6}(N_s - 315)]$$

**Ecuación 18-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Si no se conoce la refracción en la superficie  $N_s$  se utiliza la expresión de la ecuación 19-2:

$$N_s = \alpha + \alpha_1 h' + \alpha_2 \theta + \alpha_3 h' s^2 + \alpha_4 \theta s^2 + \alpha_5 h' c + \alpha_6 \theta \lambda c$$

**Ecuación 19-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Dónde,  $\theta$  es la latitud en grados sexagesimales,  $h'$  es la altura del punto posicional respecto al nivel del mar y en pies, Las constantes  $\alpha_i$ ,  $s$  y  $c$  son:

- $\alpha_0 = 369,03$
- $\alpha_1 = -0,01553$
- $\alpha_2 = -0,92442$
- $\alpha_3 = -0,0016$
- $\alpha_4 = -0,19361$
- $\alpha_5 = 0,00063$
- $\alpha_6 = -0,05958$
- $s = \text{sen}\left(\frac{\pi M}{12}\right)$
- $c = \text{cos}\left(\frac{\pi M}{12}\right)$

El valor  $M$  depende de la temporada del año:  $M(\text{Primavera}) = 4,5$ ;  $M(\text{verano}) = 7,5$ ;  $M(\text{otoño}) = 10,5$  y;  $M(\text{invierno}) = 1,5$ . (Munich, 2011)

### 2.2.13 Funciones de mapeo

El mapeo consiste en mostrar gráficamente, mediante símbolos y diagramas, un conjunto de actividades de forma específica o general. El mapeo puede referirse a cartografía, agrimensura, fotogrametría, cartografía genética, mapeo cerebral, en fin. Las funciones de mapeo son diferentes para cada área que se desea determinar. Las funciones mostradas a continuación ayudan a los modelos, anteriormente citados, a determinar con mayor exactitud el retardo causado por la refracción troposférica.

#### 2.2.13.1 Chao

Chao desarrollo dos funciones de mapeo, una para componente seco que se encuentra expresada en la ecuación 20-2 y otra expresión indicada en la ecuación 21-2 para el componente húmedo.

$$m_d(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{0,00143}{\tan E + 0,0445}}$$

**Ecuación 20-2**

Fuente: (Munich, 2011)

$$m_w(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{0,00035}{\tan E + 0,017}}$$

**Ecuación 21-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

### 2.2.13.2 Davis

Davis desarrolló una función más sofisticada dónde los coeficientes ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) indicados en la ecuación 22-2 dependen de la presión atmosférica, de la temperatura, de la altura troposférica y del llamado *lapse rate* que es la pérdida de la temperatura en la tropósfera en  $0^\circ\text{C}$ . (Munich, 2011).

$$m(E) = \frac{1}{\sin E + \frac{a}{\tan E + \frac{b}{\tan E + c}}}$$

**Ecuación 22-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

Los coeficientes de la función de mapeo de Davis se determinan con las ecuaciones 23-2, 24-2 y 25-2.

$$a = 0,001185 [1 + 0,6071x10^{-4} (P_0 - 1000) - 0,1471x10^{-3} e_0 + 0,3072x10^{-2} (T_0 - 20) + 0,1965x10^{-1} (\beta + 6,5) - 0,5645x10^{-2} (h_t - 11,231)]$$

**Ecuación 23-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

$$b = 0,001144 [1 + 0,1164x10^{-4} (P_0 - 1000) - 0,2795x10^{-3} e_0 + 0,3109x10^{-2} (T_0 - 20) + 0,3038x10^{-1} (\beta + 6,5) - 0,1217x10^{-2} (h_t - 11,231)]$$

**Ecuación 24-2**

**Fuente:** (Munich, 2011)

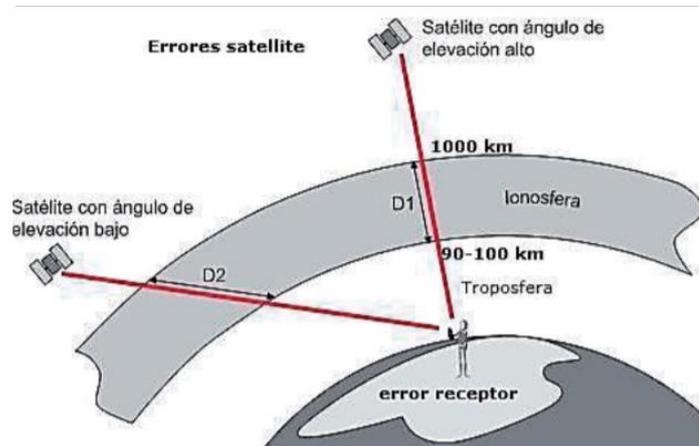
$$c = -0,0090$$

**Ecuación 25-2**

Dónde,  $\beta$  es el *lapse rate* en  $0^\circ\text{C}/\text{km}$ ,  $h_t$  es la altura en la tropósfera en  $\text{km}$ ,  $T_0$  es la temperatura en la superficie,  $e_0$  es la presión parcial de la componente húmeda expresada en milibares,  $P_0$  es la presión atmosférica en la superficie en milibares. (Munich, 2011)

### 2.2.14 Canal de propagación

El canal de propagación de una señal GPS, como ondas electromagnéticas en su recorrido desde el satélite hasta llegar al receptor se ve afectado por varias fuentes de error de acuerdo al medio que atraviesa y se divide en tres zonas en el espacio con distinto comportamiento de propagación: el vacío, la ionosfera y la tropósfera como se muestra en la figura 8-2 como el ángulo cenital de observación reduce los efectos al tener un ángulo más inclinado en el caso de comunicaciones satelitales incluye el efecto producido por la atmósfera. (Berné Valero, 2014)



**Figura 8-2** Errores GPS

Fuente: (Berné Valero, 2014)

Estando el satélite GPS ubicado a 26560 Km de la Tierra Las Capas de la atmósfera y factores de error que atraviesa son:

- **Vacío:** No sufre retardo alguno y la velocidad de propagación es la velocidad de la luz. Esta zona ocupa la distancia entre los 1000 km de altitud hasta la posición de la órbita.
- **Ionosfera:** comprendida entre 80 o 100 y 1000 km de altitud. Sección donde se encuentran ionizadas las moléculas gaseosas debido a las radiaciones ultravioleta, solar provocando la liberación de electrones, la ionosfera es un medio dispersivo, su índice de refracción depende de la frecuencia y afecta de distinta forma a la fase y al código, por ello las señales GPS sufren retardo o adelanto según sea fase o código, esta situación permite que con dos frecuencias L1 y L2 se pueda eliminar el efecto ionosférico, por una combinación lineal de frecuencias que elimina este efecto es la llamada libre ionosfera o L3.
- **Tropósfera:** Al ser la capa más próxima a la Tierra, y a efectos de propagación de las ondas electromagnéticas, a la frecuencia en que se emite la señal GNSS la tropósfera se comporta como un medio no dispersivo, por ello su efecto en la propagación de la señal es independiente de la frecuencia. Y dentro de esta zona más activa, todavía hay dos subzonas

de acuerdo al comportamiento de propagación de la señal, la primera que es la tropósfera ocupa el espacio entre 0 y unos 10 km, y es la que contiene prácticamente todo el vapor de agua. La estratosfera llega hasta 50 km, a pesar que en muchos casos se considera a efectos de transmisión de señal GNSS, también a la Mesosfera entre 50 y 80 km hasta los 100 km. Como se indicó anteriormente el retardo troposférico puede modelarse de forma aproximada en dos componentes una componente seca y otra componente húmeda. El retardo troposférico es función del ángulo de elevación del satélite, de la altitud del receptor, y depende de la presión atmosférica, la temperatura y presión de vapor de agua. La componente seca contribuye con un 90 % de error, y es fácil de modelar. La componente húmeda representa el 10 % pero es muy difícil de modelar.

De la misma manera se debe considerar recomendaciones internacionales con el fin de verificar el efecto que sufre la señal en condiciones normales y bajo las recomendaciones siguientes.

### ***2.2.15 Recomendación ITU-R referentes a la propagación de señales en la atmósfera.***

Las Recomendaciones UIT-R, constituyen una serie de normas técnicas internacionales desarrolladas por el Sector de Radiocomunicaciones (ex CCIR) de la UIT. Éstas son el resultado de estudios efectuados por las Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones sobre:

- La utilización de una amplia gama de servicios inalámbricos, incluyendo las nuevas tecnologías de comunicación móvil.
- La gestión del espectro de radiofrecuencia y las órbitas de satélite.
- El uso eficaz del espectro de radiofrecuencia por todos los servicios de radiocomunicaciones.
- La radiodifusión terrenal y las radiocomunicaciones por satélite.
- La propagación de las ondas radioeléctricas.
- Los sistemas y las redes para el servicio fijo por satélite, para el servicio fijo y para el servicio móvil.
- Las operaciones espaciales, el servicio de exploración de la Tierra por satélite, el servicio de meteorología por satélite y el servicio de radioastronomía. (UIT, 2017).

Para el interés y desarrollo del trabajo se revisa las recomendaciones ITU referentes a la propagación de señales en la atmósfera son:

- **Recomendación 676-5** referente a la atenuación debida a los gases atmosféricos en frecuencias de hasta 1 000 GHz debida al aire seco y al vapor de agua.

- **Recomendación 618-12** referente a datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio, considerando efectos de la atmósfera no ionizada en todas las frecuencias, pero sobre todo por encima de aproximadamente 1 GHz y para ángulos de elevación bajos.
- **Recomendación 640-6** referente a la atenuación debida a las nubes y a la niebla, para las nubes y la niebla compuestas totalmente de gotas minúsculas, generalmente inferiores a 0,01 cm.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Introducción

El presente trabajo investigativo se basa en el análisis de la desviación que sufre la señal GPS en las coordenadas X, Y Z debido a los retardos ocasionados principalmente por la Tropósfera en la señal, mediante la obtención de datos observacionales almacenadas en el archivo estándar RINEX, las medidas son adquiridas de una de las estaciones de REGME situadas en la ciudad de Riobamba, propiedad de la EERSA, dicho análisis se llevó a cabo mediante la utilización de herramientas de procesamiento de información GNSS.

#### 3.2 Escenario

El análisis se concentra en verificar el impacto del retardo troposférico sobre la señal de GPS y cuál es el efecto de la implementación de los modelos sobre la precisión del posicionamiento final en el receptor, basados en el modelo de corrección Saastamoinen mediante la utilización de datos meteorológicos extraídos de la estación meteorológica Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB), a través del portal Meteored interfaz indicada en el la figura 1-3.

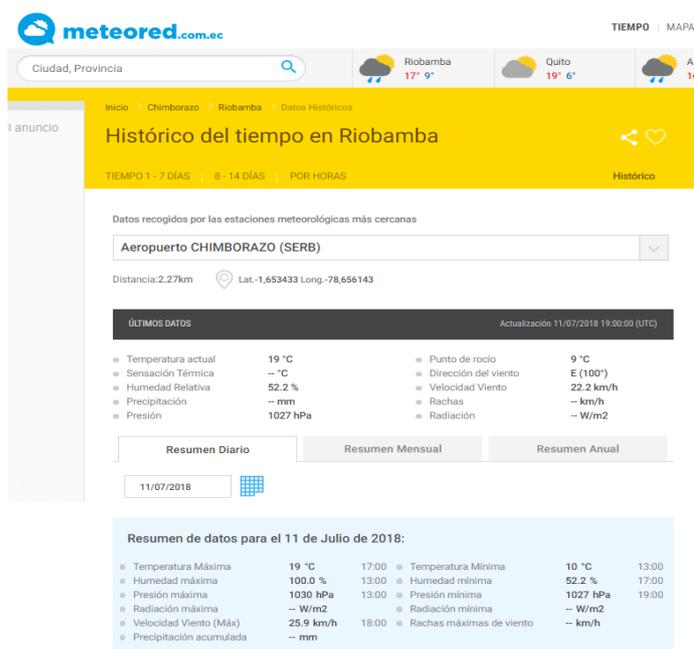


Figura 1-3 Portal meteored.com.ec

Fuente: (Meteored, 2018)

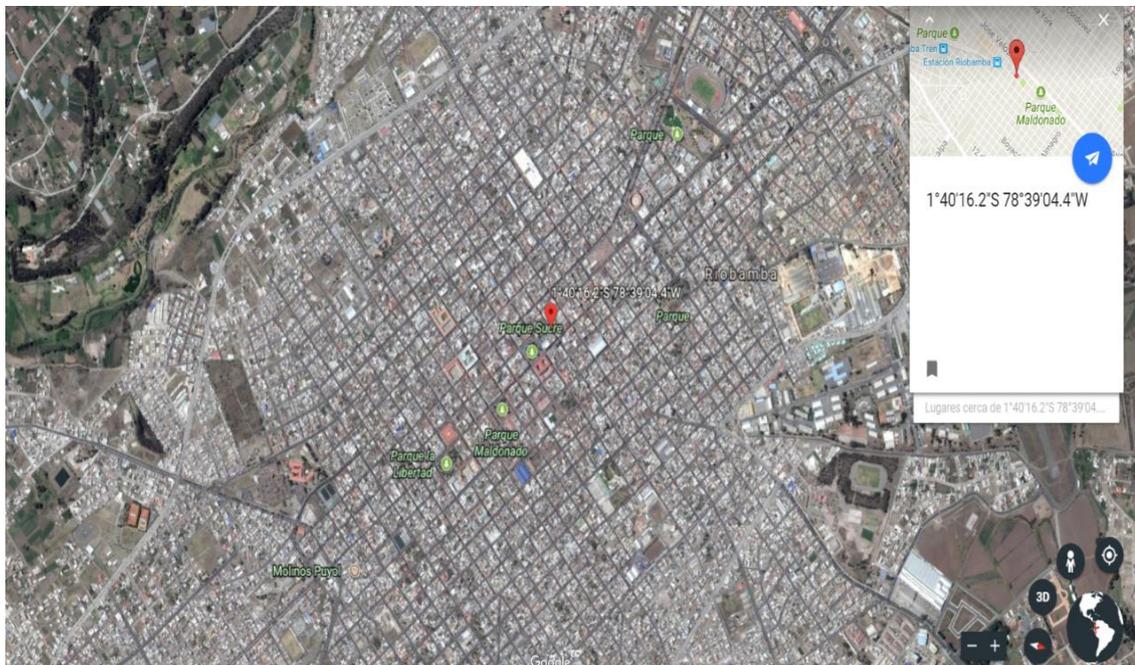
Con los datos brutos que brindan en formato RINEX la información de los archivos de navegación y observación son extraídos de la estación base TRIMBLE NETR9 denominada EREC con código internacional 42037M001 con las coordenadas referenciales indicadas en la tabla 1-3, así como su ubicación geográfica figura 2-3, datos procesados a través MATLAB mediante la información de los archivos RINEX, y conjuntamente con los valores de retardo troposférico calculado para su análisis utilizando el software de post-procesamiento de información GNSS profesional denominado RTKLIB.

**Tabla 1-3** Coordenadas ITRF08, después del sismo del 16 de abril de 2016

Geodésicas		Planas UTM 17S		Sigma (m)
Latitud (G M S)	1°40'16,2142" S	Norte (m)	9815128,634	0,0009
Longitud (G M S)	78°39'4,3953" W	Este (m)	761323,453	0,0007
Altura Elipsoidal (m)	2801,348 m			0,0024

**Fuente:** Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA – EREC

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018



**Figura 2-3** Estación EREC coordenadas

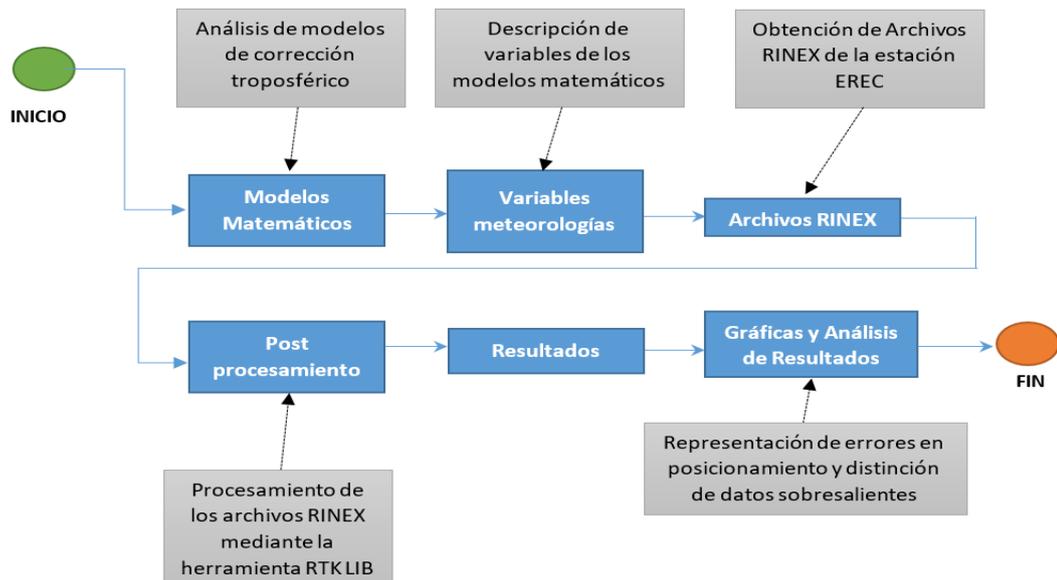
**Fuente:** Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo EERSA – EREC

El Software RTKLIB 2.4.2 herramienta informática de código abierto para el post-procesamiento de datos GNSS es una biblioteca de programas portátil y varios AP (programas de aplicación) que permite extraer la información sin corrección troposférica, así como la aplicación de modelos de corrección troposférica basados en los modelos de corrección como el Saastamoinen que utiliza valores de retardo calculado a partir de datos como temperatura,  $T_0$ , humedad relativa,  $e_0$  presión,  $p$  y altitud,  $h$ , en superficie.

El software MATLAB mediante su entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para calculo numérico y visualización que integra: análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales y gráficos. Permite interpretar los datos obtenidos con el software RTKLIB 2.4.2.

### 3.3 Metodología

Para analizar el efecto de la tropósfera sobre la señal GPS se seguirá el proceso investigativo indicado en la figura 3-3.



**Figura 3-3** Flujograma metodología de investigación

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

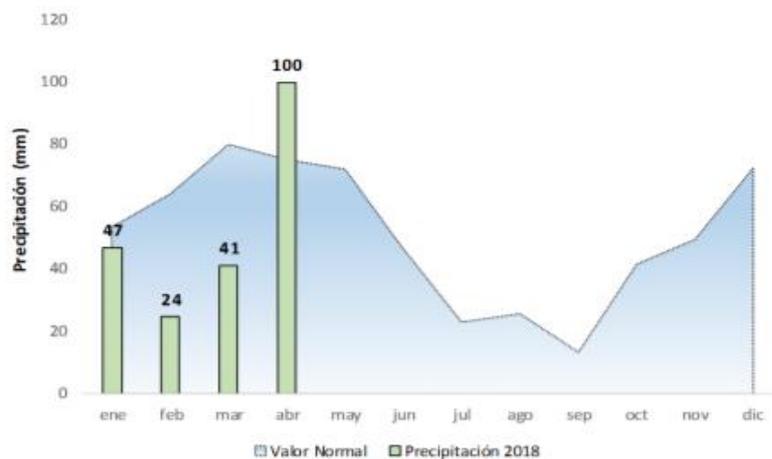
Los modelos matemáticos de corrección troposférica se encuentran estipulados en la sección 2.2.12, el resto de la metodología se indicará en el capítulo 4 del presente trabajo investigativo, dónde con los datos meteorológicos se procederá con la ejecución de los cálculos del retardo troposférico, y mediante la herramienta RTKLIB 2.4.2. y MATLAB el procesamiento de los archivos RINEX obtenidos se simula el efecto que tiene la tropósfera sobre la señal GPS en los días de análisis.

### 3.4 Periodo de evaluación:

Para la elección de los días en los que se evaluó los datos RINEX obtenidos de la estación EREC, se tomó en cuenta tres días del mes que más lluvias presentó durante el primer cuatrimestre del año 2018, así como los tres días menos lluviosos del mes más seco del mismo periodo de tiempo, según información levantada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el SIPA (SISTEMA

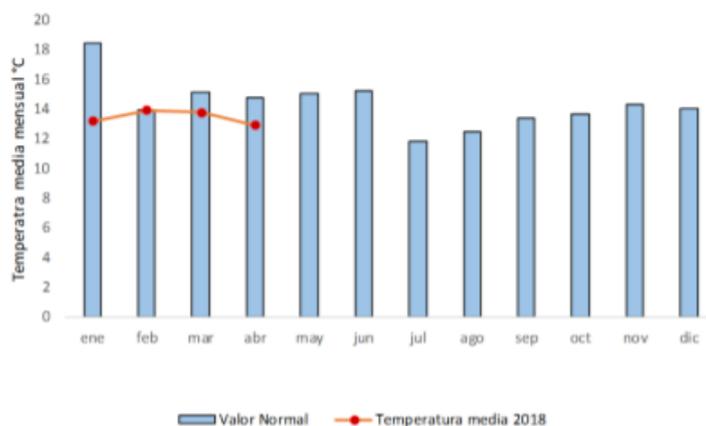
DE INFORMACIÓN PÚBLICA AGROPECUARIA) en su Boletín de Precipitación y Temperatura correspondiente al mes de mayo del 2018.

En la figura 4-3 se evidencia que el mes en el que se presentó mayor presencia de lluvia en la provincia de Chimborazo fue el mes de abril con una precipitación acumulada de 99.6mm, por otra parte, el mes que menos precipitaciones presentó fue el mes de febrero con un valor acumulado de 24.4mm, en figura 5-3 se observa que la temperatura promedio para el mes de febrero fue de 13.9° C y para el mes de abril una temperatura de 12.9° C.



**Figura 4-3** Precipitación promedio enero-abril 2018

Fuente: Boletín de Precipitación y Temperatura Zona 3 SIPA



**Figura 5-3** Temperatura promedio enero-abril 2018

Fuente: Boletín de Precipitación y Temperatura Zona 3 SIPA

Los valores de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de los días laborables del mes de febrero se encuentran registrados en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3** Registro meteorológico febrero 2018

DÍA	T. MEDÍA	PRECIPITACIÓN mm	PRESIÓN MEDÍA	HUMEDAD RELATIVA
1	18 °C	0	1027 hPa	72.5%
2	19 °C	0	1027 hPa	75.9%
5	20 °C	0	1025.7 hPa	74.4%
6	17 °C	0	1027.3 hPa	81.7%
7	19 °C	0	1027 hPa	73.4%
8	19 °C	0	1026.6 hPa	74.0%
9	19 °C	0	1025.5 hPa	78.0%
14	16 °C	0	1028 hPa	83.8%
15	16 °C	0	1027.8 hPa	84.1%
16	15 °C	0.4	1028.8 hPa	84.9%
19	15 °C	9.4	1026.8 hPa	88.8%
20	16 °C	7.6	1027.8 hPa	89.1%
21	17 °C	1.1	1027.9 hPa	84.4%
22	17 °C	2.8	1028.1 hPa	85.0%
23	18 °C	0.9	1027.2 hPa	80.1%
26	18 °C	0	1027.8 hPa	66.0%
27	17 °C	0	1027.9 hPa	76.5%
28	17 °C	0	1027.3 hPa	80.9%

Fuente: (Tiupul, 2018); (Meteored, 2018)

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Los valores de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa de los días laborables del mes de abril se encuentran registrados en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3** Registro meteorológico abril 2018

DÍA	T. MEDÍA	PRECIPITACIÓN mm	PRESIÓN MEDÍA	HUMEDAD RELATIVA
2	16 °C	4.5	1026.6 hPa	87.5
3	16 °C	1.4	1027.6 hPa	86.7
4	15 °C	21.2	1028.2 hPa	91.5
5	15 °C	20.5	1028.2 hPa	87.4
6	16 °C	3.0	1028.3 hPa	85.3
9	16 °C	0.8	1029 hPa	83.6
10	17 °C	0.2	1029.4 hPa	83.0
11	18 °C	0	1029.4 hPa	69.8
12	19 °C	0	1027.4 hPa	56.6
13	16 °C	0	1028.1 hPa	66.4
16	15 °C	1.5	1030.3 hPa	83.7
17	16 °C	0	1029.7 hPa	78.1

<b>18</b>	17 °C	0	1029 hPa	75.3
<b>19</b>	17 °C	0.4	1029.1 hPa	76.6
<b>23</b>	17 °C	0.6	1029 hPa	78.9
<b>24</b>	17 °C	0	1029.3 hPa	75.5
<b>25</b>	16 °C	18.6	1029.5 hPa	85.0
<b>26</b>	17 °C	0.6	1029 hPa	84.1
<b>27</b>	15 °C	0.8	1030 hPa	81.3

**Fuente:** (Tiupul, 2018); (Meteored, 2018)

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

De los datos registrados en la tabla 3-3 se tomará los tres días con mayor registro de humedad relativa y precipitación acumulada del mes de correspondientes a los días 4, 5 y 25 de abril equivalente a los días 94, 95 y 115 del calendario juliano, así como los tres días con menor humedad relativa y precipitación acumulada del mes correspondiente a los días 1,7 y 8 de febrero equivalente a los días 32, 38 y 39 del calendario juliano, a fin de determinar el impacto que tiene la tropósfera sobre la señal GPS en distintas condiciones climáticas.

# CAPÍTULO IV

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 4.1 Introducción

Como fue expuesto anteriormente la tropósfera está constituido por dos componentes una seca que contribuye con el 90% del retardo y una húmeda que constituye el 10 % de retardo misma que es difícil de predecir debido a su distribución irregular del agua líquida y vapor de agua tanto vertical como horizontalmente.

Por lo que para el análisis de los efectos de los componentes troposféricos se procede al cálculo del retardo troposférico expuesto en la ecuación 6-2 para cada día de análisis.

Para el cálculo del retardo troposférico se diseñó su código en el software MATLAB, mismo que emite los resultados en un documento de Excel, los cuales serán adjuntados como anexos del presente proyecto, el cálculo se efectuó para los días 32, 38, 39, 94, 95 y 115 equivalentes a los días 1, 7 y 8 de febrero del 2018 y 4, 5 y 25 de abril de 2018, con la herramienta MATLAB, en la figura 1-4 se presenta la interfaz de MATLAB, y su programación. Cabe recalcar que los diseños de los algoritmos son propios del autor.

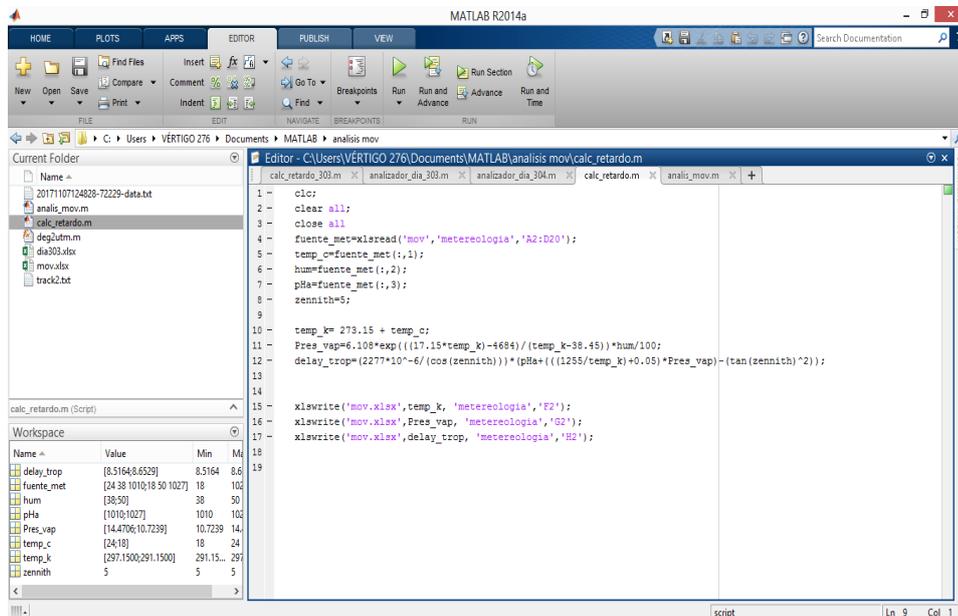


Figura 1-4. Interfaz MATLAB

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

## 4.2 Adquisición de datos meteorológicos

Anteriormente se indicó que los modelos de corrección troposférica dependen de la altitud del punto de observación, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica. Dicha información se obtendrá de la estación meteorológica Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB) a través del portal METEORED, dónde se registra la información con una toma de valores por cada hora.

Los datos de la tabla 1-4 corresponden a los datos meteorológicos de los días 32, 38, 39, 94, 95 y 115 equivalentes a los días 1, 7 y 8 de febrero del 2018 y 4, 5 y 25 de abril de 2018 entre 13:00 a 21:00 horas UTC (08:00 – 16:00 hora local (Ecuador GMT 05)).

**Tabla 1-4** Datos meteorológicos

Día Hora	TEMPERATURA						HUMEDAD RELATIVA						PRESIÓN ATMOSFÉRICA					
	32	38	39	94	95	115	32	38	39	94	95	115	32	38	39	94	95	115
13	11	12	11	11	10	12	87,5	87,6	93,5	93,5	100	87,6	1029	1030	1030	1030	1030	1032
14	15	15	12	12	12	13	72	72	87,6	93,6	93,6	82	1029	1030	1030	1030	1030	1032
15	17	17	15	14	16	15	63,4	55,4	72	87,7	67,5	77	1028	1030	1029	1030	1030	1031
16	18	19	19	16	18	16	59,5	52,2	52,2	77,1	59,5	72,2	1029	1029	1028	1030	1029	1031
17	18	21	20	18	18	17	59,5	46,2	45,9	68	59,5	67,7	1028	1027	1027	1027	1029	1030
18	20	21	22	18	20	17	52,5	49,4	43,4	63,6	56,1	75,1	1027	1026	1026	1027	1027	1029
19	21	22	24	16	20	17	49,4	43,4	38,5	77,1	52,5	82,5	1026	1025	1024	1027	1026	1028
20	22	22	24	15	13	18	46,4	43,4	38,5	77	82	72,6	1024	1023	1023	1027	1026	1026
21	23	21	23	12	12	18	38,2	46,2	43,7	100	93,6	68	1023	1023	1022	1026	1027	1026

Fuente: (Meteored, 2018)

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

## 4.3 Estimación del retardo troposférico

Con los datos meteorológicos obtenidos estación meteorológica Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB) a través del portal METEORED a continuación, se detalla el cálculo realizado para el retardo troposférico componentes seca y húmeda según Saastamoinen ecuaciones 5-2 y 6-2 respectivamente del día de análisis 32 de las 13h00 UTC con los siguientes datos meteorológicos.

Temperatura = 11°C

Humedad = 87.5%

Presión Atmosférica = 1029 hPa

Para la aplicación de la ecuación es necesario transformar la temperatura de grados centígrados a grados Kelvin

$$t^{\circ}K = 273.15 + t^{\circ}C$$

$$t^{\circ}K = 273.15 + 11^{\circ}C$$

$$t^{\circ}K = 284.15^{\circ}K$$

Se aplica la ecuación 5-2 para la estimación de la presión para la componente seca según Saastoinen.

$$P = P_T \exp \left[ -\frac{gM}{TR_T} (h - h_T) \right]$$

$$(M = cte = 28.9644)$$

$$P = 1029 \exp \left[ -\frac{9.81 * 28.9644}{284.15 * 6371 \times 10^3} (h - h_T) \right]$$

$$P = 1029 \exp \left[ -\frac{9.81 * 28.9644}{284.15 * 6371 \times 10^3} (2801.348 - 2801.348) \right]$$

$$P = 1029 \text{ psi}$$

Además, se debe calcular la Presión de vapor de agua a partir de la temperatura en grados kelvin calculada y la humedad relativa.

$$e_0 = 6.108 e^{\left[ \frac{(17.15 \times t^{\circ}k) - 4684}{t^{\circ}k - 38.45} \right]} * H / 100$$

$$e_0 = 6.108 e^{\left[ \frac{(17.15 \times 284.15^{\circ}k) - 4684}{284.15 - 38.45} \right]} * 87.5 / 100$$

$$e_0 = 6.108 e^{\left[ \frac{189.1725}{245.7} \right]} * 0.875$$

$$e_0 = 6.108 e^{[0.77]} * 0.875$$

$$e_0 = 11.542 \text{ mbar}$$

Se establece un ángulo de elevación bajo es decir de  $E=10^{\circ}$  y una altura de la estación de observación de altura (h) =2801,348 metros a nivel del mar, los valores correspondientes a  $B$  y  $\delta_R$  para las correcciones se obtienen de la tabla 1-2.

$$\vartheta_0 = 90 - E$$

$$\vartheta_0 = 90 - 10$$

$$\vartheta_0 = 80^{\circ}$$

Para un ángulo zenit equivalente a  $\vartheta_0 = 80^{\circ}$  y una altura de la estación de observación  $h = 2801,348 \text{ h} \cong 3 \text{ Km}$  se obtiene un valor de  $\delta_R \text{ m} = 0.086$  y un  $B = 0.757$ .

$$D = 0.0026 \cos 2\alpha + 0.00028h$$

$\alpha$  es la latitud del lugar

$$\alpha = 1^{\circ}40'16,2142'' \text{ S}$$

$h$  es la altura del punto de observación en km

$$h = 2,801 \text{ Km}$$

$$D = 0.0026 \cos^2(-1^{\circ}40'16,2142'') + 0.00028(2,801)$$

$$D = 0.0026(0.99915) + 0.00028(2,801)$$

$$D = 2.59779 \times 10^{-3} + 7.8428 \times 10^{-4}$$

$$D = 3.382 \times 10^{-3}$$

Se aplica la ecuación 6-2 modelo de retardo troposférico está dado por:

$$\Delta = 0.002277(1 + D) \sec \varphi_0 \left[ P_0 + \left( \frac{1255}{T_0} + 0.005 \right) e_0 - B \tan^2 \varphi_0 \right] + \delta_{Rm}$$

$$\Delta = 0.002277(1 + 3.382 \times 10^{-3}) \sec 80^{\circ} \left[ 1029 + \left( \frac{1255}{284.15^{\circ}k} + 0.005 \right) 11.542 - 0.757 \tan^2 80^{\circ} \right] + 0.086$$

$$\Delta = 0.002277(1.003382) \sec 80^{\circ} [1029 + (4.4217 * 11.542) - (0.757 * 32.1634)] + 0.086$$

$$\Delta = 2.2848 \times 10^{-3} * \frac{1}{\cos 80^{\circ}} [1029 + 58.3266 - 24.3477] + 0.086$$

$$\Delta = 2.2848 \times 10^{-3} * 5.7587 * [1061.9789] + 0.086$$

$$\Delta = 13,9783$$

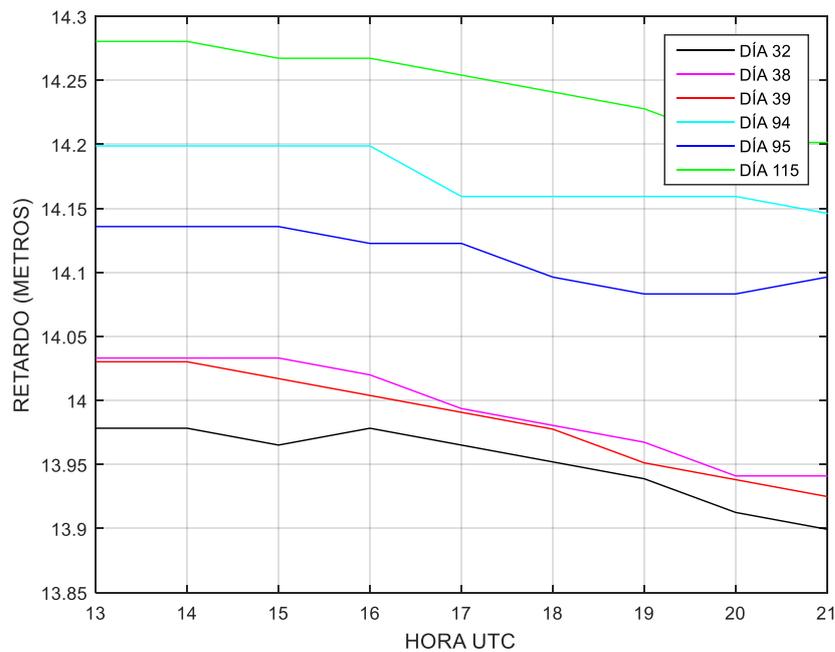
Con la ayuda del código desarrollado en MATLAB se ejecuta el cálculo anterior para cada uno de los datos meteorológicos de cada día de análisis, datos expresados en la tabla 2-4.

**Tabla 2-4** Retardos Troposféricos calculados

Día Hora	32	38	39	94	95	115
13	13,9783	14,0331	14,0302	14,1988	14,1358	14,2804
14	13,9783	14,0331	14,0302	14,1988	14,1358	14,2804
15	13,9651	14,0331	14,0170	14,1988	14,1358	14,2673
16	13,9783	14,0200	14,0039	14,1988	14,1226	14,2673
17	13,9651	13,9936	13,9907	14,1593	14,1226	14,2541
18	13,9520	13,9805	13,9776	14,1593	14,0963	14,2410
19	13,9388	13,9673	13,9512	14,1593	14,0832	14,2278
20	13,9125	13,9410	13,9381	14,1593	14,0832	14,2015
21	13,8993	13,9410	13,9249	14,1462	14,0963	14,2015

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Los resultados de los cálculos realizados del retardo troposférico, mediante el software MATLAB son analizados de forma gráfica como se muestra en el gráfico 1-4.



**Gráfico 1-4.** Retardo troposférico

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Como se observa el día que presenta mayor retardo troposférico es el día de análisis 115 a las 13 horas UTC, bajo una temperatura de 12°, una humedad relativa del 87.6% y una presión atmosférica de 1032 hPa.

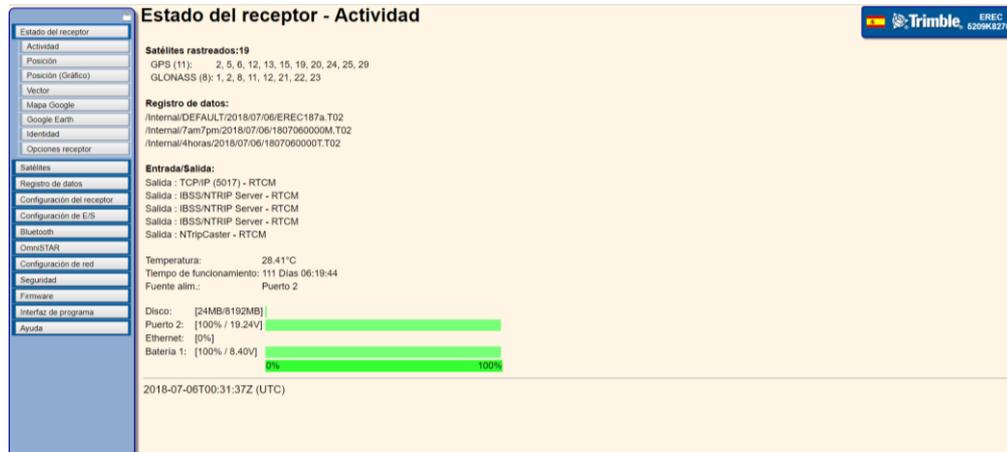
Mientras que el menor retardo troposférico registrado se evidencia el día 32 a las 21 horas UTC, bajo una temperatura de 23°, una humedad relativa del 38.2% y una presión atmosférica de 1023 hPa.

#### 4.4 Obtención de datos GPS

Para la obtención de los datos RINEX de la estación EREC con código internacional 42037M001, de la Red GNSS De Monitoreo Continuo Del Ecuador (REGME), del Instituto Geográfico Militar se sigue el siguiente proceso:

- **Acceder a la plataforma:** Para acceder a la plataforma se usa el navegador de internet, el sistema solicita un usuario y contraseña de acceso, para el presente estudio se utilizó las credenciales de acceso al sistema proporcionados por el REGME a la Ing. Mónica Zabala.

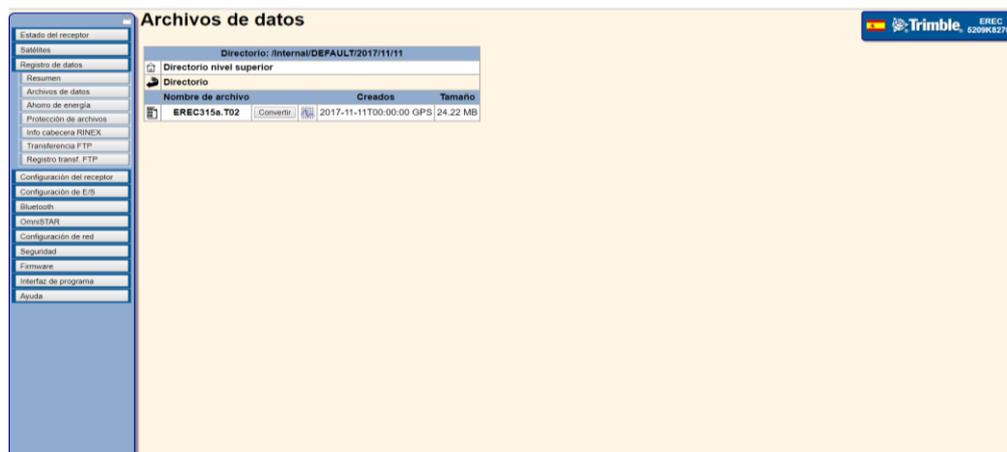
- **Estado del Receptor:** Una vez que se ha ingresado correctamente al sistema, este indicara el nombre de la estación al que se accedió (EREC 5209k82766) y en la ventana estado del receptor se verifica el estado actual de la estación para lo cual se accede a la primera opción del menú ubicado a la Izquierda de la pantalla clic en la Pestaña ESTADO DEL RECEPTOR y desplegándose la ventana indicada en la figura 2-4.



**Figura 2-4** Ventana estado del receptor – actividad

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

- **Obtención de datos:** Para la obtención de los datos en el menú de herramientas se selecciona la opción Registro de datos, Archivos de datos, Internal, DEFAULT, el Año, Mes y el Día, Aparecerá la ventana descrita en la figura 3-4.



**Figura 3-4** Descarga de archivos de datos RINEX

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Al hacer clic en convertir, y seleccionar el tipo de archivo RINEX a descargar en este caso RINEX 2.11, Observacionales y Efemérides y al presionar en Convertir y descargar, se descargará un archivo comprimido con la con el nombre ERECxxxa (Las xxx corresponde al número de día Juliano).

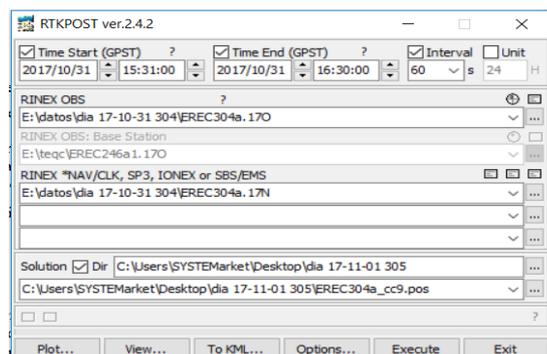
## 4.5 Procesamiento de datos GPS

Los archivos RINEX de la estación EREC con código internacional 42037M001, se procesan mediante la herramienta RTKLIB, en dos etapas:

### 4.5.1 *Procesamiento sin corrección troposférica*

Para el procesamiento de cada uno de los archivos RINEX mediante la herramienta RTKLIB se sigue el siguiente proceso:

En el menú de herramientas RTKLIB seleccionar la herramienta RTKPOST como muestra la figura 4-4.

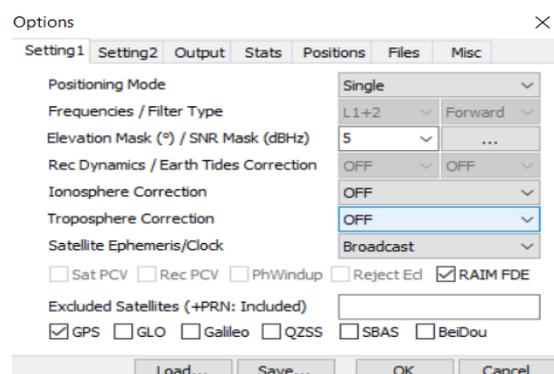


**Figura 4-4** Ventana herramienta RTKPOST

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Seleccionar el tiempo de observación (Análisis) fecha y hora de inicio y fecha y hora de finalización, el intervalo de análisis, para el presente caso de estudio se procesará mediante la herramienta desde las 07h30 a las 16h30, de cada día de análisis.

Para la ejecución del procesamiento del archivo sin corrección troposférica en la pestaña opciones debe estar desactivado dicha corrección como muestra la figura 5-4.

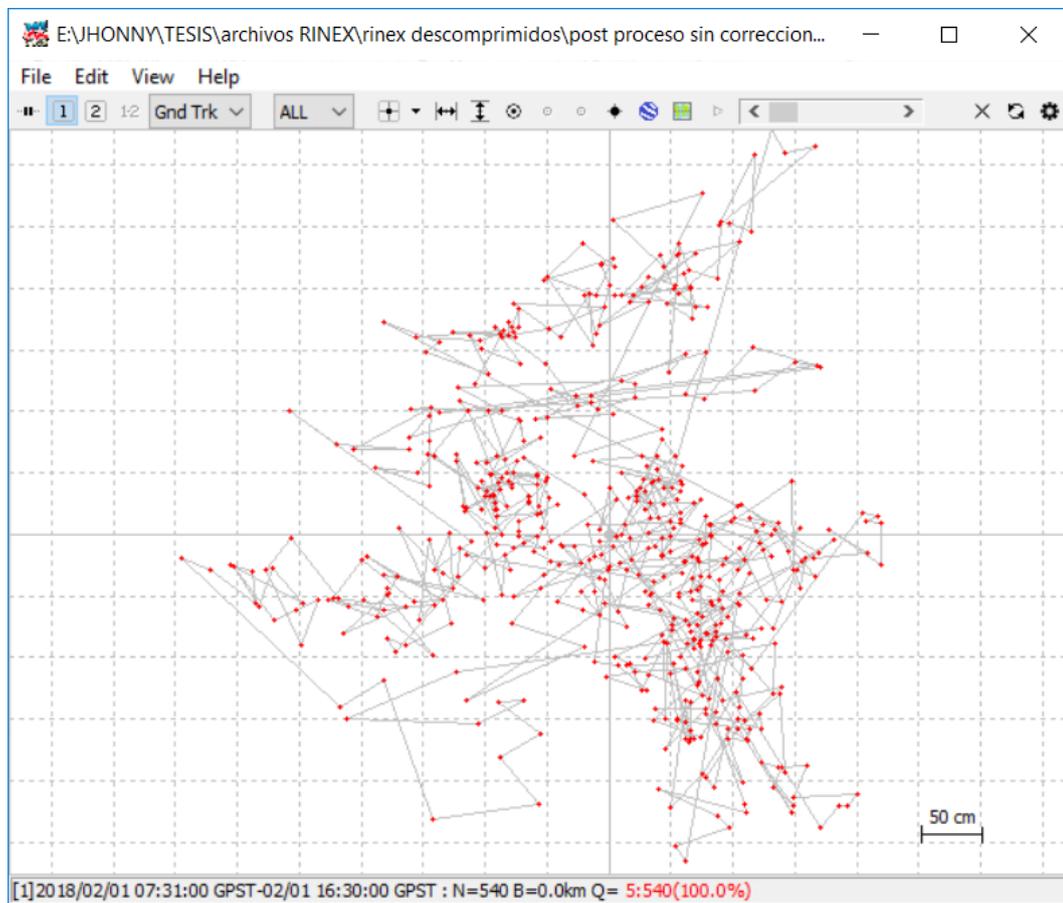


**Figura 5-4.** Ventana OPTIONS RTKPOST

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Una vez seleccionado el archivo RINEX a procesar se debe dar un nombre al archivo de salida mismo que será utilizado con la herramienta MATLAB para su análisis.

La herramienta RTKLIB permite además visualizar los resultados obtenidos del procesamiento del archivo RINEX, como muestra la figura 6-4.

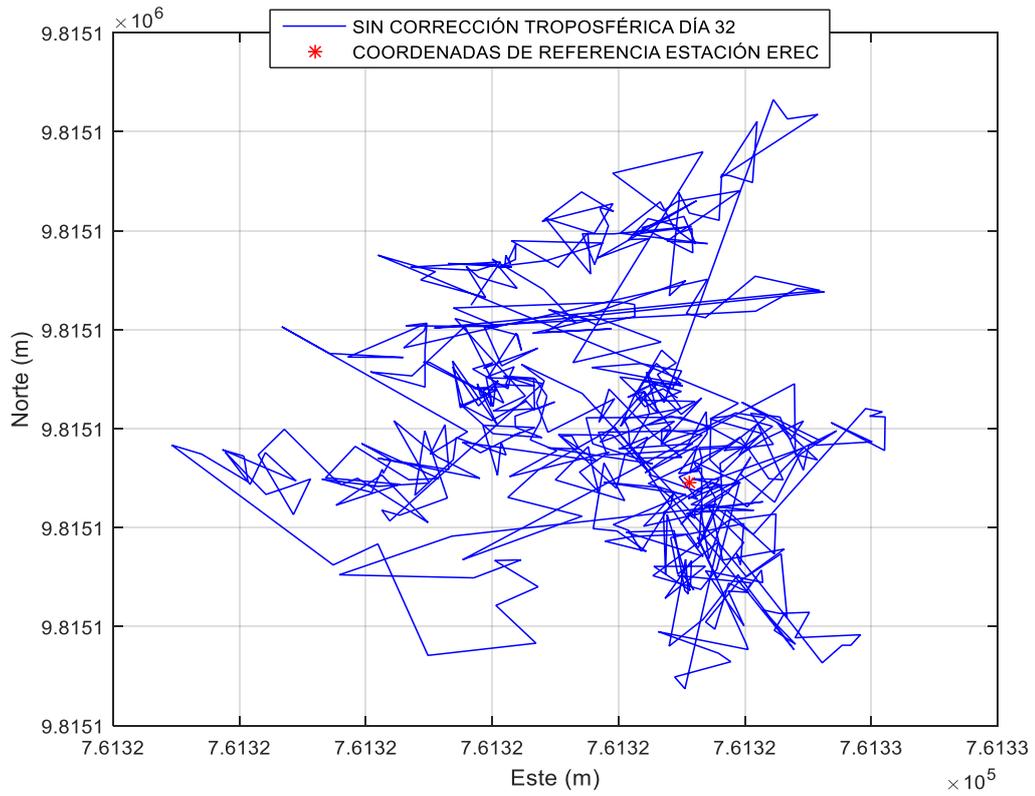


**Figura 6-4.** Ventana herramienta RTKPLLOT

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

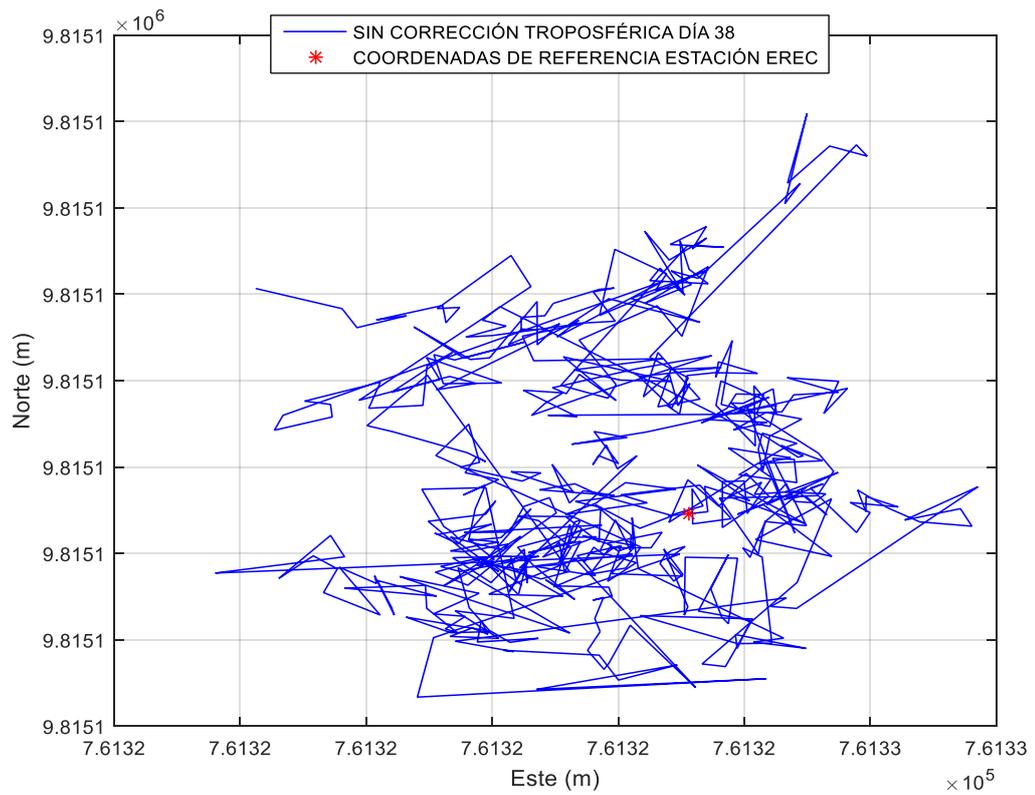
Con los archivos obtenidos para cada día de análisis se ejecuta el código desarrollado en MATLAB para determinar cuál es el error que presenta cada muestra en relación a la posición base que es la tomada después del terremoto del 16 de abril de 2016 ver tabla 1-3.

Las gráficas corresponden a las desviaciones debidas a la tropósfera, mismas que no han sido corregidas por ningún modelo troposférico y contiene los errores aleatorios contenidos en las desviaciones.



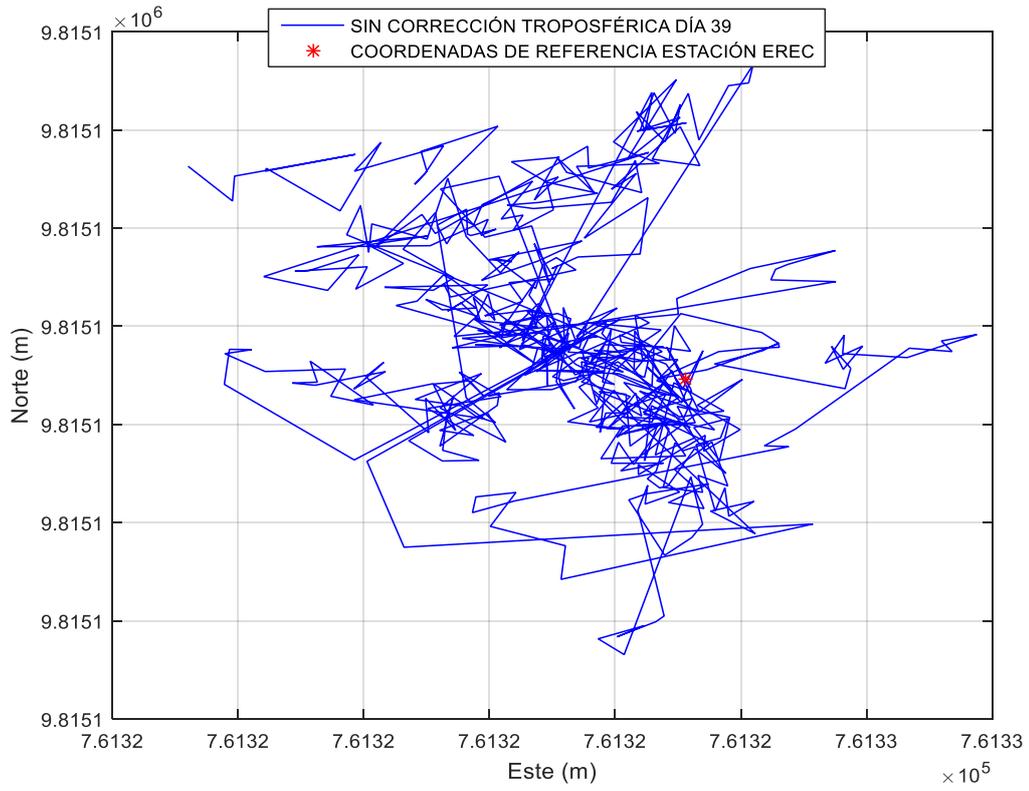
**Gráfico 2-4** Sin corrección troposférica día 32

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



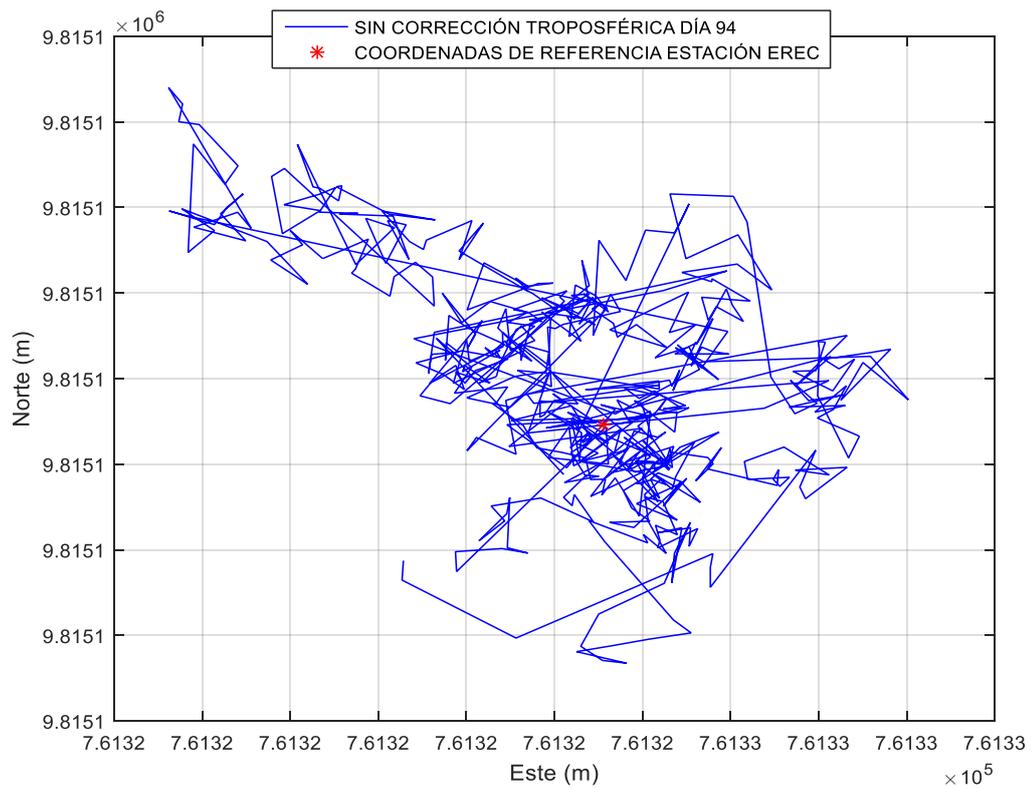
**Gráfico 3-4** Sin corrección troposférica día 38

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



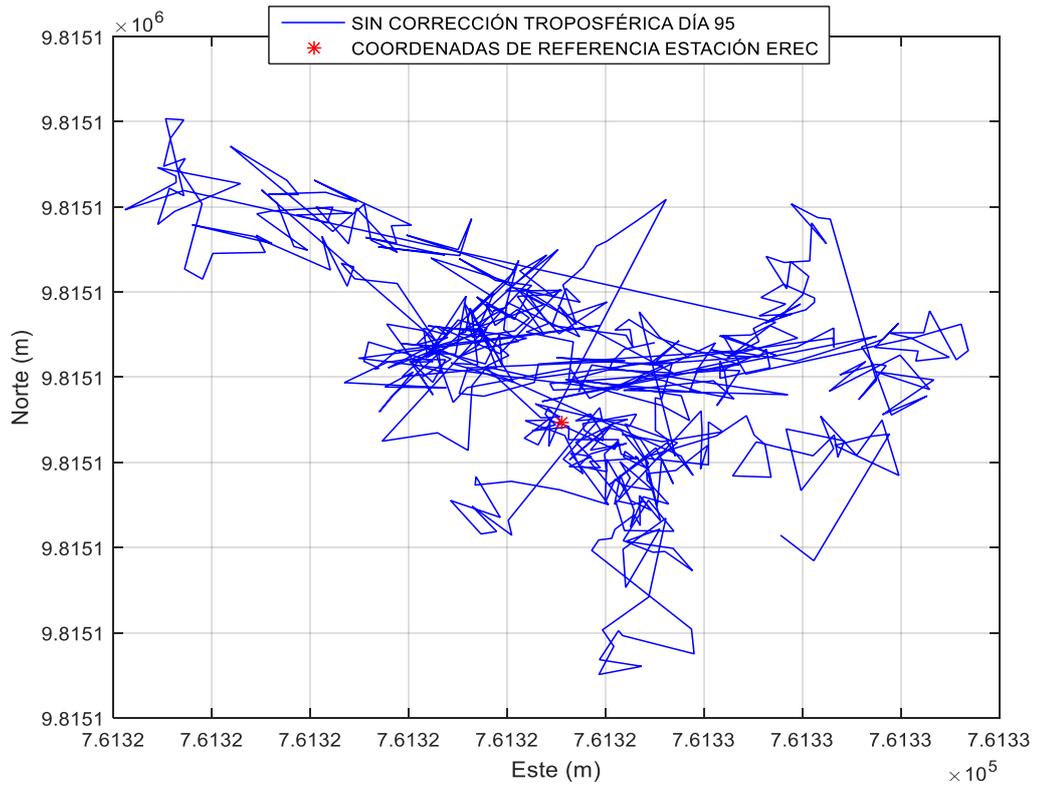
**Gráfico 4-4** Sin corrección troposférica día 39

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



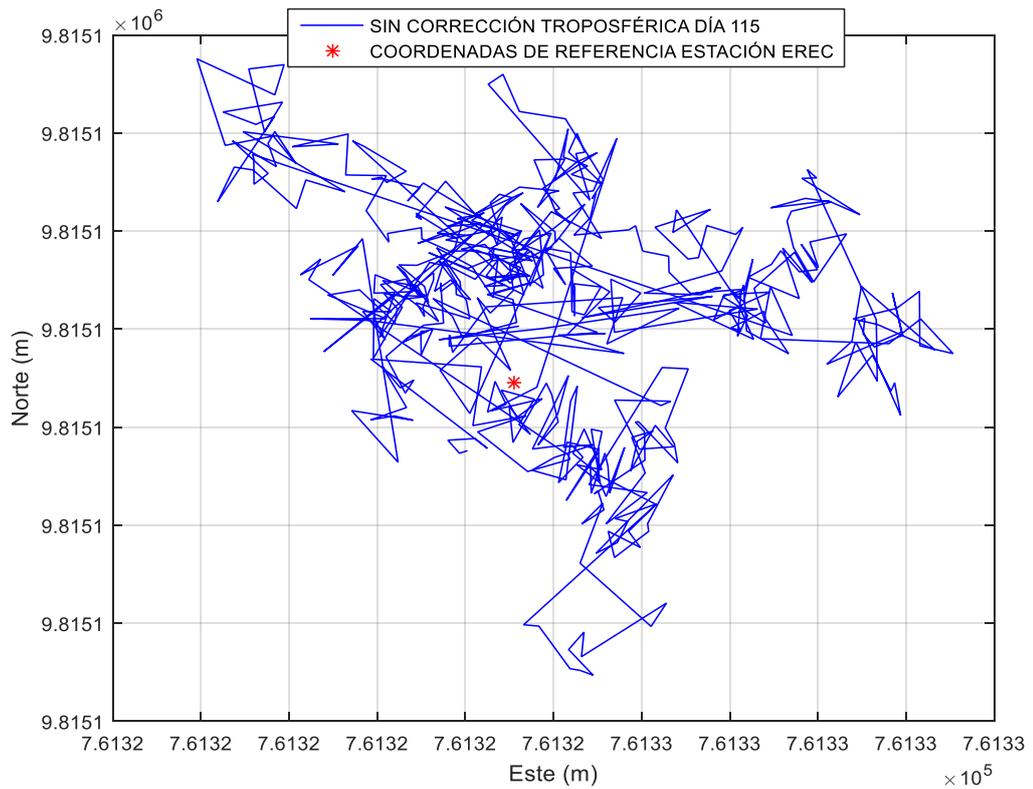
**Gráfico 5-4** Sin corrección troposférica día 94

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 6-4** Sin corrección troposférica día 95

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 7-4** Sin corrección troposférica día 115

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

En las gráficas anteriores existen variaciones en tanto en los ejes Norte y Este, y altura siendo esta última la que tiene mayores variaciones que fluctúan entre los 2.805,71 y 2.824,81 metros sobre el nivel del mar siendo el día de observación 39 a las 16:09:00 el punto donde mayor fluctuación existe con una variación de 22,7395 metros mientras que el día 115 a las 09:17:00 registran la menor variación con respecto a la altitud de referencia con una variación de 3,6444 metros.

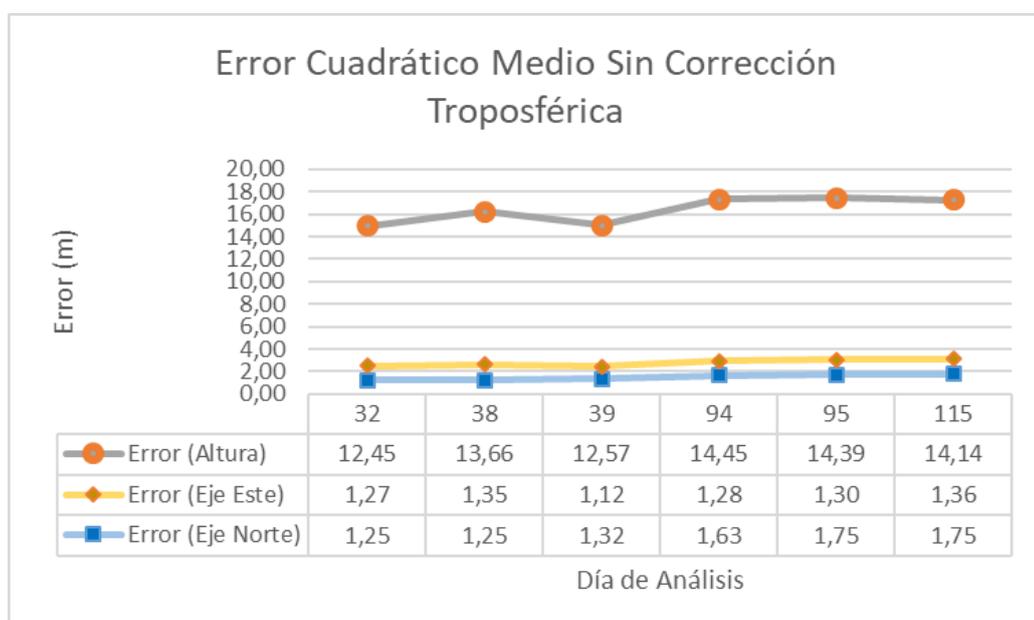
El error cuadrático medio permite identificar la cantidad de error que existe entre dos conjuntos de medida siendo uno de estos el de referencia y otro el conjunto de datos levantados o medidos, para el caso de análisis se establecerá el error cuadrático medio de los datos de las variaciones en las coordenadas UTM norte y este, y altura de cada día de análisis con referencia a los valores referenciales establecidos en la Tabla 1-3, aplicando la fórmula del error cuadrático medio.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

**Ecuación 1-4**

**Fuente:** (Wackerly & Scheaffer, 2008)

Se obtiene los valores para cada día de análisis registrados en el gráfico 8-4, donde se evidencia que los días donde existió condiciones climatológicas adversas, el error cuadrático medio es mayor a los días que no existió precipitaciones, siendo la altura donde se registra el mayor error cuadrático medio, que los errores registrados en los ejes norte y este.



**Gráfico 8-4** Registro de error cuadrático medio sin corrección troposférica

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

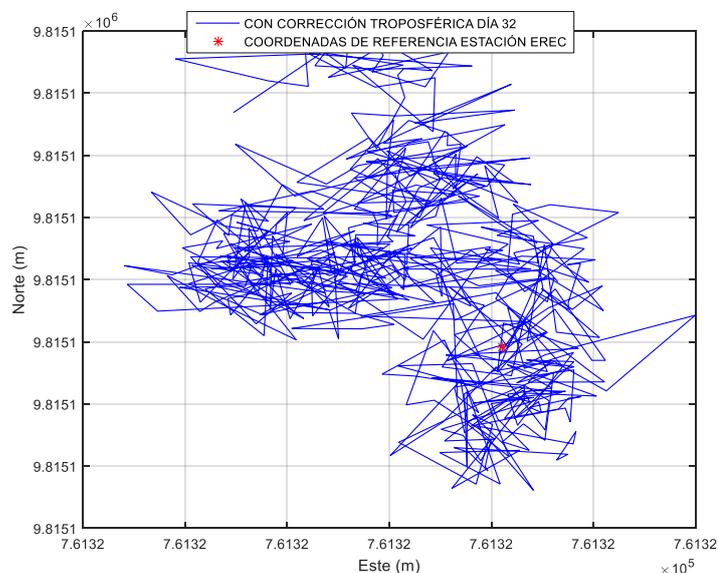
#### 4.5.2 *Procesamiento con corrección troposférica*

Para el procesamiento de los datos obtenidos con la corrección troposférica se integra el valor de retraso troposférico en un tiempo más o menos largo puede ser (una o dos horas), debido a que está directamente relacionado con la estimación sobre el retraso del reloj de la estación y la altura de la estación (Romero Trujillo, 2008) se realiza la fragmentación de los archivos RINEX de 24 horas de observación obtenida de la estación EREC en épocas de 1 hora de duración.

El software RTKLIB tiene por los valores por defecto para los modelos Saastamoinen, SBAS (MOPS), Estimar ZTD (retraso total del cenit), Estimar ZTD + Grad, el valor de retraso troposférico por defecto es de  $1 \times 10^{-4}$  m / sqrt (s)). En el menú Opciones de la herramienta RTKLIB se introdujo los valores de retraso troposférico calculado para los 6 días desde las 07h31 hasta las 16h30 (el valor correspondiente a cada hora de análisis), los errores que se representan en las gráficas corresponden a los errores aleatorios y las desviaciones se muestran debido a los satélites, estaciones y observaciones después de que se han modelado.

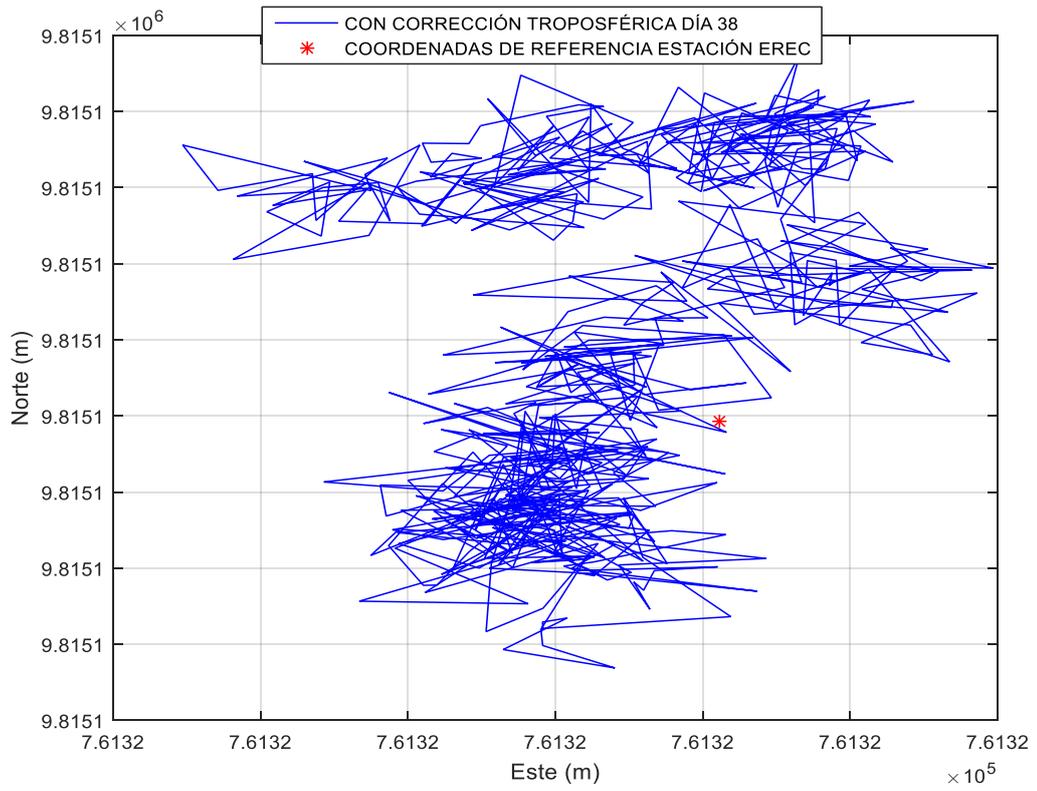
Para el caso se aplicará el valor de retraso troposférico obtenido en épocas de 1 hora bajo el modelo de corrección troposférico Saastamoinen, los archivos obtenidos de cada época serán concatenados para obtener un solo archivo por cada día de análisis con el mismo número de muestras que los archivos obtenidos en el procesamiento sin corrección troposférica.

Los gráficos descritos a continuación corresponden a las desviaciones debidas a la tropósfera, aplicando el modelo de corrección troposférico de Saastamoinen.



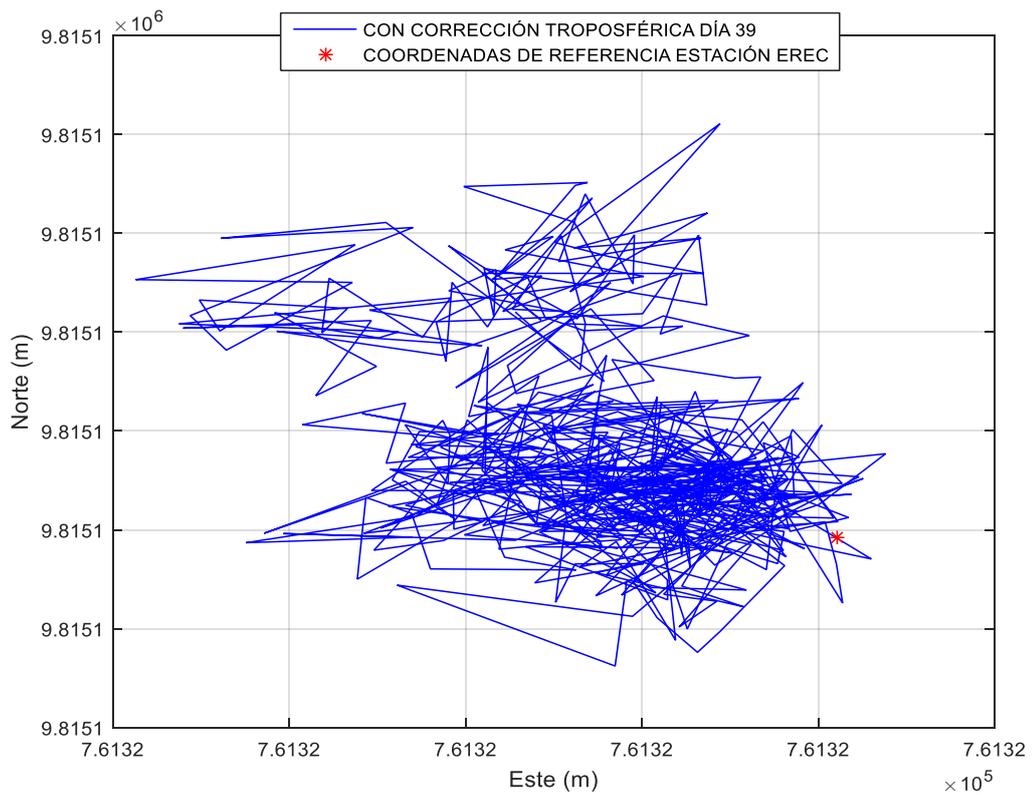
**Gráfico 9-4** Con corrección troposférica día 32

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



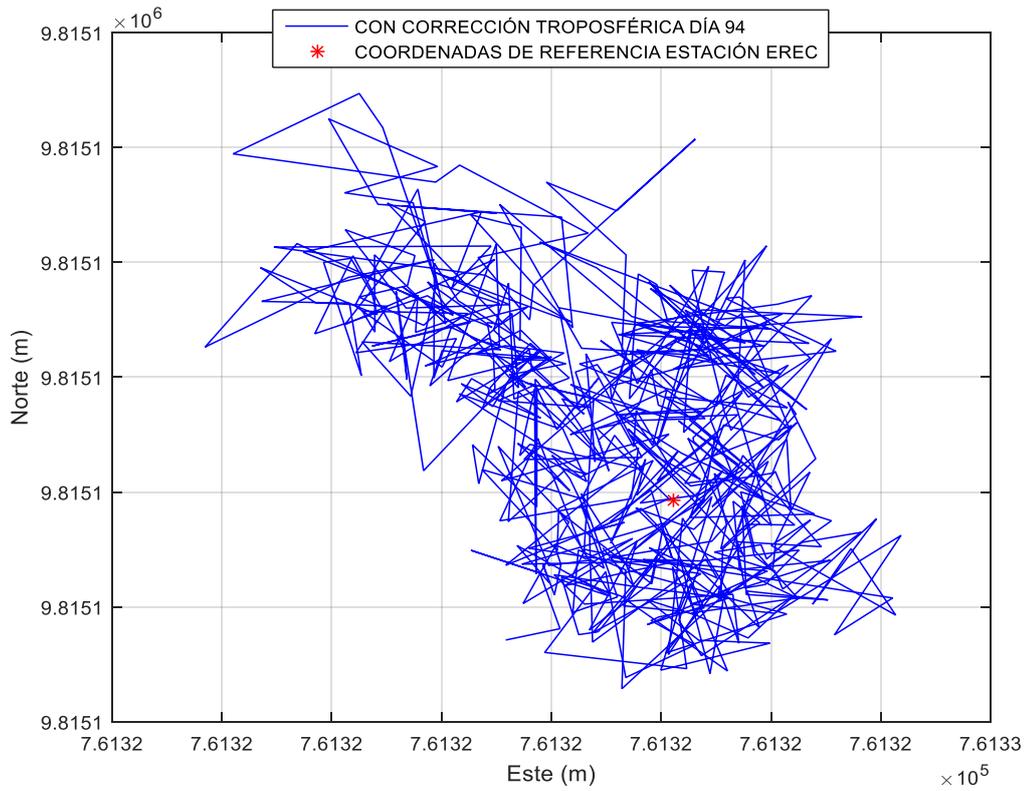
**Gráfico 10-4** Con corrección troposférica día 38

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



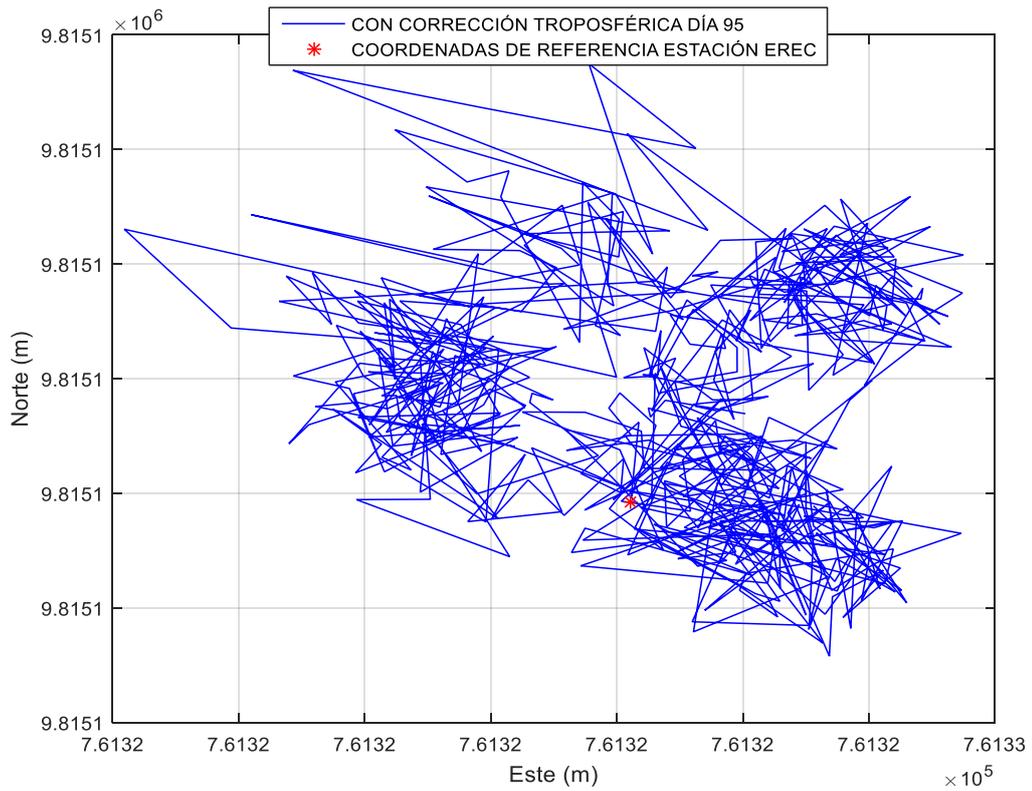
**Gráfico 11-4** Con corrección troposférica día 39

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



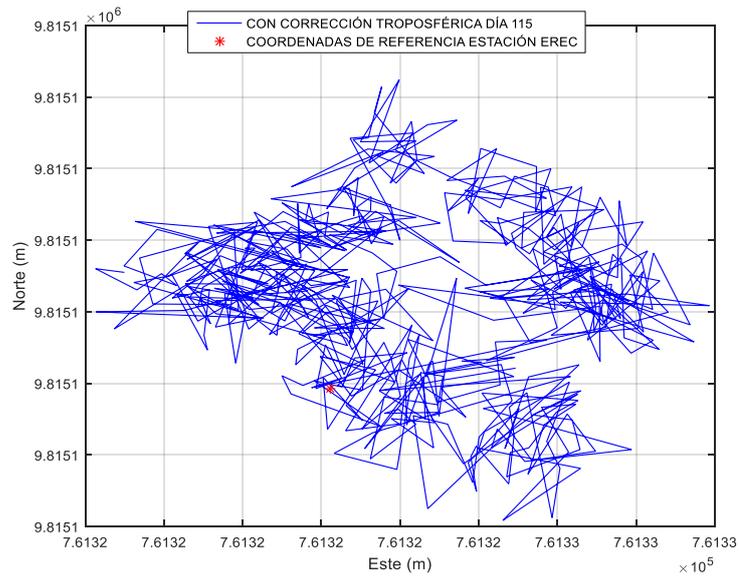
**Gráfico 12-4** Con corrección troposférica día 94

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 13-4** Con corrección troposférica día 95

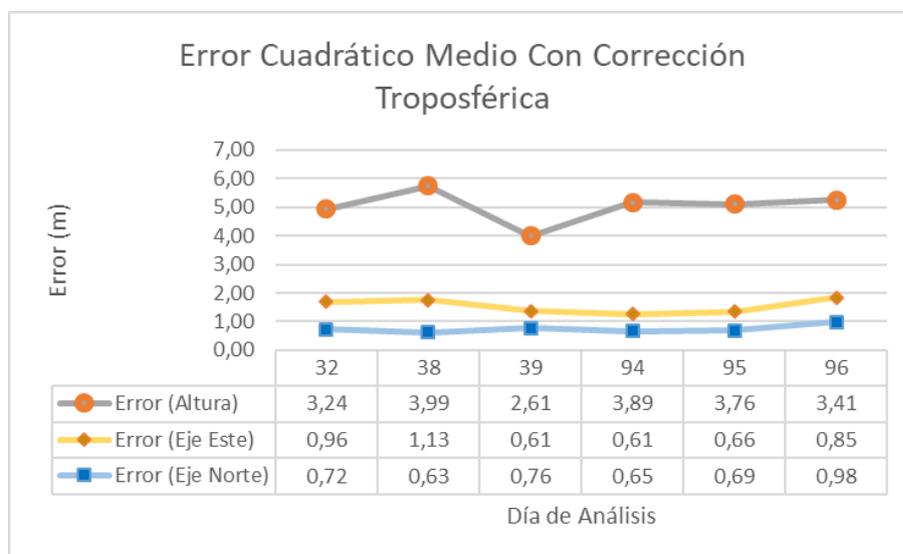
Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 14-4.** Con corrección troposférica día 115

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

Las variaciones existentes aplicando el modelo de corrección troposférica disminuyen con respecto a las variaciones existen sin la aplicación de ningún modelo, siendo que la medida de la altitud es la que mayor mente varía con valores que fluctúan entre los 2.797,9966 y 2.810,1481 metros sobre el nivel del mar siendo el día de observación 94 a las 16:19:00 el punto dónde mayor fluctuación existe con una variación de 8,8 metros mientras que el día 32 a las 08:00:00 no registran variación alguna con respecto a la altitud de referencia. Los errores cuadráticos medios de los valores corregidos con respecto a los valores referenciales están expresados en el gráfico 15-4.



**Gráfico 15-4** Registro de error cuadrático medio con corrección troposférica

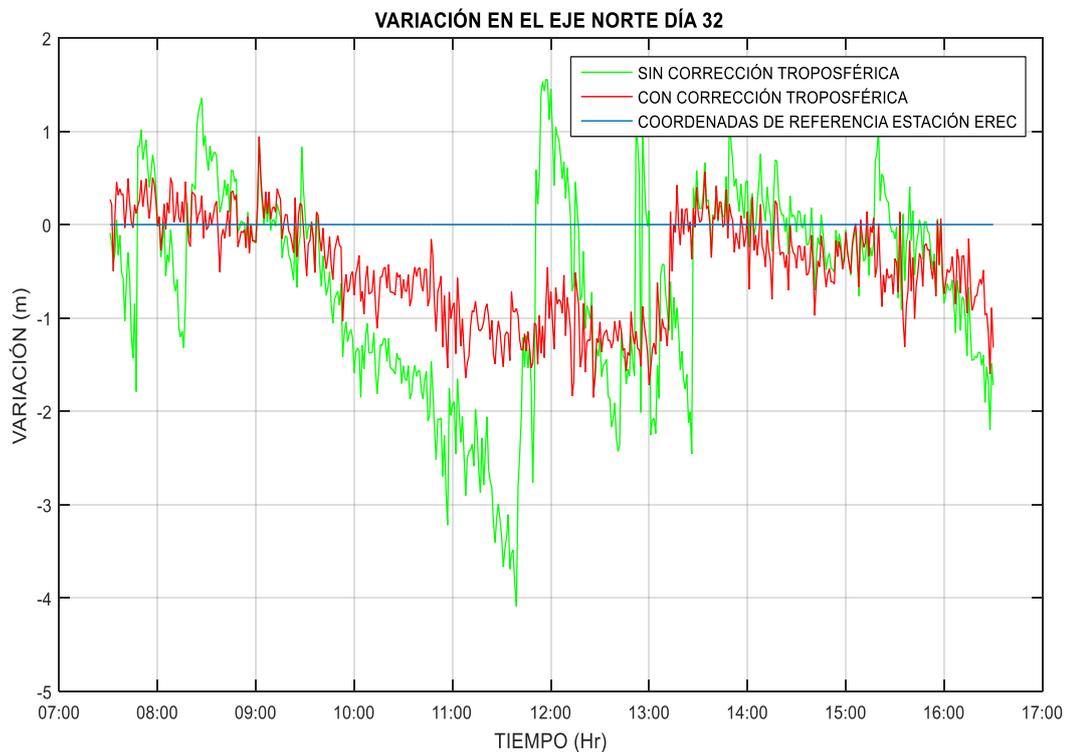
**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

Al comparar los datos del error cuadrático medio sin corrección gráfico 8-4 y con corrección troposférica gráfico 15-4, se evidencia que existe una reducción significativa que va en el orden del 50% en el eje Norte, el 37% de reducción en el eje Este y del 74% en la altura.

#### 4.6 Análisis de resultados

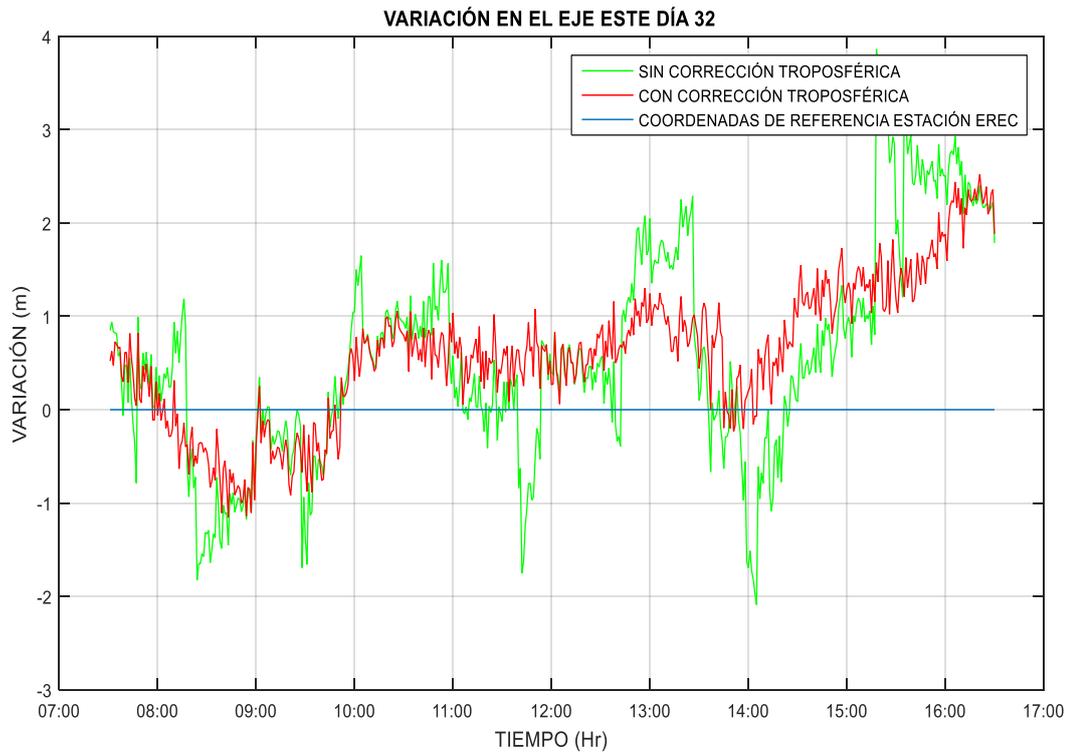
La variación existente de los valores medidos sin aplicación de modelo de corrección troposférica y los que cuentan con una corrección troposférica es significativamente mayor con respecto a la referencia como se evidencia en los gráficos detallados a continuación.

Los datos con corrección troposférica en color rojo se acercan más a los datos referenciales en los tres ejes medidos para cada toma eje Norte, eje Este y altura que los datos sin corrección troposférica línea en color verde.



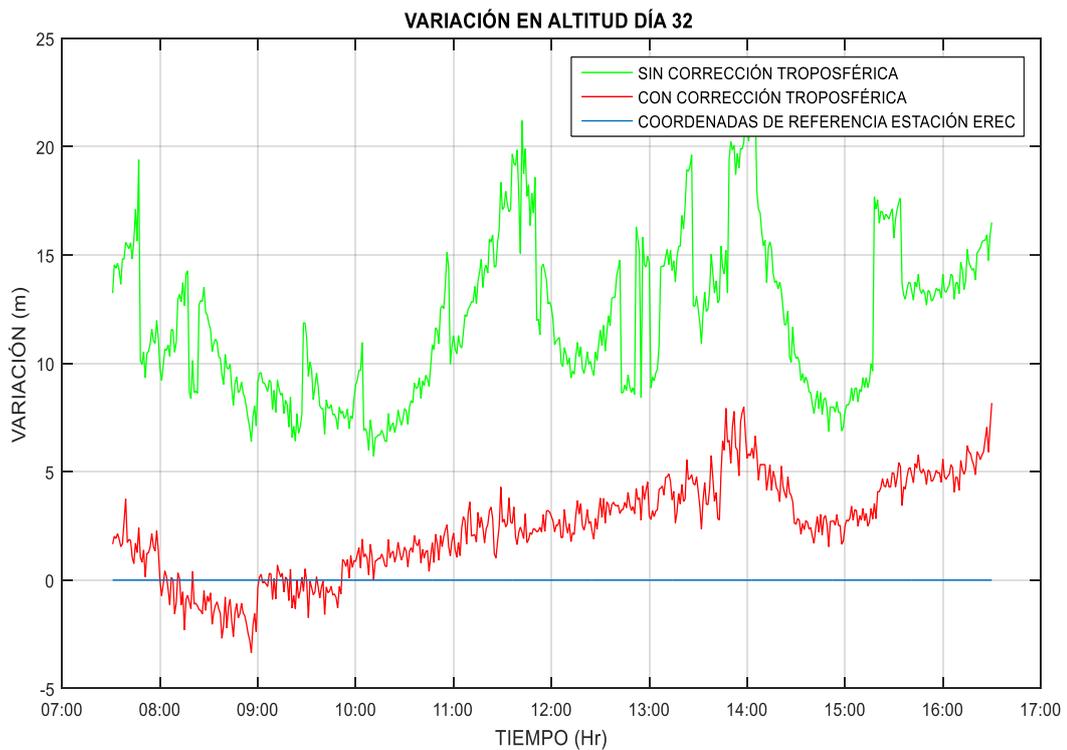
**Gráfico 16-4** Variación eje Norte día 32

laborado: Álvarez Jhonny, 2018



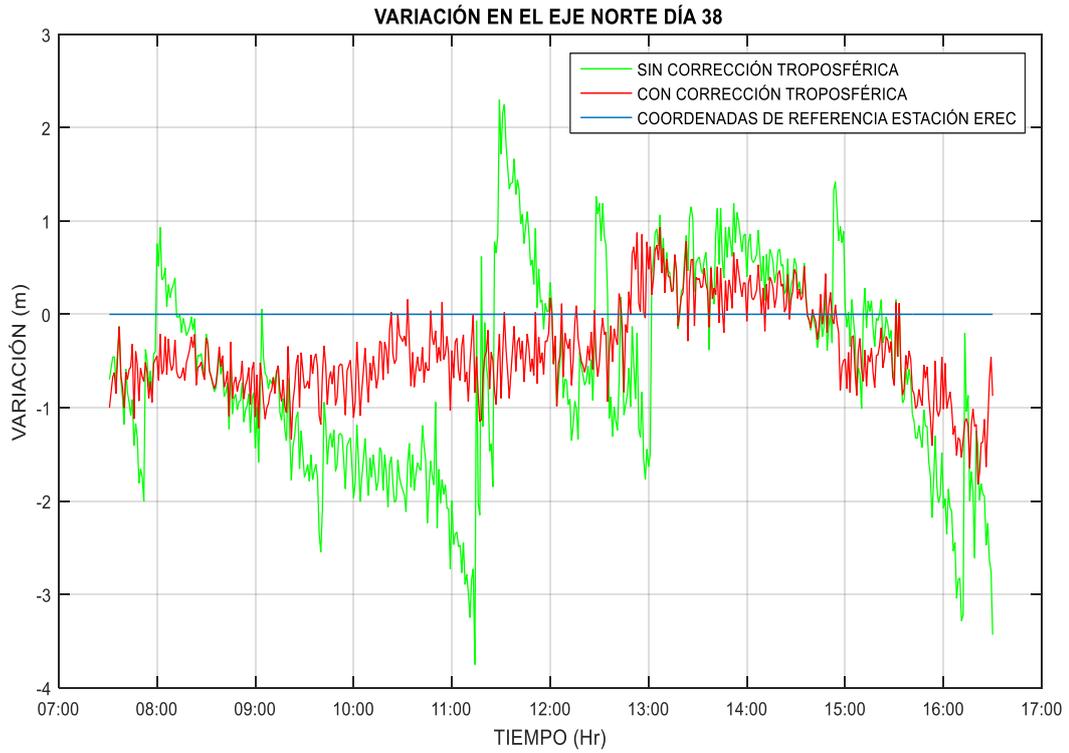
**Gráfico 17-4** Variación eje Este día 32

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



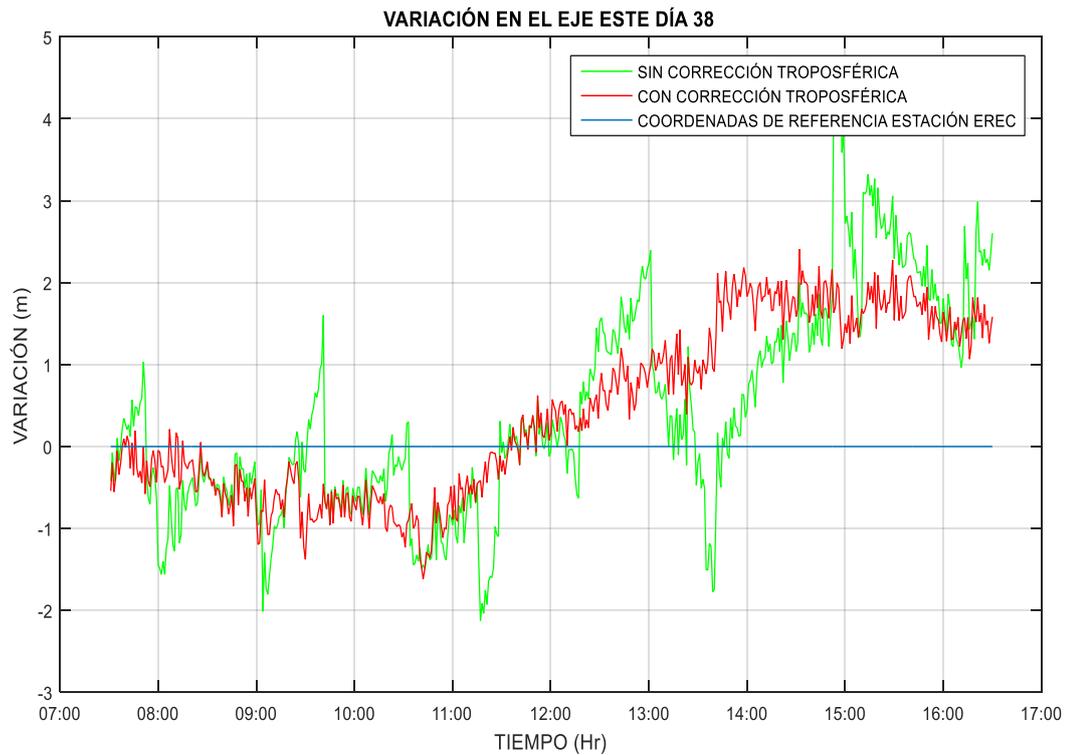
**Gráfico 18-4** Variación altura día 32

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



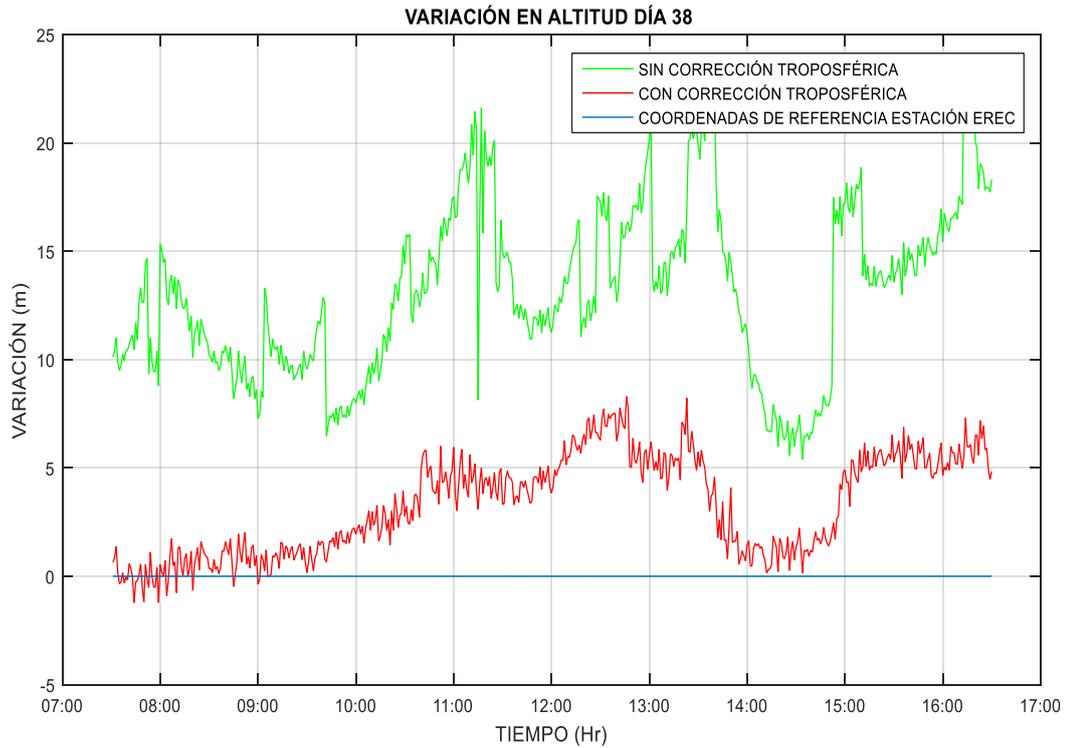
**Gráfico 19-4** Variación eje Norte día 38

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



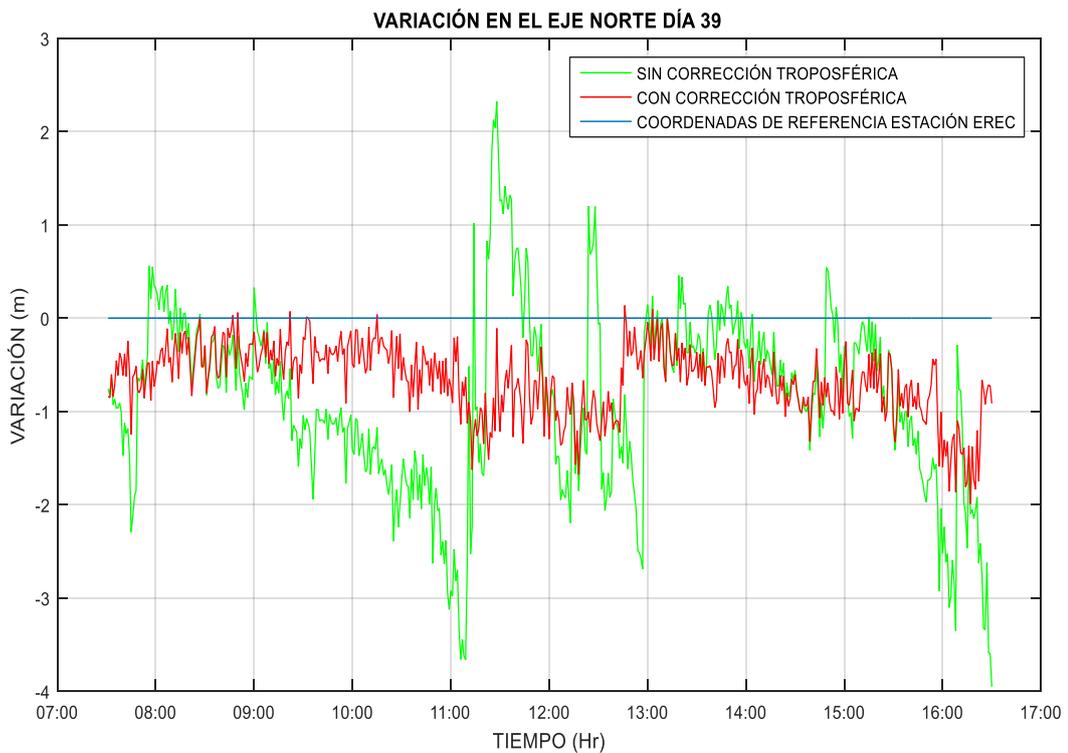
**Gráfico 20-4** Variación eje Este día 38

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



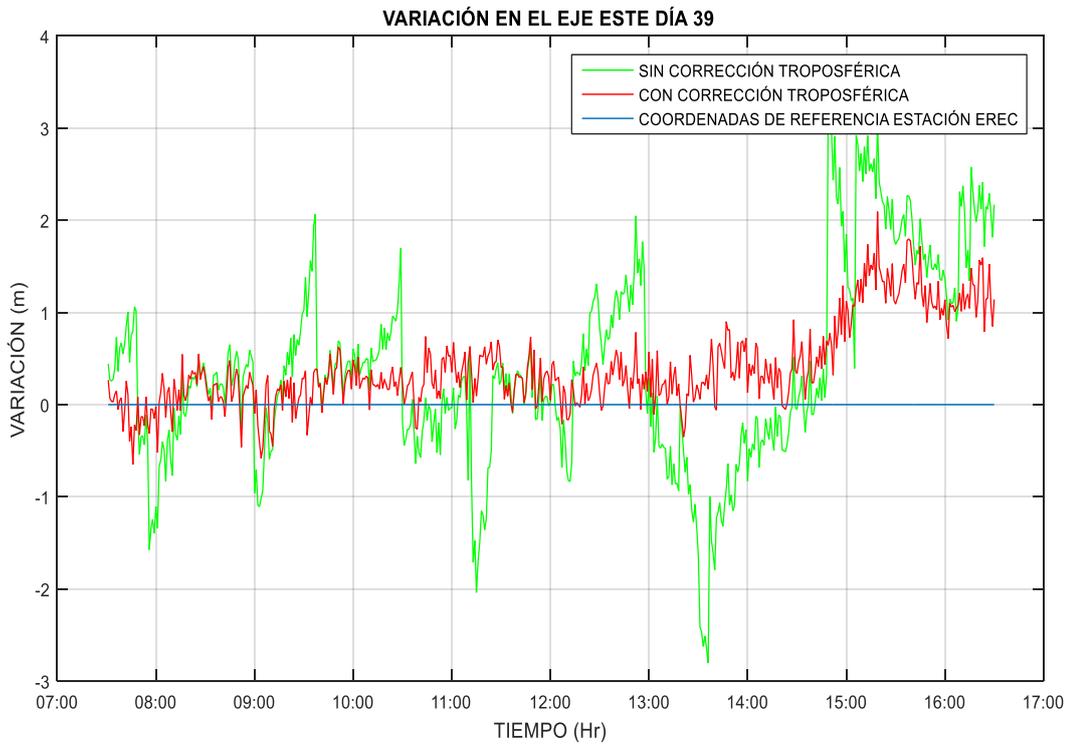
**Gráfico 21-4** Variación altura día 38

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



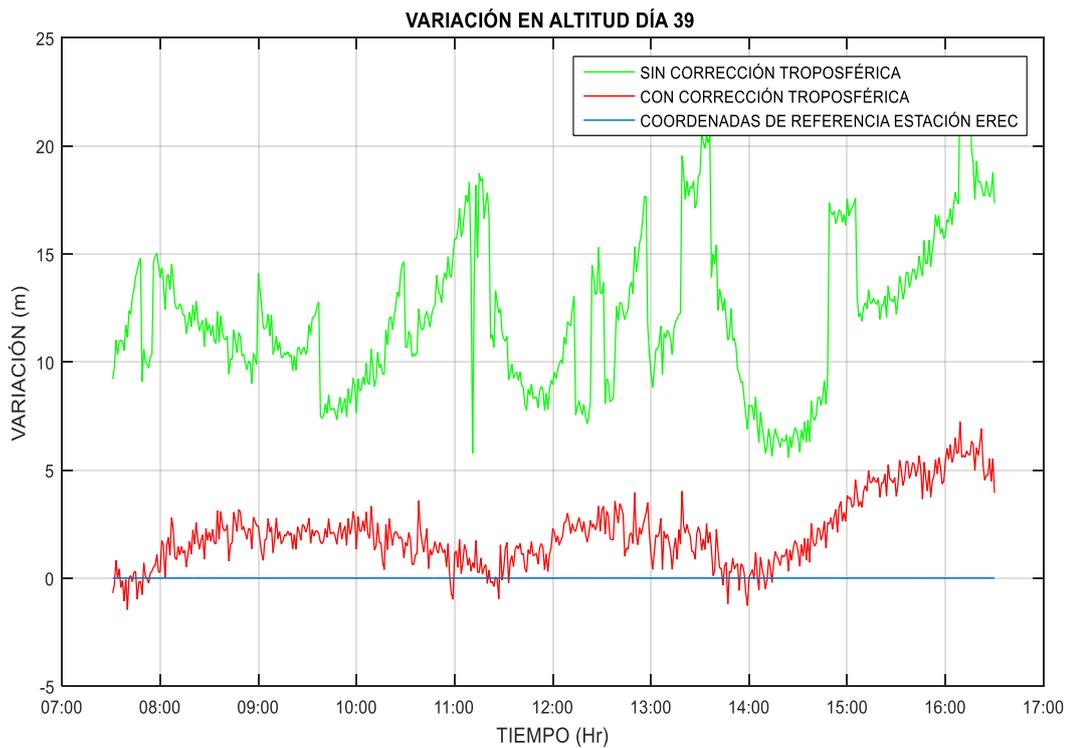
**Gráfico 22-4** Variación eje Norte día 39

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



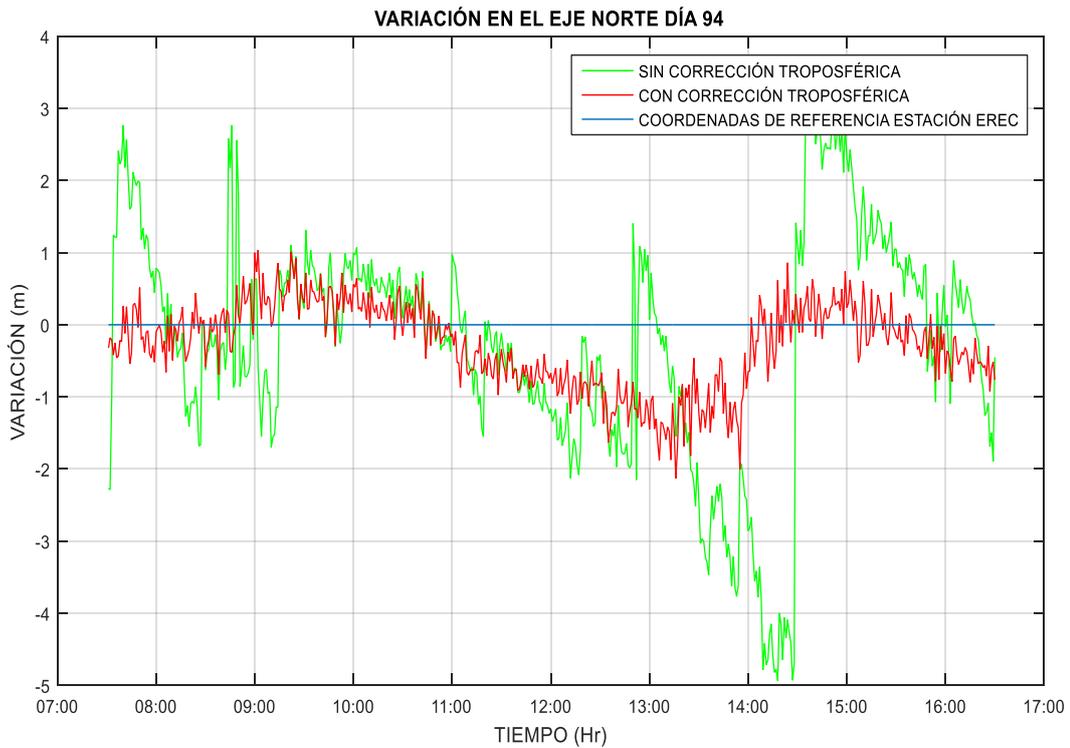
**Gráfico 23-4** Variación eje Este día 39

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



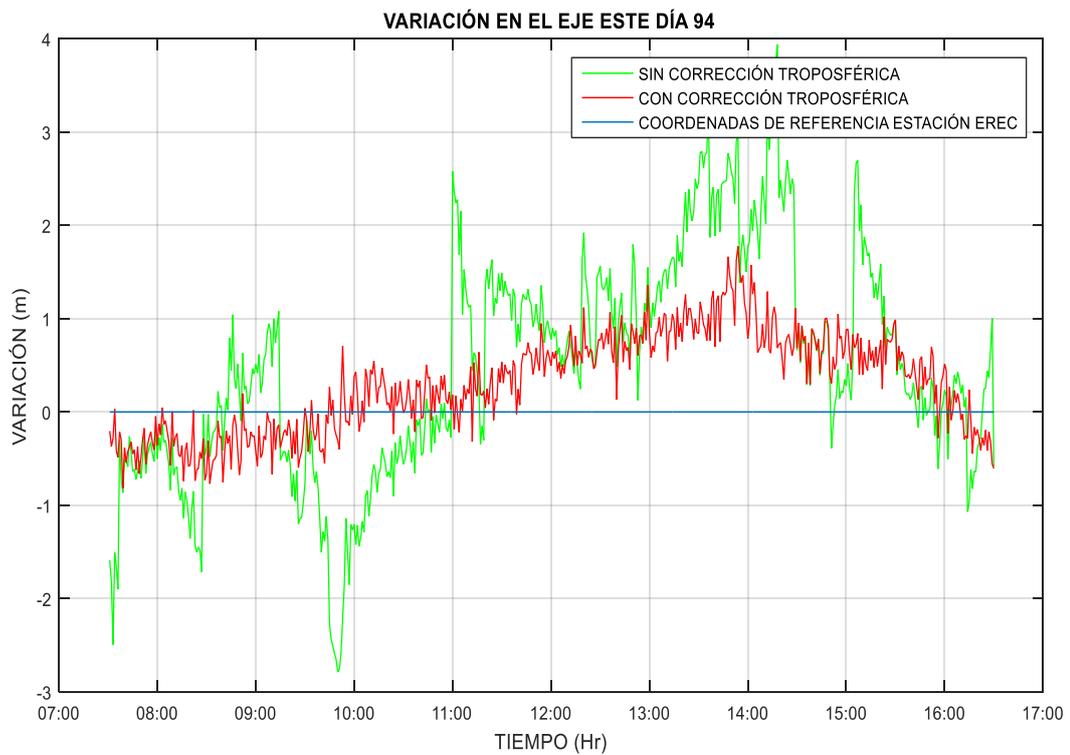
**Gráfico 24-4** Variación altura día 39

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



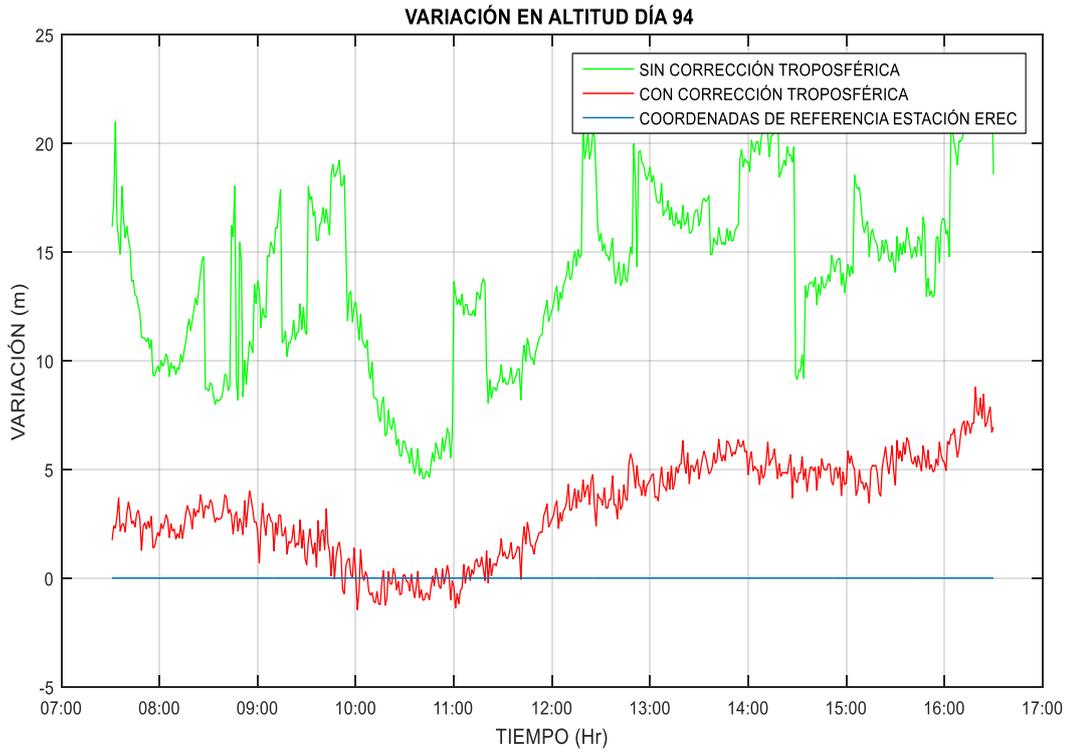
**Gráfico 25-4** Variación eje Norte día 94

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



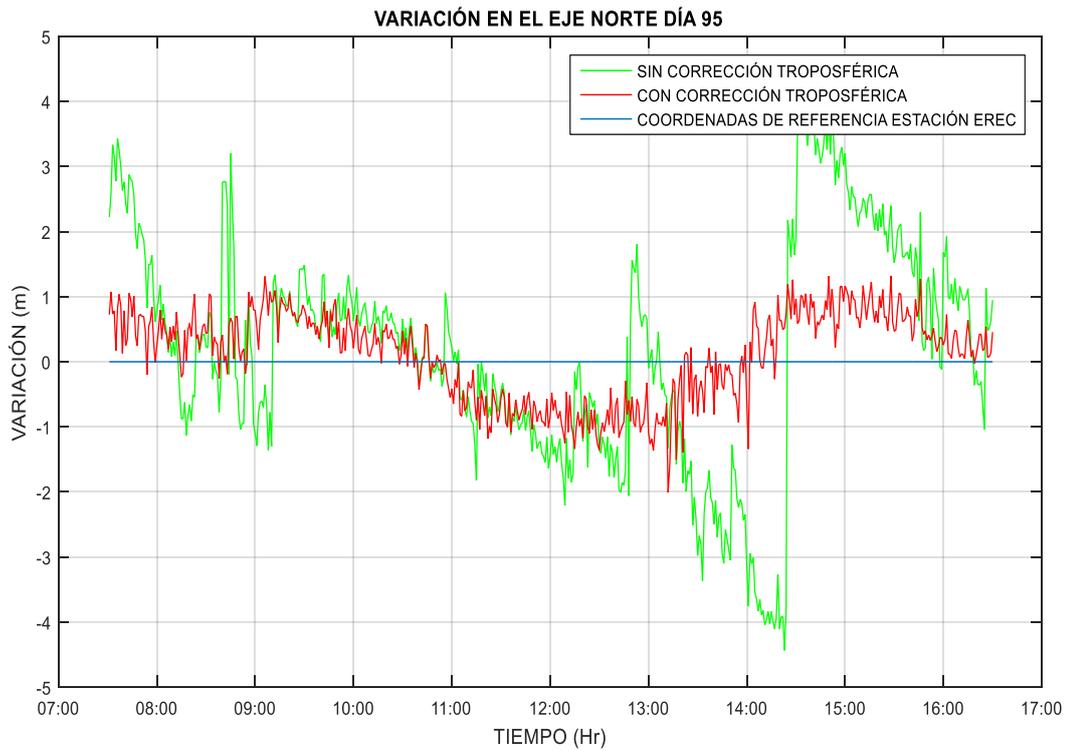
**Gráfico 26-4** Variación eje Este día 94

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



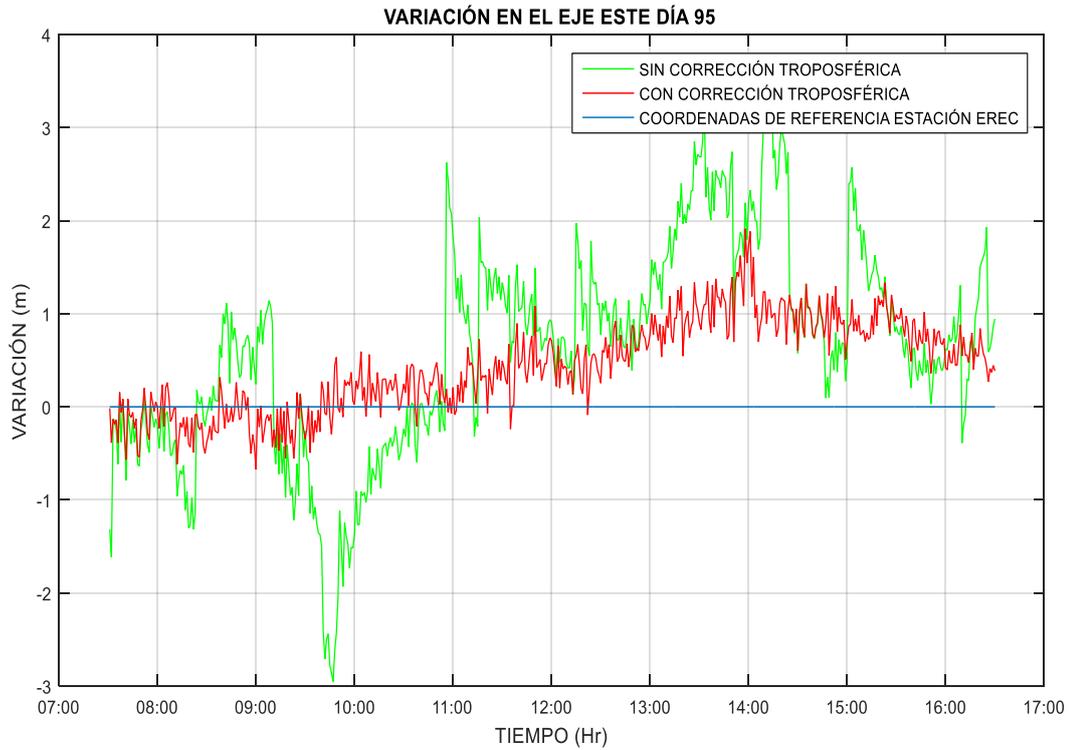
**Gráfico 27-4** Variación altura día 94

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



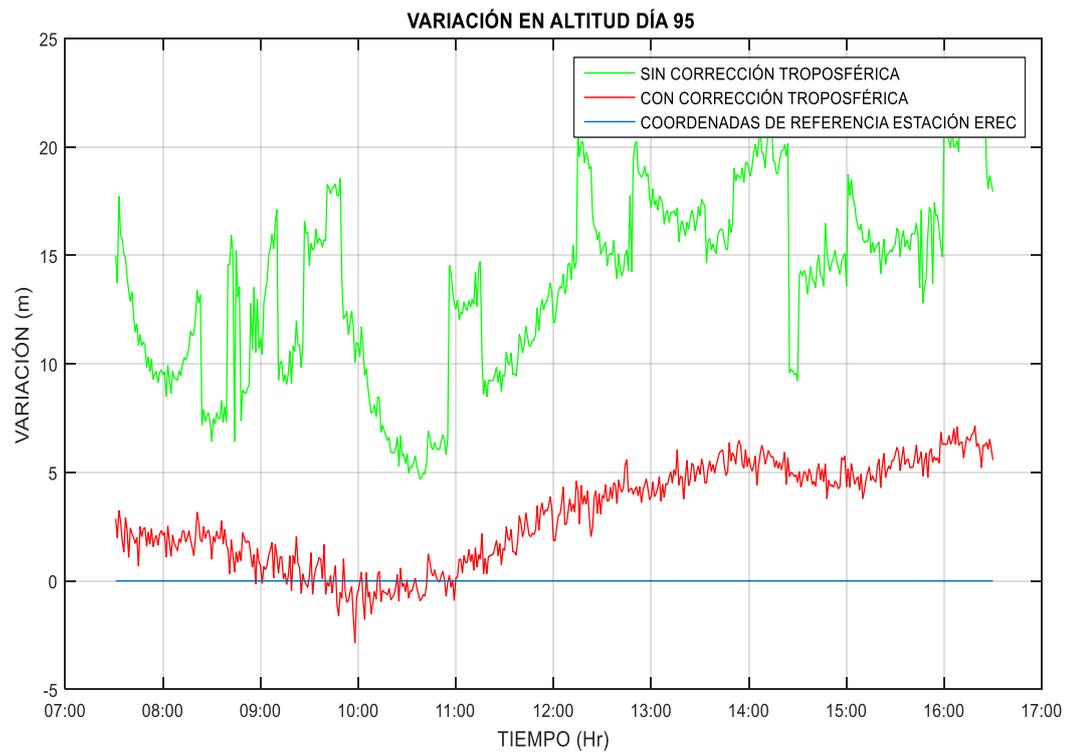
**Gráfico 28-4** Variación eje Norte día 95

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



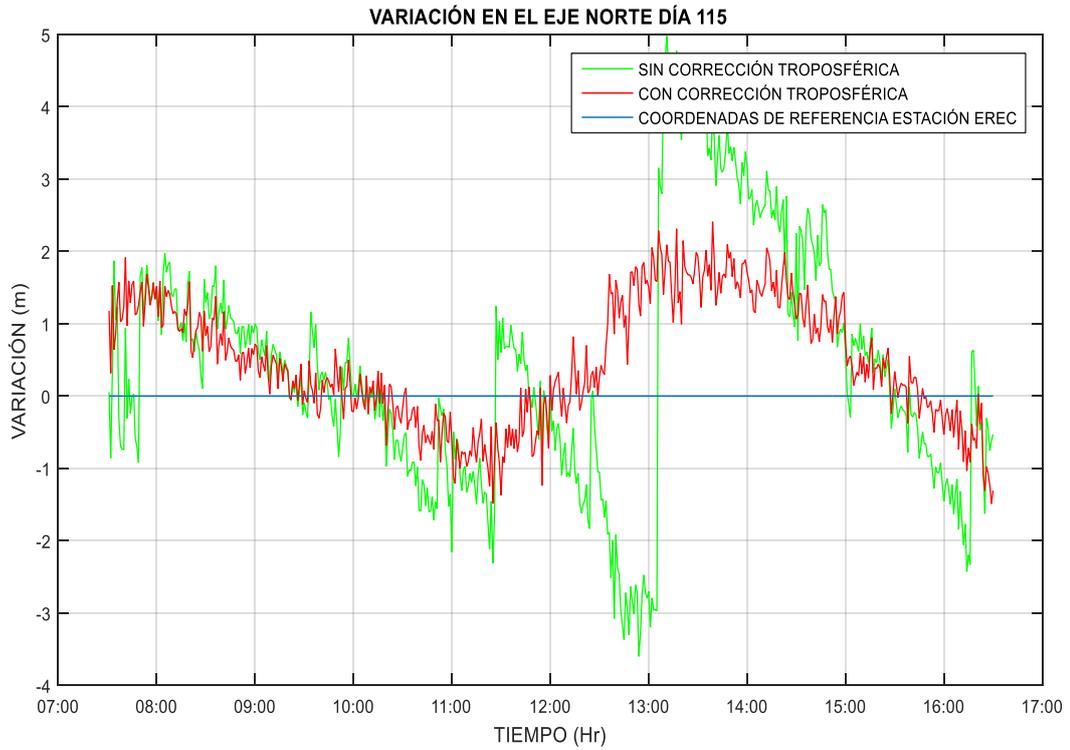
**Gráfico 29-4** Variación eje Este día 95

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



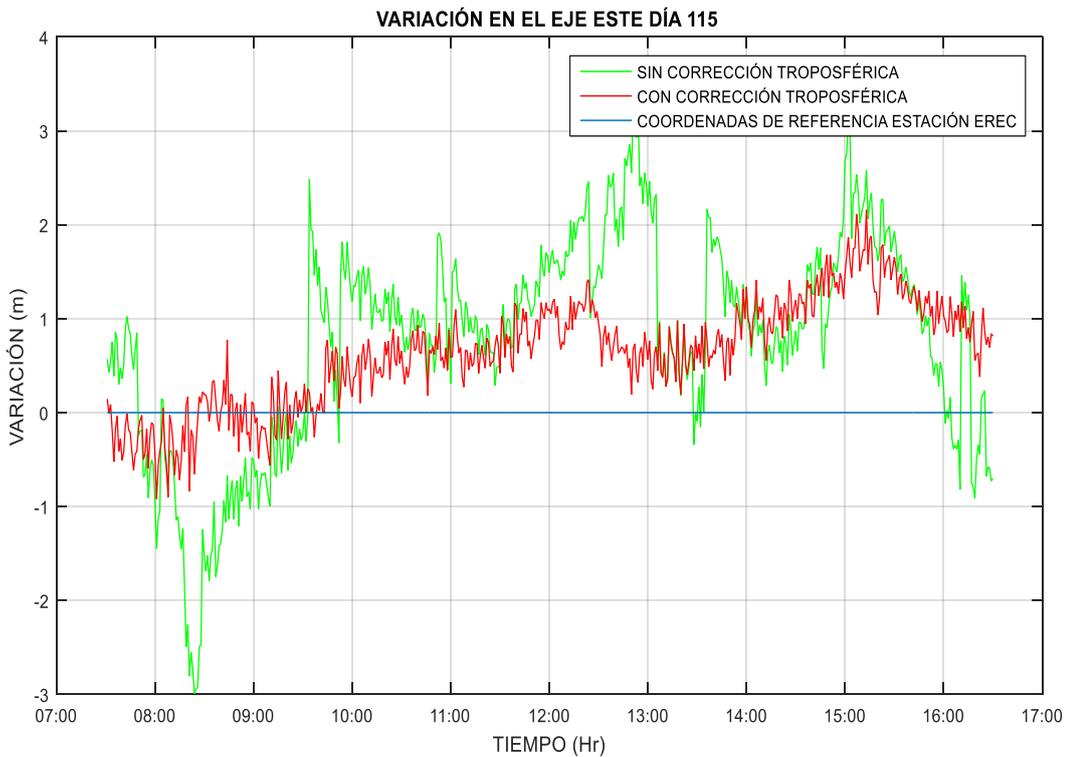
**Gráfico 30-4** Variación altura día 95

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



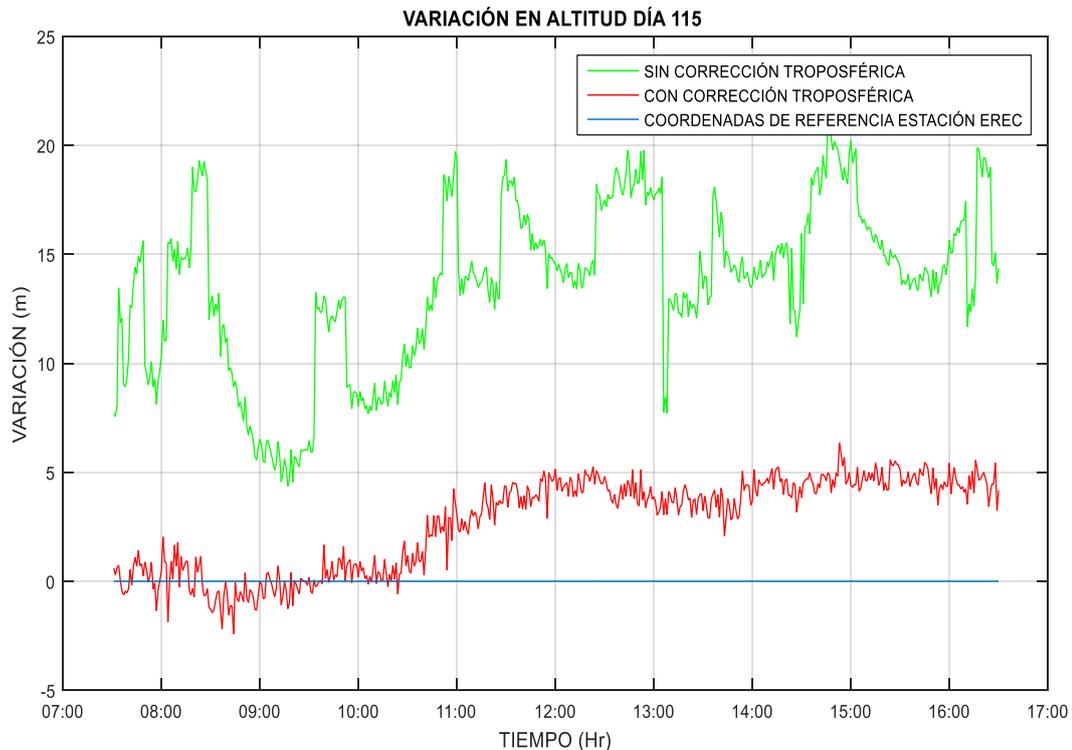
**Gráfico 31-4** Variación eje Norte día 115

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 32-4** Variación eje Este día 115

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018



**Gráfico 33-4** Variación altura día 115

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

Al no existir ningún tipo de modelo de corrección troposférica como se puede observar en los gráficos 18-4, 21-4, 24-4, 27-4 30 4 y 33-4 la variación más grande es en la altitud de la estación de observación registrando un pico máximo de 23,45 metros de variación con respecto a la altitud referencial.

El día 115 tiene el pico más alto con lo que respecta a la variación en el eje Norte misma que bordea los 5 metros gráfico 31-4, mientras que en lo que respecta a la variación sobre el eje Este se registra el día 38 con un pico de 4.6 metros como indica el gráfico 20-4.

Con los modelos de corrección troposférico se reduce notablemente, llegando a reducir las variaciones en casi un 70% lo que reduce los errores en la precisión de la estación de observación.

#### **4.7 Comprobación de la hipótesis**

La determinación de la veracidad o no de las hipótesis científicas en base a lo observado por el investigador, se debe someter estas a ciertas pruebas que permitan argumentar si tiene o no apoyo de acuerdo a los datos obtenidos en la investigación:

**H<sub>0</sub>:** Mediante las pruebas realizadas no será posible analizar el impacto de la tropósfera sobre la precisión en el posicionamiento del receptor GPS.

**H<sub>1</sub>:** Mediante las pruebas realizadas será posible analizar el impacto de la tropósfera sobre la precisión en el posicionamiento del receptor GPS.

#### 4.7.1 Variables

**Tabla 3-4** Operacionalización conceptual de variables

VARIABLES	TIPO	CONCEPTO
Evaluación del retardo troposférico	Independiente	Procedimiento matemático que permiten estimar el retraso troposférico, con la aplicación del modelo de corrección troposférica Saastamoinen
Error cuadrático medio en el posicionamiento del receptor GPS estático.	Dependiente	Parámetros de ubicación geográfica de la posición del receptor GPS.

**Elaborado:** Álvarez Jhonny, 2018

#### 4.7.2 Población

La población es el conjunto de datos a ser evaluados y en la presente investigación la conforman los archivos Observacionales RINEX de la estación EREC y son 6.

#### 4.7.3 Procedimientos generales

Los métodos utilizados en la presente investigación:

**Método:** comparativo – experimental

**Técnicas:** experimentos y pruebas.

#### 4.7.4 Instrumentos de recolección de datos

Por naturaleza de la investigación, el instrumento más apropiado para la recolección de datos fueron la comparación de los datos antes y después de la aplicación del modelo de corrección troposférica Saastamoinen de cada día de observación de acuerdo a las condiciones climatológicas, Mediante el soporte de la herramienta informática RTKLIB y MATLAB.

De igual forma se comparó los datos con corrección troposférica y sin corrección troposférica en relación a los datos referenciales de la Estación EREC.

#### 4.7.5 *Procesamiento de la información*

Para el análisis de los datos y la comprobación de hipótesis, se determinan las variables dependientes e independientes con sus indicadores correspondientes. Se analiza los parámetros de ubicación geográfica de la posición del receptor GPS.

#### 4.7.6 *Prueba de hipótesis*

Una hipótesis científica se apoya o se niega sometiénola a pruebas que se apoyen en los datos obtenidos en la investigación. Los límites de confianza se determinan mediante la realización de pruebas estadísticas, uno de estos métodos estadísticos es el chi-cuadrado ( $X^2$ ), prueba que permite calcular la probabilidad de obtener resultados que únicamente se desvíen de las expectativas por efecto del azar en los indicadores de investigación observados, siempre que la solución a un problema sea correcta.

Para la presente investigación se utilizó la siguiente fórmula para la determinación del valor de Chi-cuadrado:

$$x^2 = \text{Chi} - \text{Cuadrado}$$
$$\sum_i = \frac{(\text{observada}_i - \text{esperada}_i)^2}{\text{esperada}_i}$$
$$x^2 = \sum \left( \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right)$$

**Ecuación 2-4**

**Fuente:** (Aylmer Fisher)

Dónde:

- $f_o$  = frecuencia observada de realización de un acontecimiento determinado
- $f_e$  = frecuencia esperada

#### 4.6.7 *Grados de libertad*

Corresponde al número de categorías o clases que existe. Se lo calcula mediante:

$$gl = (\#filas - 1)(\#columnas - 1)$$
$$gl = (6 - 1)(3 - 1)$$
$$gl = 15$$

**Ecuación 3-4**

**Fuente:** (Aylmer Fisher)

#### 4.7.8 Valor crítico

El valor de Chi-cuadrado calculado, en base a los grados de libertad ecuación 3-4 y el nivel de confiabilidad el cual generalmente es 0,05% para determinar el valor de la probabilidad. Si la probabilidad es alta se considera que los datos están de acuerdo con la solución, lo cual no prueba que la solución sea correcta, sino que simplemente no se puede demostrar que sea incorrecta. Este valor se lo extrae de la tabla de chi-cuadrado, el cual corresponde al valor de intersección de los grados de libertad y el nivel de confiabilidad siendo este igual a 24,99.

**Tabla 4-4:** Tabla de chi-cuadrado

Grados libertad	Probabilidad de un valor superior - Alfa ( $\alpha$ )				
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005
1	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60
3	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84
4	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86
5	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75
6	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76
12	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	22,31	24,99	27,49	30,58	32,80
16	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	24,77	27,59	30,19	33,41	35,72
18	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
20	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00

Fuente: (Aylmer Fisher)

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

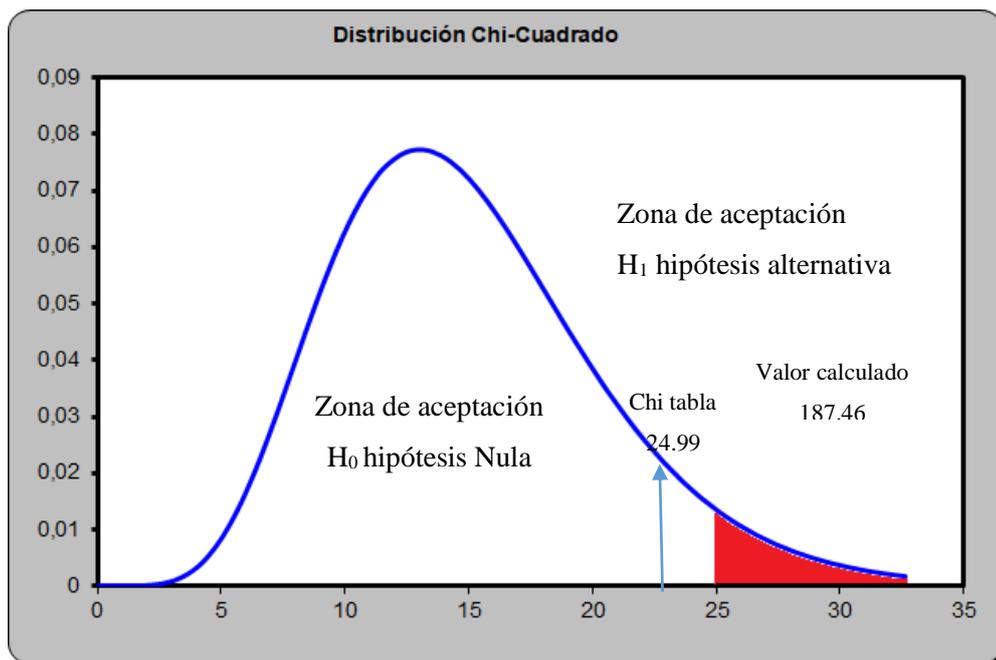
Para la obtención del Chi – cuadrado se aplica la ecuación 2-4 a los datos de error cuadrático medio sin corrección troposférica considerándolos como datos obtenidos y a los datos con corrección troposférica como los datos esperados.

**Tabla 5-4:** Tabla de chi-cuadrado calculado para el caso de estudio

ERROR CUADRÁTICO MEDIO						$(f_0 - f_e)$			$(f_0 - f_e)^2/f_e$		
SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA			CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA								
ALTURA	EJE ESTE	EJE NORTE	ALTURA	EJE ESTE	EJE NORTE	ALTURA	EJE ESTE	EJE NORTE	ALTURA	EJE ESTE	EJE NORTE
12,45	1,27	1,25	3,24	0,96	0,72	9,21	0,31	0,53	26,18	0,10	0,39
13,66	1,35	1,25	3,99	1,13	0,63	9,67	0,22	0,62	23,44	0,04	0,61
12,57	1,12	1,32	2,61	0,61	0,76	9,96	0,51	0,56	38,01	0,43	0,41
14,45	1,28	1,63	3,89	0,61	0,65	10,56	0,67	0,98	28,67	0,74	1,48
14,39	1,3	1,75	3,76	0,66	0,69	10,63	0,64	1,06	30,05	0,62	1,63
14,14	1,36	1,75	3,41	0,85	0,98	10,73	0,51	0,77	33,76	0,31	0,61
									180,11	2,23	5,12

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Siendo que el valor Chi cuadrado  $X^2 = 180.11$  para la altura,  $X^2 = 2.23$  para el eje Este,  $X^2 = 5.12$  para el eje Norte y que la unión de los tres ejes determina la precisión del posicionamiento la sumatoria de los chi-cuadrado de cada eje es 187,46 mismo que es superior valor crítico que es 24.99, como se observa en la figura 7-4 la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa.



**Figura 7-4.** Distribución Chi-Cuadrado

Elaborado: Álvarez Jhonny, 2018

Concluyendo que con las pruebas realizadas es posible analizar el impacto de la tropósfera sobre la precisión en el posicionamiento der receptor GPS.

## CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos durante los 6 días de observación de acuerdo con los datos meteorológicos obtenidos de presión atmosférica, humedad relativa y temperatura, permitió calcular el retardo troposférico para cada época, mismo con el que se aplicó el modelo troposférico.
- La variación de las precisiones obtenidas para cada día de análisis, fueron variando conforme a los valores de humedad relativa, temperatura y presión atmosférica. Con el modelo troposférico evaluado, se pudo apreciar que, si la estación de observación cuenta con datos meteorológicos adecuados, se reduce considerablemente el error al realizar corrección.
- Las mayores variaciones se presentan en el valor de la altitud que con el pos procesamiento de los datos con un modelo de corrección troposférico adecuado puede reducirse el índice de error hasta en un 70 %.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar otros estudios durante diferentes temporadas del año, buscando que haya condiciones atmosféricas diferentes, para analizar cómo el comportamiento de la tropósfera afecta de acuerdo a la temporada, las precisiones en el posicionamiento GPS.
- Para el posicionamiento señales GPS que requieren buena precisión, se recomienda que se utilicen los valores por defecto de humedad relativa, presión atmosférica y temperatura, para los modelos troposféricos en el software RTKLIB.
- Para que los resultados sean óptimos es recomendable utilizar datos meteorológicos de estaciones que se encuentren lo más cercano posible a la estación de observación GNSS con lo que se realiza un procesamiento de datos GPS de mucha precisión y calidad.

## **GLOSARIO**

<b>CCIR</b>	Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones
<b>EERSA</b>	Empresa Eléctrica Riobamba SA
<b>EREC</b>	Estación EERSA RIOBAMBA
<b>GLONASS</b>	Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite
<b>GMT</b>	Hora Media de Greenwich
<b>GNSS</b>	Sistema Global de Navegación por Satélite
<b>GPS</b>	Sistemas de Posicionamiento Global
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>ITRF08</b>	Sistema de Referencia Terrestre Internacional 2008
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>NMEA</b>	Asociación Nacional de Electrónica Marina
<b>NPS</b>	Panel de Sistemas de Navegación
<b>PPS</b>	Servicios de Posicionamiento Preciso
<b>REGME</b>	Red GNSS De Monitoreo Continuo Del Ecuador
<b>RINEX</b>	Formato de Intercambio Independiente orientado para almacenar
<b>SERB</b>	Identificativo Aeropuerto Riobamba Ecuador
<b>SIPA</b>	Sistema De Información Pública Agropecuaria
<b>SPS</b>	Servicio de Posicionamiento Estándar
<b>UTC</b>	Tiempo universal coordinado
<b>UTM</b>	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
<b>ZTD</b>	Retraso Total del Cenit

## BIBLIOGRAFÍA

- Aylmer Fisher, R. (s.f.). *Tema 3. El estadístico Chi-cuadrado y contrastes asociados*. Obtenido de ANÁLISIS DE DATOS EN PSICOLOGÍA: <http://www.ugr.es/~analisisdedatos/webcurso/leccion/leccion3/apuntes.doc>
- Berné Valero, J. L. (2014). *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. VALÈNCIA: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70627/TOC-Bern%C3%A9%3BAnquela%3BGarrido%20-%20GNSS.%20GPS%3A%20FUNDAMENTOS%20Y%20APLICACIONES%20EN%20GEOM%C3%81TICA.pdf?sequence=2>
- Casero, J. A. (31 de 10 de 2009). *El PLANETA TIERRA*. Obtenido de [http://almez.pntic.mec.es/~jmac0005/ESO\\_Geo/TIERRA/Html/Oceanos.htm](http://almez.pntic.mec.es/~jmac0005/ESO_Geo/TIERRA/Html/Oceanos.htm)
- CIAT . (MARZO de 2007). Obtenido de CGIAR: [ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS\\_Modulo.pdf](ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS_Modulo.pdf)
- Espinal, L. (2012). *Estudio de los efectos troposféricos en la precisión de mediciones GPS en el Suroccidente Colombiano*. Cali: UNIVERSIDAD DEL VALLE. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7787/1/GPS.pdf>
- Garcia, D. (2008). *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)*. Madrid.
- Garrido Villén, N. (11 de Abril de 2016). *Researching GNSS and Real Estate delimitation*. Obtenido de Investigando sobre GNSS y delimitación de la propiedad: <https://nagarvil.webs.upv.es/errores-atmosfericos-gnss-gps/>
- Manzano, G. (2003). *Desarrollo de una metodología de actualización discreta de la cartografía catastral mediante la integración de técnicas GPS y SIG: Aplicación al catastro de Rústica en el T. M. de Nijar (Almeria)*. España. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=TRpSAQAQAQBAJ&pg=PA19&lpg=PA19&dq=Desarrollo+de+una+metodolog%C3%ADa+de+actualizaci%C3%B3n+discreta+de+la+cartograf%C3%ADa+catastral+mediante+la+integraci%C3%B3n+de+t%C3%A9cnicas+GPS+y+SIG:+Aplicaci%C3%B3n+al+catastro+d>
- Manzano, R. (2014). *ANÁLISIS ESPECTRAL DEL EFECTO TROPOSFÉRICO EN LA SEÑAL GPS*. Mexico.
- Meteored*. (junio de 2018). Obtenido de Meteored: [https://www.meteored.com.ec/tiempo-en\\_Riobamba-America+Sur-Ecuador-Chimborazo--1-20215.html?d=historico](https://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Riobamba-America+Sur-Ecuador-Chimborazo--1-20215.html?d=historico)
- Molina, P. (2013). *Simulación Numérica de un problema de contaminación atmosférica*. Madrid. Obtenido de [http://oa.upm.es/30472/1/PEDRO\\_MOLINA\\_JIMENEZ.pdf](http://oa.upm.es/30472/1/PEDRO_MOLINA_JIMENEZ.pdf)

- Munich, X. (2011). *Estudio sobre la influencia de los modelos troposféricos en observaciones GNSS*. España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25479/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Olmedillas, J. (2012). *Introducción a los sistemas de navegación por satélite*. España: UOC. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/231773657/Introduccion-a-Los-Sistemas-de-Navegacion-Por-Satelite>
- Perdiguer, R. (2008). Estrategias de cálculo del retardo troposférico y su influencia en procesamiento GPS de alta precisión. *Asemblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, 15 - 20. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10261/23301>
- Sanchez, A., Perez, A., Jigena, B., Fernandez, J., & Páez, R. (s.f.). *LABORATORIO DE ASTRONOMÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA*. Obtenido de SISTEMAS GNSS: [http://lagc.uca.es/web\\_lagc/docs/curso\\_rap/Presentacion\\_II.pdf](http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf)
- SAPUCCI, L. F. (2005). *ESTIMATIVAS DO IWW UTILIZANDO*. Presidente Prudente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11449/100933>
- Solís, L., & López, J. (2013). *Principios básicos de contaminación*. México. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=pKP2BHi8FVsC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=Principios+b%C3%A1sicos+de+contaminaci%C3%B3n+solis&source=bl&ots=4Z37\\_-kdp7&sig=wY6BUHPGbKJIDUr3MDOrH\\_425kI&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjJt4qcmOnfAhVMMqwKHYwVD7YQ6AEwB3oECAIQAQ#v=onepage&q](https://books.google.com.ec/books?id=pKP2BHi8FVsC&pg=PP1&lpg=PP1&dq=Principios+b%C3%A1sicos+de+contaminaci%C3%B3n+solis&source=bl&ots=4Z37_-kdp7&sig=wY6BUHPGbKJIDUr3MDOrH_425kI&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjJt4qcmOnfAhVMMqwKHYwVD7YQ6AEwB3oECAIQAQ#v=onepage&q)
- Tiupul, C. (2018). *BOLETIN MENSUAL ESTACION METEREOLÓGICA*. RIOBAMBA: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, ESTACION METEREOLÓGICA. Obtenido de [https://www.esPOCH.edu.ec/index.php/component/k2/item/download/567\\_847b346f91c47d9a3cbbccf0efd19b5c.html](https://www.esPOCH.edu.ec/index.php/component/k2/item/download/567_847b346f91c47d9a3cbbccf0efd19b5c.html)
- Trimble NetR9 Geospatial*. (2018). Obtenido de <https://www.al-top.com/producto/trimble-netr9-geospatial/>
- Velasquez, S. (2010). <http://www.catalonia.org>. Obtenido de Facultat de Nàutica de Barcelona: [http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_06/GPS\\_Lleccion\\_01/GPS\\_Lleccion\\_01.htm](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_06/GPS_Lleccion_01/GPS_Lleccion_01.htm)
- Wackerly, D., & Scheaffer, W. (2008). *Mathematical Statistics with Applications (7 edición)*. Belmont, CA, USA: Thomson Higher Education. Obtenido de [https://www.cimat.mx/ciencia\\_para\\_jovenes/bachillerato/libros/\[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer\]Estadistica\\_Matematica\\_con\\_Aplicaciones.pdf](https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/[Wackerly,Mendenhall,Scheaffer]Estadistica_Matematica_con_Aplicaciones.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO A Ficha técnica descriptiva de la estación EERSA Riobamba –EREC



Ministerio  
de Defensa  
Nacional



Comando Conjunto  
de las Fuerzas  
Armadas



Ejército  
Ecuatoriano



Instituto  
Geográfico  
Militar

REGME - EREC



## REGME

### RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA - EREC

#### 1. FORMULARIO

Preparado:	Equipo Técnico REGME – CEPGE
Revisado:	Tnte de E Christian Barahona
Fecha de actualización:	12 de junio de 2017
Versión:	10.1

#### RESOLUCIÓN VIGENTE N° IGM-2016-005-e-1, NOTA ACLARATORIA:

- SE GARANTIZA LA CONSISTENCIA DE LAS COORDENADAS SIRGAS 95 DE LA REGME (COORDENADAS PRE-SISMO), HASTA EL 15 DE ABRIL DE 2016.
- SE GARANTIZA LA CONSISTENCIA DE LAS NUEVAS COORDENADAS POST-SISMO, A PARTIR DEL 17 DE ABRIL DE 2016. ESTAS COORDENADAS ESTAN AJUSTADAS AL ITRF 08, EPOCA DE REFERENCIA 2016.4.

#### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES GNSS

Nombre de la Estación:	Riobamba Ecuador
Identificación de la Estación:	EREC
Código Internacional:	42037M001 (IERS DOMES NUMBER)
Log File vigente:	<a href="http://erec_20130710.log">erec_20130710.log</a>
Protocolo de acceso a datos REGME:	<a href="http://www.geoportaliqm.qob.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/">http://www.geoportaliqm.qob.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/</a>
Propietario de Equipos:	Empresa Eléctrica Riobamba EERSA - Ecuador
Responsable Mantenimiento:	EERSA
E-mail contacto:	<a href="mailto:fyanez@eersa.com.ec">fyanez@eersa.com.ec</a>



Ministerio  
de Defensa  
Nacional



Comando Conjunto  
de las Fuerzas  
Armadas



Ejército  
Ecuatoriano



Instituto  
Geográfico  
Militar

REGME - EREC

### 3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Provincia: Chimborazo  
 Ciudad: Riobamba  
 Establecimiento: Empresa Eléctrica Riobamba.  
 Ubicación: Terraza del edificio antiguo de EERSA.  
 Dirección: Calle García Moreno y 10 de Agosto.  
 Tipo de Monumentación: Pilar de concreto de 3,00 m; en el centro se encuentra empotrado el dispositivo de centrado forzoso (CF-IGM-v2).

Fotografías Estación:



Imagen 1.

Fuente: Equipo Técnico REGME – CEPGE



Imagen 2.

Fuente: Equipo Técnico REGME – CEPGE

### 4. COORDENADAS OFICIALES

4.1. Coordenadas Oficiales hasta el 15 de abril del 2016

ITRF: 94  
 Datum: SIRGAS 95  
 Época de Referencia: 1995.4  
 Elipsoide de Referencia: GRS80

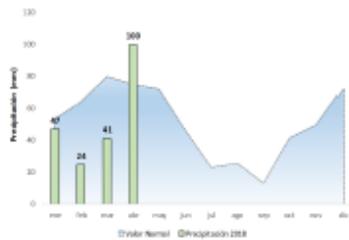
Geodésicas		Planas UTM 17S		Sigma (m)
Latitud (G M S)	01°40'16,21988" S	Norte (m)	9 815 128,460	0,046



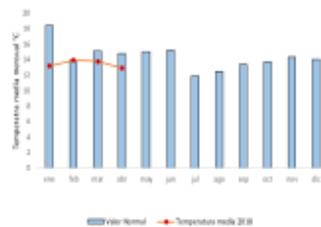
CLIMA PROMEDIO PROVINCIAL

Chimborazo

En la Estación Agrometeorológica ESPOCH, la precipitación promedio registrada fue de 99.6 mm, la cual al compararla con marzo, se observó un incremento, con una variación de 144%<sup>1/</sup>.



En Chimborazo la temperatura registrada fue de 12.9 °C, lo que representó una disminución con respecto al mes anterior (1 °C). Situación similar a abril del año pasado (2017) cuya temperatura presentó una disminución de 13%<sup>2/</sup>.



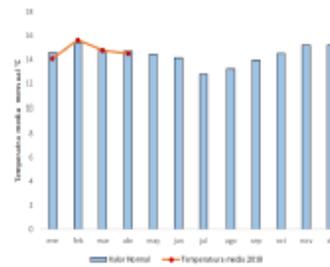
Cotacachi

En la provincia de Cotacachi en la estación Latacunga Aer., se registró una precipitación de 45.3 mm. En comparación al mes anterior, se percibió un aumento de 12 mm con una variación positiva de 36%<sup>2/</sup>.



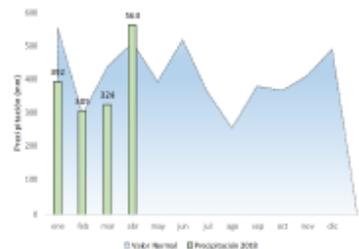
La temperatura promedio registrada en la estación Rumipamba fue de 14.9 °C., con relación al mes anterior, la temperatura presentó una

variación negativa de 2%. En la estación Latacunga Aer., la temperatura promedio fue de 14.2 °C, lo que significó una disminución de 0.1 °C en relación a marzo<sup>2/</sup>.

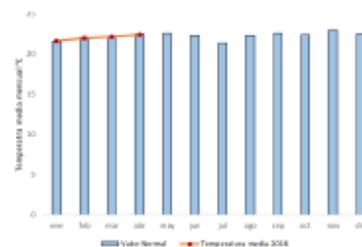


Pastaza

La precipitación promedio registrada en la estación Pastaza Aer., fue de 706.7 mm, la cual fue mayor con respecto a marzo, con una variación positiva de 123 %. En la estación del Puyo se registró una precipitación promedio de 419.3 mm, que al comparar con el mes anterior (marzo) hubo un incremento de 87.6 mm<sup>2/</sup>.



La temperatura promedio en la estación Pastaza Aer., fue de 23.2 °C, con un incremento de 2 % con respecto al mes anterior (marzo). En la estación Puyo, se registró una temperatura de 21.6°C, que al compararla con el mismo mes del año anterior (2017), se observó una variación negativa (4 %) <sup>2/</sup>.



1/ Estación Agrometeorológica ESPOCH.  
2/ Boletín meteorológico INAMHI.  
Elaborado por: SIPA—MAG.

ANEXO C Boletín estación agrometeorológica ESPOCH mes febrero 2018

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES</b> <b>ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA</b> <b>BOLETIN MENSUAL</b> 															
AÑO: 2018											MES: FEBRERO				
FECHA	TEMPERATURA °C			H. RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCIO	PRECIPITACIÓN	HELIOFANIA		VIENTO		PRESIÓN ATM.	
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mib	°C	mm H2O	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg	
1	14,1	23,5	6,4	72,5	96,0	38,0	11,5	9,0	0,0	8,2	68,0	SE	1,8	547,2	
2	15,3	23,6	9,8	75,9	96,0	44,0	12,3	10,0	0,0	6,5	54,0	SE	2,4	547,5	
3	15,2	23,5	10,8	75,8	96,0	44,0	12,6	10,3	0,0	3,2	27,0	SE	1,8	547,3	
4	15,5	24,9	7,0	74,2	96,0	42,0	12,6	10,4	0,0	9,6	80,0	SE	1,8	546,9	
5	16,1	25,4	10,8	74,4	96,0	43,0	13,1	11,0	0,0	7,0	58,0	SE	1,8	547,4	
6	14,4	23,4	11,5	81,7	96,0	47,0	13,1	11,0	0,0	2,5	21,0	SE	1,3	547,8	
7	14,6	24,2	7,8	73,4	96,0	43,0	11,7	9,3	0,0	9,3	77,0	SE	2,6	547,3	
8	14,8	25,5	9,0	74,0	96,0	34,0	12,0	9,6	0,0	8,1	67,0	SE	1,6	547,1	
9	14,4	24,7	10,0	78,4	96,0	43,0	12,7	10,5	0,0	5,9	49,0	SE	2,3	546,9	
10	14,4	23,2	9,7	73,7	96,0	39,0	12,4	10,1	0,0	6,4	53,0	SE	1,3	547,5	
11	14,0	23,4	9,6	69,9	96,0	38,0	11,6	9,2	0,0	5,7	47,0	SE	2,7	547,7	
12	10,9	19,7	3,6	74,9	96,0	47,0			0,0	0,5	4,0				
13	12,4	23,6	4,0	77,8	96,0	46,0			0,0	9,5	79,0				
14	13,0	19,3	7,7	83,8	96,0	62,0	12,7	10,4	0,0	2,9	24,0	SE	2,4	547,9	
15	12,9	19,4	9,8	84,1	96,0	61,0	13,0	10,9	0,0	1,8	15,0	SE	2,4	547,8	
16	12,6	19,2	9,0	84,9	96,0	59,0	12,9	10,8	0,4	1,0	8,0	SE	2,6	548,3	
17	12,1	17,1	9,6	91,6	96,0	69,0	13,4	11,3	1,1	0,8	7,0	SE	1,5	548,5	
18	14,5	22,6	9,6	78,6	96,0	46,0	13,3	11,1	0,0	4,1	34,0	SE	2,3	547,7	
19	13,2	18,7	10,8	88,8	96,0	61,0	13,6	11,5	9,4	0,5	4,0	SE	0,8	547,6	
20	13,3	21,0	10,2	89,1	96,0	56,0	13,6	11,5	7,6	2,6	22,0	SE	1,5	547,9	
21	13,9	22,0	9,9	84,4	96,0	52,0	12,5	10,3	1,1	6,3	52,0	NW	1,7	547,5	
22	13,5	19,9	10,1	85,0	96,0	59,0	13,5	11,4	2,8	2,5	21,0	SE	1,4	547,8	
23	14,1	22,0	9,9	80,1	96,0	50,0	13,4	11,3	0,9	7,6	63,0	SE	2,0	547,6	
24	14,3	23,6	8,3	75,3	96,0	33,0	12,2	9,8	1,1	10,3	86,0	SE	1,5	547,7	
25	13,1	23,9	4,8	70,0	96,0	27,0	9,0	5,4	0,0	11,0	92,0	SE	1,8	547,8	
26	14,5	24,9	5,2	66,6	96,0	24,0	10,3	7,4	0,0	9,9	82,0	SW - SE	1,0	548,2	
27	13,8	22,8	8,2	76,5	96,0	41,0	11,9	9,5	0,0	3,0	25,0	SE	1,8	547,9	
28	14,0	21,4	10,5	80,9	96,0	58,0	12,6	10,5	0,0	3,2	27,0	NE	2,4	547,7	
29															
30															
31															
<b>SUMA</b>	<b>388,9</b>	<b>626,4</b>	<b>243,6</b>	<b>2196,3</b>	<b>2688,0</b>	<b>1906,0</b>	<b>323,5</b>	<b>263,5</b>	<b>24,4</b>	<b>149,9</b>	<b>1246,0</b>	<b>SE</b>	<b>48,5</b>	<b>14238,6</b>	
<b>DIAS DE DATOS</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>		<b>26</b>	<b>26</b>	
<b>MEDIA</b>	<b>13,9</b>	<b>22,4</b>	<b>8,7</b>	<b>78,4</b>	<b>96,0</b>	<b>46,6</b>	<b>12,4</b>	<b>10,1</b>		<b>5,4</b>	<b>44,5</b>		<b>1,9</b>	<b>547,6</b>	
<b>MÁX. 24 Hs.</b>	<b>16,1</b>	<b>25,5</b>	<b>11,5</b>	<b>91,6</b>	<b>96,0</b>	<b>69,0</b>	<b>13,6</b>	<b>11,5</b>	<b>9,4</b>	<b>11,0</b>	<b>92,0</b>		<b>2,7</b>	<b>548,5</b>	
<b>FECHA</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>17</b>		<b>17</b>	<b>19-20</b>	<b>19-20</b>	<b>19</b>	<b>25</b>	<b>25</b>		<b>11</b>	<b>17</b>	
<b>Nº DE DIAS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	
<b>MIN. 24 Hs.</b>	<b>10,9</b>	<b>17,1</b>	<b>3,6</b>	<b>66,6</b>	<b>96,0</b>	<b>24,0</b>	<b>9,0</b>	<b>5,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>4,0</b>		<b>0,8</b>	<b>546,9</b>	
<b>FECHA</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>26</b>		<b>26</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>VARIOS</b>	<b>12-19,</b>	<b>12-19,</b>		<b>19</b>	<b>4-9,</b>	
<b>Nº DE DIAS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	

# ANEXO D Boletín estación agrometeorológica ESPOCH mes abril 2018



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2018

MES: ABRIL

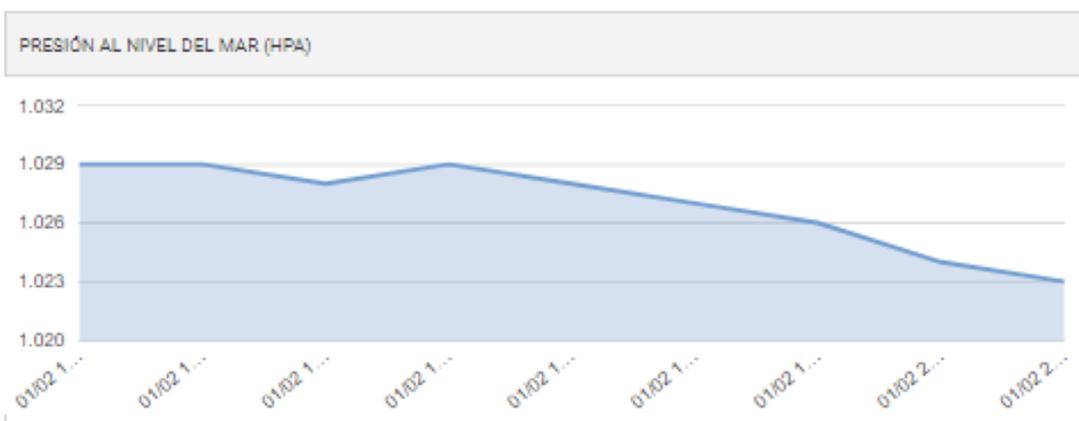
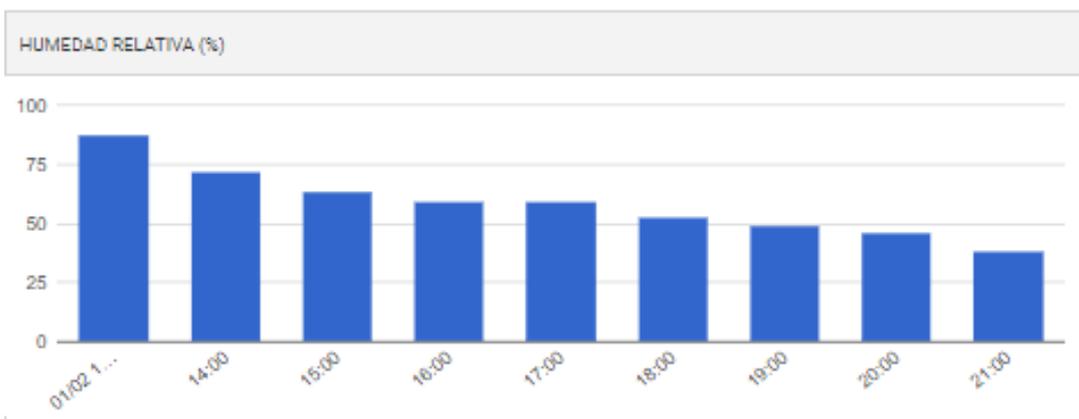
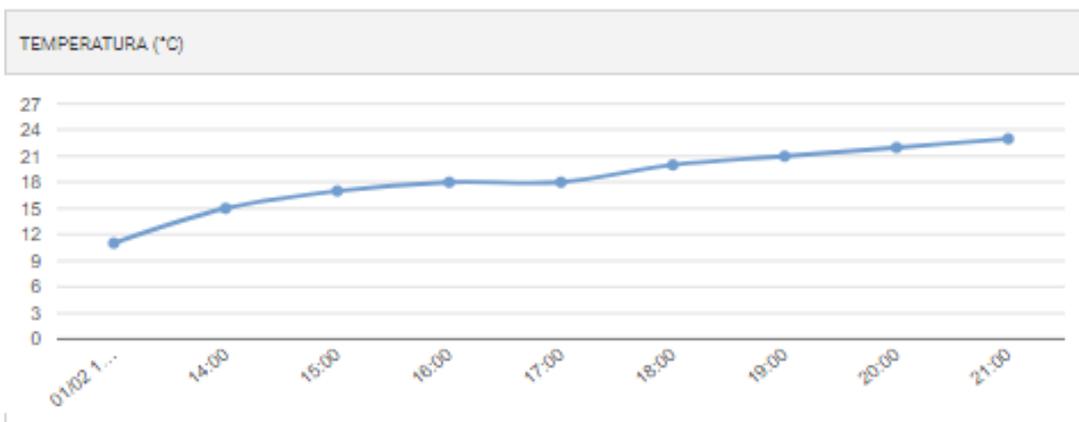
FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR mb	PUNTO ROCÍO °C	PRECIPITACIÓN mm	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM. mm Hg
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima				Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	
1	14,3	22,6	10,8	82,6	96,0	49,0	12,6	10,4	0,4	4,6	38,0	NE	2,8	547,3
2	12,7	19,7	10,2	87,5	96,0	58,0	13,0	10,9	4,5	1,2	10,0	SE	3,0	547,2
3	12,8	19,2	9,7	86,7	96,0	66,0	12,6	10,4	1,4	0,9	7,0	SE	1,5	547,8
4	12,0	18,7	9,8	91,5	96,0	70,0	12,8	10,6	21,2	1,8	15,0	SE	1,4	547,9
5	11,6	20,6	7,8	87,4	96,0	53,0	11,9	9,6	20,5	2,0	17,0	SE-NE	0,8	548,0
6	12,2	20,2	8,6	85,3	96,0	49,0	12,2	9,9	3,0	2,6	22,0	SE	1,6	548,0
7	12,5	21,3	6,7	82,1	96,0	45,0	10,9	8,2	0,1	4,4	37,0	SE	2,3	547,6
8	12,2	19,8	8,8	86,1	96,0	46,0	11,7	9,2	1,5	1,9	16,0	SE	1,8	548,0
9	12,8	21,0	8,4	83,6	96,0	54,0	12,1	9,8	0,8	1,7	14,0	SE	1,0	548,5
10	12,6	21,0	9,7	83,0	96,0	47,0	11,8	9,5	0,2	5,8	48,0	SE	2,7	548,5
11	13,3	23,2	8,1	69,8	96,0	33,0	11,2	8,6	0,0	7,1	59,0	SE	1,8	547,9
12	13,5	24,2	3,6	56,6	89,0	26,0	9,7	6,5	0,0	7,9	66,0	SE-NW-NE	1,5	547,2
13	12,0	20,0	7,8	66,4	96,0	34,0	9,8	6,7	0,0	1,2	10,0	SE	1,6	547,8
14	11,9	20,6	4,7	67,2	96,0	44,0								
15	13,0	20,6	9,0	77,4	96,0	46,0								
16	12,6	19,0	9,8	83,7	96,0	55,0	12,1	9,8	1,5	1,8	15,0	SE	1,8	549,3
17	13,0	20,4	8,0	78,1	96,0	51,0	11,3	8,8	0,0	8,9	74,0	SE	2,4	548,5
18	13,7	22,0	9,6	75,3	96,0	49,0	11,2	8,7	0,0	7,3	61,0	SE	2,8	548,5
19	13,6	21,8	10,3	76,6	96,0	51,0	11,4	8,8	0,4	7,6	63,0	SE	2,8	549,1
20	13,5	20,9	8,7	76,7	96,0	47,0				8,6	71,0			
21	13,3	21,4	9,7	77,8	96,0	47,0	10,5	7,6	0,2	5,2	43,0	NE-SE	2,0	547,1
22	14,8	23,4	8,6	72,7	96,0	37,0	11,6	9,1	0,1	8,6	71,0	NE	2,2	547,5
23	13,2	19,2	10,4	78,9	96,0	51,0	11,1	8,6	0,6	3,1	26,0	SE	1,8	548,5
24	13,7	22,2	7,4	75,5	96,0	39,0	11,0	8,4	0,0	5,8	48,0	SE	1,8	548,7
25	12,7	20,6	8,1	85,0	96,0	61,0	12,2	9,8	18,6	5,8	48,0	SE	1,4	548,8
26	13,3	20,4	10,1	84,7	96,0	58,0	12,3	10,0	0,6	5,3	44,0	SE	1,8	548,5
27	14,1	21,4	10,1	81,3	96,0	53,0	12,5	10,3	0,8	8,6	71,0	SE	2,0	548,3
28	11,2	14,3	9,8	92,1	96,0	69,0	11,8	9,4	16,6	0,1	1,0	NE-NW	1,3	548,6
29	12,2	19,0	7,1	87,7	96,0	68,0	12,1	9,7	0,6	2,4	20,0	NE	1,5	548,9
30	12,5	18,2	9,8	87,5	96,0	64,0	12,3	10,1	6,0	1,3	11,0	NE	1,2	548,8
<b>SUMA</b>	<b>386,8</b>	<b>616,9</b>	<b>261,2</b>	<b>2406,8</b>	<b>2873,0</b>	<b>1520,0</b>	<b>315,7</b>	<b>249,4</b>	<b>99,6</b>	<b>123,5</b>	<b>1026,0</b>	<b>SE</b>	<b>50,6</b>	<b>14800,8</b>
<b>DÍAS DE DATOS</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>28</b>		<b>27</b>	<b>27</b>
<b>MEDIA</b>	<b>12,9</b>	<b>20,6</b>	<b>8,7</b>	<b>80,2</b>	<b>95,8</b>	<b>50,7</b>	<b>11,7</b>	<b>9,2</b>		<b>4,4</b>	<b>36,6</b>		<b>1,9</b>	<b>548,2</b>
<b>MÁX. 24 Hs.</b>	<b>14,8</b>	<b>24,2</b>	<b>10,8</b>	<b>92,1</b>	<b>96,0</b>	<b>70,0</b>	<b>13,0</b>	<b>10,9</b>	<b>21,2</b>	<b>8,9</b>	<b>74,0</b>		<b>3,0</b>	<b>549,3</b>
<b>FECHA</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>VARIOS</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>17</b>		<b>2</b>	<b>16</b>
<b>Nº DE DÍAS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>
<b>MIN. 24 Hs.</b>	<b>11,2</b>	<b>14,3</b>	<b>3,6</b>	<b>56,6</b>	<b>89,0</b>	<b>26,0</b>	<b>9,7</b>	<b>6,5</b>	<b>0,0</b>	<b>0,1</b>	<b>1,0</b>		<b>0,8</b>	<b>547,1</b>
<b>FECHA</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>VARIOS</b>	<b>28</b>	<b>28</b>		<b>5</b>	<b>21</b>
<b>Nº DE DÍAS</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>1</b>

## ANEXO E Información meteorológica días de análisis

### Resumen de datos para el 1 de Febrero de 2018:

● Temperatura Máxima	23 °C	21:00	● Temperatura Mínima	11 °C	13:00
● Humedad máxima	87.5 %	13:00	● Humedad mínima	38.2 %	21:00
● Presión máxima	1029 hPa	13:00	● Presión mínima	1023 hPa	21:00
● Radiación máxima	-- W/m2		● Radiación mínima	-- W/m2	
● Velocidad Viento (Máx)	33.3 km/h	18:00	● Rachas máximas de viento	-- km/h	
● Precipitación acumulada	-- mm				

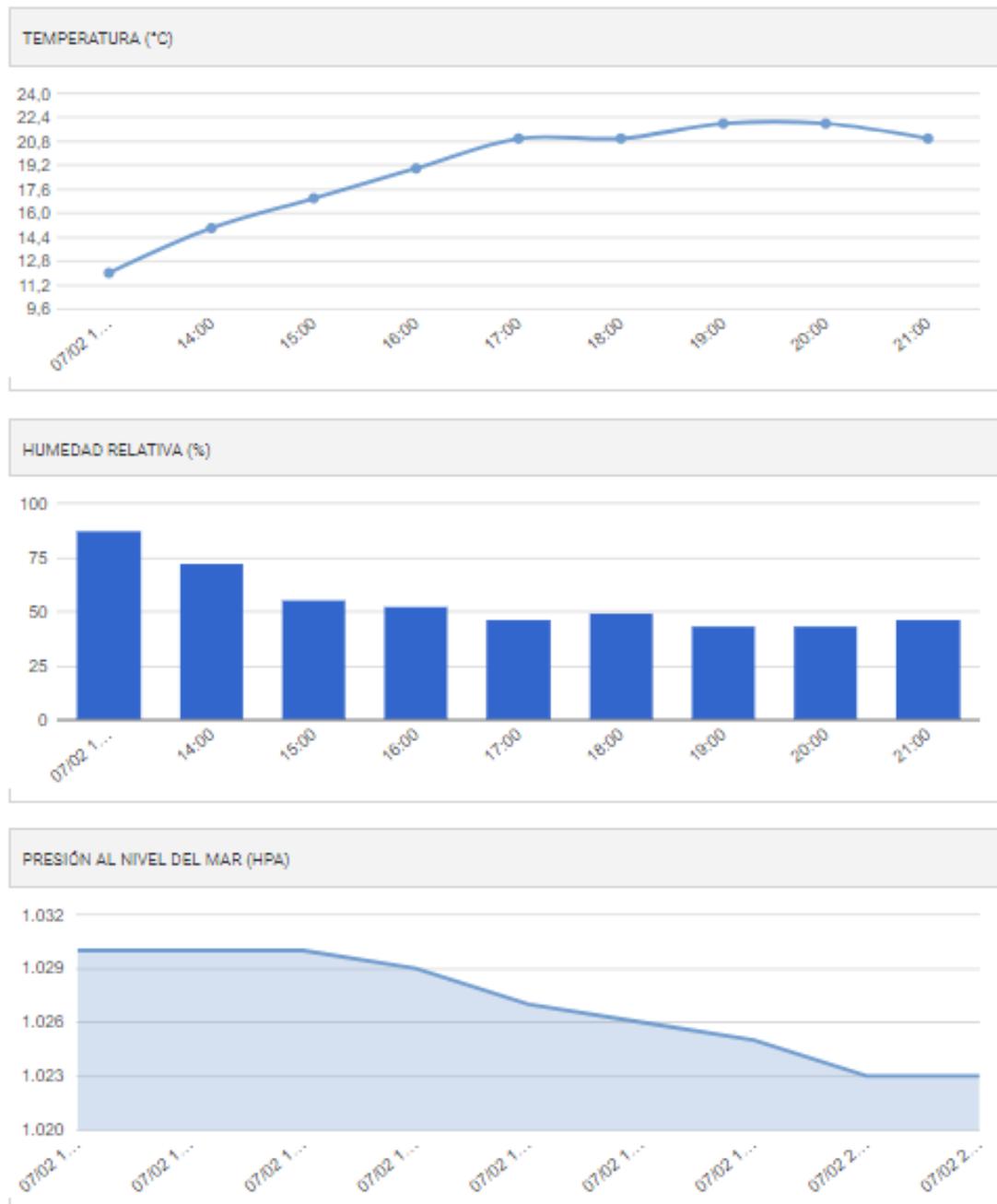
### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



### Resumen de datos para el 7 de Febrero de 2018:

● Temperatura Máxima	22 °C	19:00	● Temperatura Mínima	12 °C	13:00
● Humedad máxima	87.6 %	13:00	● Humedad mínima	43.4 %	19:00
● Presión máxima	1030 hPa	13:00	● Presión mínima	1023 hPa	20:00
● Radiación máxima	-- W/m2		● Radiación mínima	-- W/m2	
● Velocidad Viento (Máx)	33.3 km/h	20:00	● Rachas máximas de viento	-- km/h	
● Precipitación acumulada	-- mm				

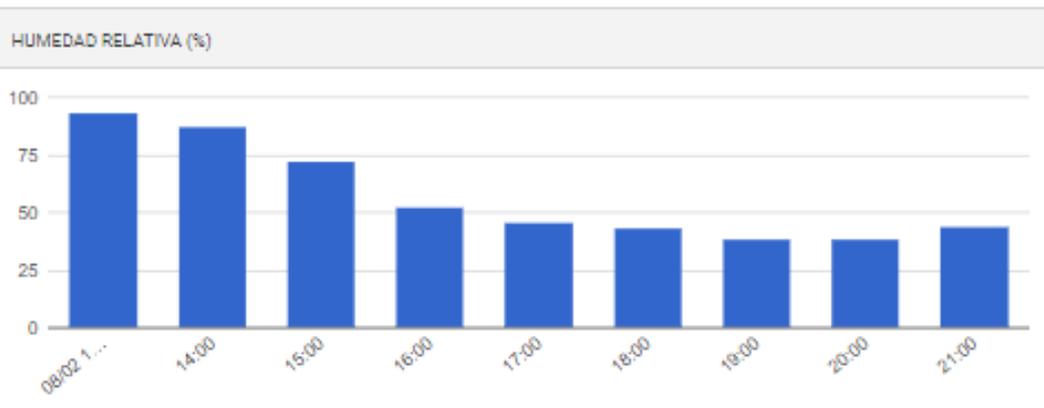
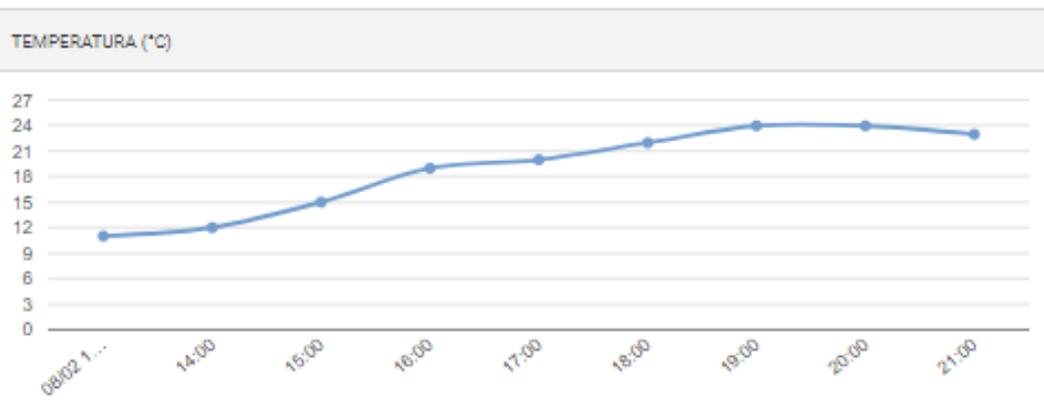
### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



### Resumen de datos para el 8 de Febrero de 2018:

● Temperatura Máxima	24 °C	19:00	● Temperatura Mínima	11 °C	13:00
● Humedad máxima	93.5 %	13:00	● Humedad mínima	38.5 %	19:00
● Presión máxima	1030 hPa	13:00	● Presión mínima	1022 hPa	21:00
● Radiación máxima	-- W/m2		● Radiación mínima	-- W/m2	
● Velocidad Viento (Máx)	22.2 km/h	20:00	● Rachas máximas de viento	-- km/h	
● Precipitación acumulada	-- mm				

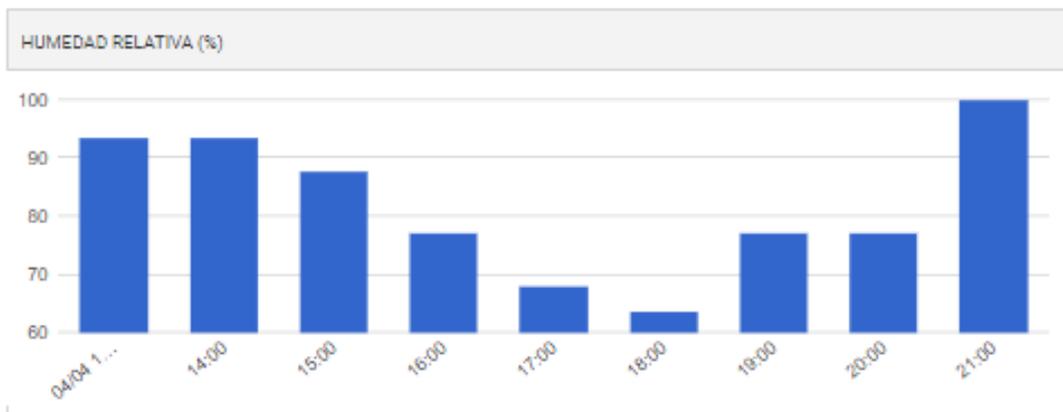
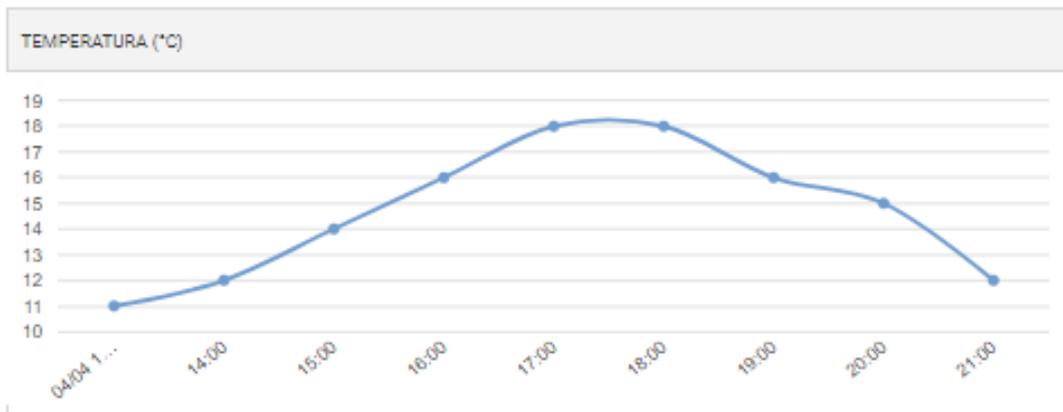
### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



### Resumen de datos para el 4 de Abril de 2018:

● Temperatura Máxima	<b>18 °C</b>	17:00	● Temperatura Mínima	<b>11 °C</b>	13:00
● Humedad máxima	<b>100.0 %</b>	21:00	● Humedad mínima	<b>63.6 %</b>	18:00
● Presión máxima	<b>1030 hPa</b>	13:00	● Presión mínima	<b>1026 hPa</b>	21:00
● Radiación máxima	<b>- W/m2</b>		● Radiación mínima	<b>- W/m2</b>	
● Velocidad Viento (Máx)	<b>9.3 km/h</b>	17:00	● Rachas máximas de viento	<b>- km/h</b>	
● Precipitación acumulada	<b>- mm</b>				

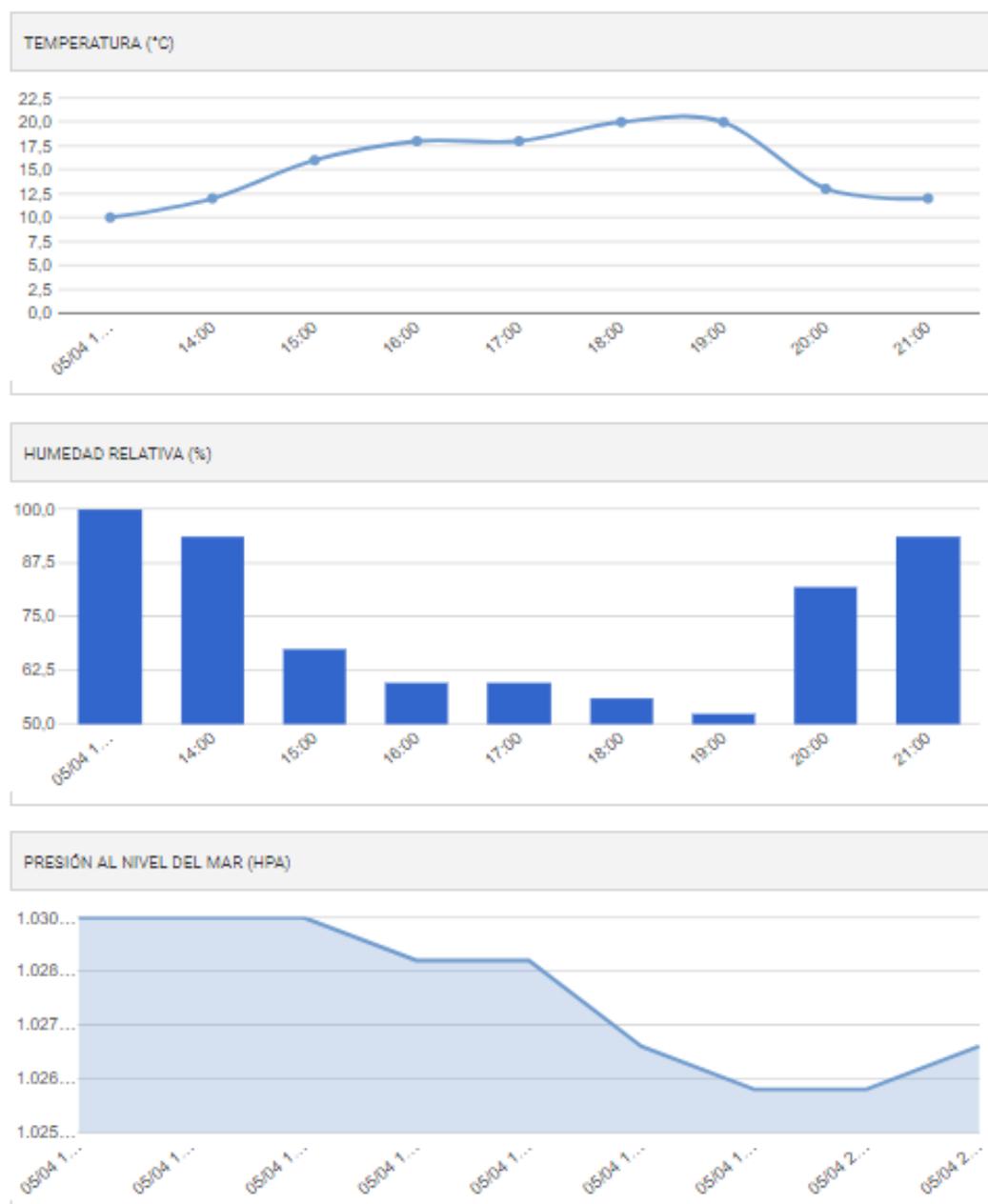
### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



### Resumen de datos para el 5 de Abril de 2018:

● Temperatura Máxima	20 °C	18:00	● Temperatura Mínima	10 °C	13:00
● Humedad máxima	100.0 %	13:00	● Humedad mínima	52.5 %	19:00
● Presión máxima	1030 hPa	13:00	● Presión mínima	1026 hPa	19:00
● Radiación máxima	-- W/m2		● Radiación mínima	-- W/m2	
● Velocidad Viento (Máx)	14.8 km/h	21:00	● Rachas máximas de viento	-- km/h	
● Precipitación acumulada	-- mm				

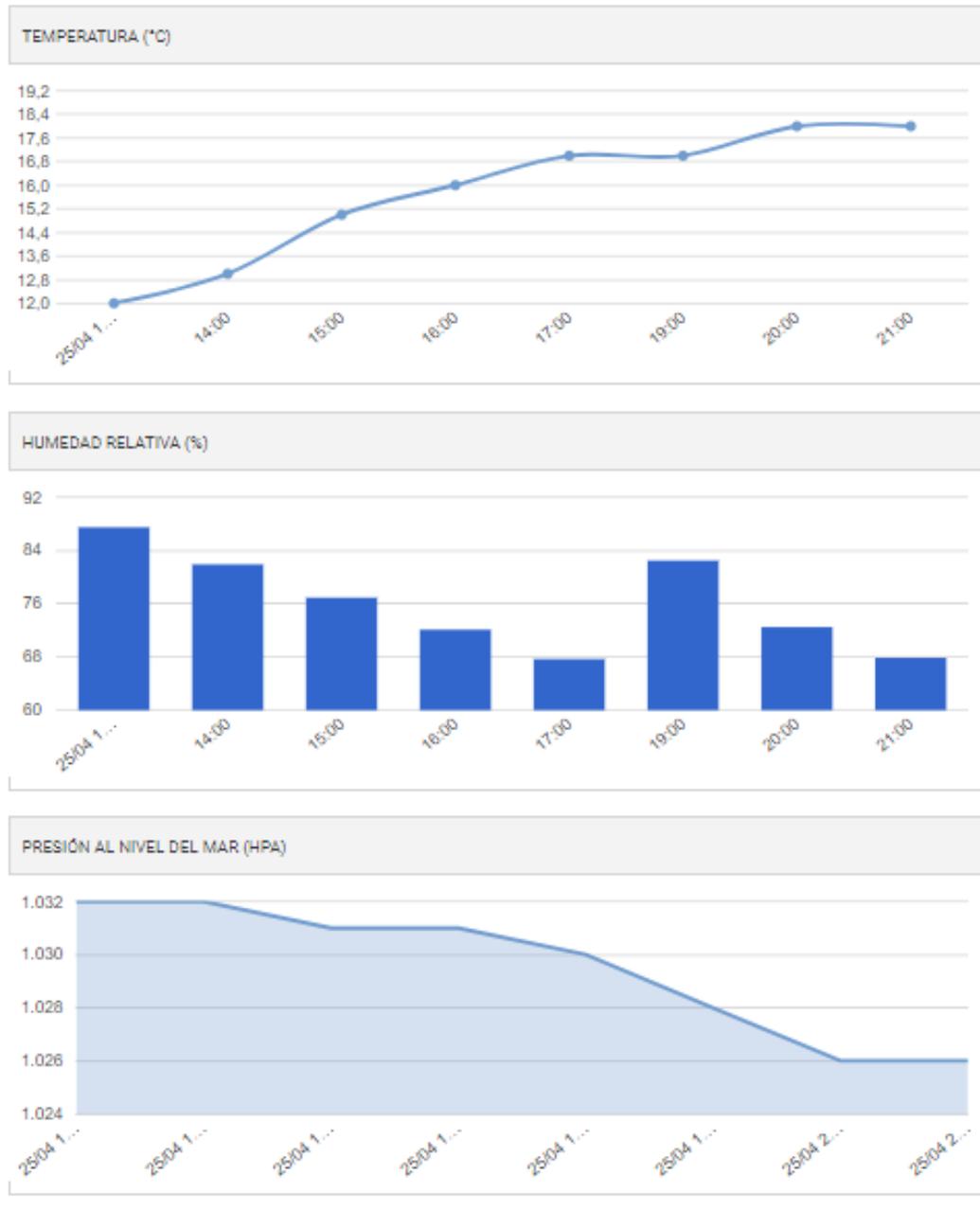
### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



### Resumen de datos para el 25 de Abril de 2018:

● Temperatura Máxima	<b>18 °C</b>	21:00	● Temperatura Mínima	<b>12 °C</b>	13:00
● Humedad máxima	<b>87.6 %</b>	13:00	● Humedad mínima	<b>67.7 %</b>	17:00
● Presión máxima	<b>1032 hPa</b>	13:00	● Presión mínima	<b>1026 hPa</b>	21:00
● Radiación máxima	-- W/m2		● Radiación mínima	-- W/m2	
● Velocidad Viento (Máx)	<b>37 km/h</b>	21:00	● Rachas máximas de viento	-- km/h	
● Precipitación acumulada	-- mm				

### Gráficas de Tiempo Real en la estación Aeropuerto CHIMBORAZO (SERB)



## ANEXO F Código MATLAB

Calculador de retardo troposférico

```
clc;
clear all;
close all
% día 1 de febrero de 2018
fuente_met=xlsread('día32.xlsx','metereologia','A2:D14');
temp_c=fuente_met(:,2);
hum=fuente_met(:,3);
pHa=fuente_met(:,4);
zenith=80;
temp_k= 273.15 + temp_c;
Pres_vap=6.108*exp(((17.15*temp_k)-4684)/(temp_k-38.45)).*hum/100;
delay_trop=((2277*10^-6)*(1+3.382*10^-3)*(1/cos((zennith*pi)/180))*(pHa+(((1255/temp_k)+0.05)*Pres_vap)-
(0.757*(tan((zennith*pi)/180)^2))))+0.086;
xlswrite('día32.xlsx',temp_k, 'metereologia','F2');
xlswrite('día32.xlsx',Pres_vap, 'metereologia','G2');
xlswrite('día32.xlsx',delay_trop, 'metereologia','H2');
xlswrite('C:\Users\SYSTEMarket\Documents\MATLAB\tesis 2018\retardo.xlsx',delay_trop, 'tropo','B3');
```

%GRAFICA DE VARIACIÓN DE RETARDO

```
clc
clear all
clear scr
close all
delay=xlsread('retardo.xlsx','tropo','A3:G15');
hora=delay(:,1);
día32=delay(:,2);
día38=delay(:,3);
día39=delay(:,4);
día94=delay(:,5);
día95=delay(:,6);
día115=delay(:,7);
figure (1)
%marzo
plot(hora,día32,'y');
hold on
plot(hora,día38,'m');
hold on
plot(hora,día39,'r');
hold on
%abril
plot(hora,día94,'c');
hold on
plot(hora,día95,'b');
hold on
plot(hora,día115,'g');
hold on
xlabel('HORA UTM');ylabel('DELAY (METROS)'),grid on;
legend('DÍA 32','DÍA 38','DÍA 39','DÍA 94','DÍA 95','DÍA 115');
```

```
FUNCIÓN ERROR CUADRÁTICO MEDIO
function [ecm] = rmse(ref, reg)
% -----
% Descripción: la Función rmse permite determinar el valor del error cuadrático medio
% de un conjunto de valores con respecto a otro.
% Inputs:
%   vector referencial
%   vector medido
% Outputs:
%   rmse
% Autor:
%   Jhonny Alvarez
%   ESPOCH
%   RIOBAMBA, ECUADOR
% Version: Julio 2018
% -----

% Argument checking
N=length(ref);
ecm=sqrt(sum((reg-ref).^2)/N);
end
```

ANALIZADOR DE ARCHIVOS RINEX SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA

```

clc;
clear all;
close all;
%% punto de referencia coordenadas UTM EREC 16 de abril 2016
lat_ref = -1.671172189;
long_ref = -78.65122;
[x_ref,y_ref,zone] = deg2utm(lat_ref,long_ref);
h_ref=2801.348;
%% extracción de datos del archivo sin corrección troposférica
%% DÍA 32%%
fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día32','A2:D543');
Lat_día32=fuente_sc(:,2);
Lon_día32=fuente_sc(:,3);
h_sc32=fuente_sc(:,4);
[x_sc32,y_sc32,zone] = deg2utm(Lat_día32,Lon_día32);
%% cracion de vector referencial
vx=linspace(x_ref,x_ref,length(Lat_día32));
vy=linspace(y_ref,y_ref,length(Lat_día32));
vh=linspace(h_ref,h_ref,length(Lat_día32));
%% variacion día 32
deltax32= abs(x_sc32 - vx);
deltay32= abs(y_sc32 - vy);
deltah32= abs(h_sc32 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc32, 'día32','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc32, 'día32','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax32, 'día32','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay32, 'día32','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah32, 'día32','K2');
%% DÍA 38%%
fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día38','A2:D543');
Lat_día38=fuente_sc(:,2);
Lon_día38=fuente_sc(:,3);
h_sc38=fuente_sc(:,4);
[x_sc38,y_sc38,zone] = deg2utm(Lat_día38,Lon_día38);
%% variacion día 38
deltax38= abs(x_sc38 - vx);
deltay38= abs(y_sc38 - vy);
deltah38= abs(h_sc38 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc38, 'día38','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc38, 'día38','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax38, 'día38','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay38, 'día38','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah38, 'día38','K2');
%% DÍA 39%%
fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día39','A2:D543');
Lat_día39=fuente_sc(:,2);
Lon_día39=fuente_sc(:,3);
h_sc39=fuente_sc(:,4);
[x_sc39,y_sc39,zone] = deg2utm(Lat_día39,Lon_día39);
%% variacion día 39
deltax39= abs(x_sc39 - vx);
deltay39= abs(y_sc39 - vy);
deltah39= abs(h_sc39 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc39, 'día39','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc39, 'día39','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax39, 'día39','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay39, 'día39','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah39, 'día39','K2');
%% DÍA 94%%
fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día94','A2:D543');
Lat_día94=fuente_sc(:,2);
Lon_día94=fuente_sc(:,3);
h_sc94=fuente_sc(:,4);
[x_sc94,y_sc94,zone] = deg2utm(Lat_día94,Lon_día94);
%% variacion día 94
deltax94= abs(x_sc94 - vx);
deltay94= abs(y_sc94 - vy);
deltah94= abs(h_sc94 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc94, 'día94','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc94, 'día94','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax94, 'día94','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay94, 'día94','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah94, 'día94','K2');
%% DÍA 95%%

```

```

fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día95','A2:D543');
Lat_día95=fuente_sc(:,2);
Lon_día95=fuente_sc(:,3);
h_sc95=fuente_sc(:,4);
[x_sc95,y_sc95,zone] = deg2utm(Lat_día95, Lon_día95);
%%% variacion día 95
deltax95= abs(x_sc95 - vx);
deltay95= abs(y_sc95 - vy);
deltah95= abs(h_sc95 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc95, 'día95','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc95, 'día95','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax95, 'día95','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay95, 'día95','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah95, 'día95','K2');
%%% DÍA 115%%%
fuente_sc=xlsread('datos_sin_correccion','día115','A2:D543');
Lat_día115=fuente_sc(:,2);
Lon_día115=fuente_sc(:,3);
h_sc115=fuente_sc(:,4);
[x_sc115,y_sc115,zone] = deg2utm(Lat_día115, Lon_día115);
%%% variacion día 115
deltax115= abs(x_sc115 - vx);
deltay115= abs(y_sc115 - vy);
deltah115= abs(h_sc115 - vh);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',x_sc115, 'día115','F2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',y_sc115, 'día115','G2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltax115, 'día115','I2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltay115, 'día115','J2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',deltah115, 'día115','K2');
figure (1)
plot(x_sc32,y_sc32,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 32','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
figure (2)
plot(x_sc38,y_sc38,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 38','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
figure (3)
plot(x_sc39,y_sc39,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 39','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
figure (4)
plot(x_sc94,y_sc94,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 94','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
figure (5)
plot(x_sc95,y_sc95,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 95','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
figure (6)
plot(x_sc115,y_sc115,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 115','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC' );
%%% determinación del error cuadrático medio
[RMSE32x]= rmse(vx,x_sc32);
[RMSE32y]= rmse(vy,y_sc32);
[RMSE32h]= rmse(vh,h_sc32);
[RMSE38x]= rmse(vx,x_sc38);
[RMSE38y]= rmse(vy,y_sc38);
[RMSE38h]= rmse(vh,h_sc38);
[RMSE39x]= rmse(vx,x_sc39);
[RMSE39y]= rmse(vy,y_sc39);
[RMSE39h]= rmse(vh,h_sc39);
[RMSE94x]= rmse(vx,x_sc94);

```

```
[RMSE94y]= rmse(vy,y_sc94);
[RMSE94h]= rmse(vh,h_sc94);
[RMSE95x]= rmse(vx,x_sc95);
[RMSE95y]= rmse(vy,y_sc95);
[RMSE95h]= rmse(vh,h_sc95);
[RMSE115x]= rmse(vx,x_sc115);
[RMSE115y]= rmse(vy,y_sc115);
[RMSE115h]= rmse(vh,h_sc115);
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE32x,'RMSE','B2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE32y,'RMSE','C2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE32h,'RMSE','D2');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE38x,'RMSE','B3');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE38y,'RMSE','C3');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE38h,'RMSE','D3');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE39x,'RMSE','B4');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE39y,'RMSE','C4');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE39h,'RMSE','D4');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE94x,'RMSE','B5');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE94y,'RMSE','C5');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE94h,'RMSE','D5');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE95x,'RMSE','B6');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE95y,'RMSE','C6');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE95h,'RMSE','D6');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE115x,'RMSE','B7');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE115y,'RMSE','C7');
xlswrite('datos_sin_correccion.xlsx',RMSE115h,'RMSE','D7');
```

## ANALIZADOR DE ARCHIVOS RINEX CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA

```

xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',y_sc94,'día94','G2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltax94,'día94','I2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltay94,'día94','J2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltah94,'día94','K2');
%%%DÍA 95%%%
fuente_cc=xlsread('datos_con_correccion','día95','A2:D543');
Lat_día95=fuente_cc(:,2);
Lon_día95=fuente_cc(:,3);
h_sc95=fuente_cc(:,4);
[x_sc95,y_sc95,zone]=deg2utm(Lat_día95,Lon_día95);
%%%variacion día 95
deltax95=abs(x_sc95-vx);
deltay95=abs(y_sc95-vy);
deltah95=abs(h_sc95-vh);
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',x_sc95,'día95','F2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',y_sc95,'día95','G2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltax95,'día95','I2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltay95,'día95','J2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltah95,'día95','K2');
%%%DÍA 115%%%
fuente_cc=xlsread('datos_con_correccion','día115','A2:D543');
Lat_día115=fuente_cc(:,2);
Lon_día115=fuente_cc(:,3);
h_sc115=fuente_cc(:,4);
[x_sc115,y_sc115,zone]=deg2utm(Lat_día115,Lon_día115);
%%%variacion día 115
deltax115=abs(x_sc115-vx);
deltay115=abs(y_sc115-vy);
deltah115=abs(h_sc115-vh);
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',x_sc115,'día115','F2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',y_sc115,'día115','G2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltax115,'día115','I2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltay115,'día115','J2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',deltah115,'día115','K2');
%%%
figure (1)
plot(x_sc32,y_sc32,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 32','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
figure (2)
plot(x_sc38,y_sc38,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 38','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
figure (3)
plot(x_sc39,y_sc39,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 39','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
figure (4)
plot(x_sc94,y_sc94,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 94','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
figure (5)
plot(x_sc95,y_sc95,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 95','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
figure (6)
plot(x_sc115,y_sc115,'b');
hold on
plot(x_ref,y_ref,'r*');
xlabel('COORDENADAS X');ylabel('COORDENADAS Y');grid on;
legend('CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA DÍA 115','COORDENADAS DE REFERENCIA ESTACIÓN EREC');
%%%determinación del error cuadrático medio
[RMSE32x]=rmse(vx,x_sc32);
[RMSE32y]=rmse(vy,y_sc32);

```

```
[RMSE32h]= rmse(vh,h_sc32);
[RMSE38x]= rmse(vx,x_sc38);
[RMSE38y]= rmse(vy,y_sc38);
[RMSE38h]= rmse(vh,h_sc38);
[RMSE39x]= rmse(vx,x_sc39);
[RMSE39y]= rmse(vy,y_sc39);
[RMSE39h]= rmse(vh,h_sc39);
[RMSE94x]= rmse(vx,x_sc94);
[RMSE94y]= rmse(vy,y_sc94);
[RMSE94h]= rmse(vh,h_sc94);
[RMSE95x]= rmse(vx,x_sc95);
[RMSE95y]= rmse(vy,y_sc95);
[RMSE95h]= rmse(vh,h_sc95);
[RMSE115x]= rmse(vx,x_sc115);
[RMSE115y]= rmse(vy,y_sc115);
[RMSE115h]= rmse(vh,h_sc115);
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE32x, 'RMSE','B2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE32y, 'RMSE','C2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE32h, 'RMSE','D2');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE38x, 'RMSE','B3');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE38y, 'RMSE','C3');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE38h, 'RMSE','D3');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE39x, 'RMSE','B4');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE39y, 'RMSE','C4');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE39h, 'RMSE','D4');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE94x, 'RMSE','B5');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE94y, 'RMSE','C5');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE94h, 'RMSE','D5');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE95x, 'RMSE','B6');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE95y, 'RMSE','C6');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE95h, 'RMSE','D6');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE115x, 'RMSE','B7');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE115y, 'RMSE','C7');
xlswrite('datos_con_correccion.xlsx',RMSE115h, 'RMSE','D7');
```

## ANALIZADOR VARIACIÓN DE MEDICIONES

```

clc;
clear all;
close all;
%% punto de referencia coordenadas UTM EREC 16 de abril 2016
lat_ref = -1.671172189;
long_ref = -78.65122;
h_ref = 2801.348;
[x_ref,y_ref,zone] = deg2utm(lat_ref,long_ref);
%% extracción de datos de los archivos
%% DÍA 32
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día32','A2:G543');
Lat_día32_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día32_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc32 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día32','A2:G543');
Lat_día32_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día32_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc32 = fuente_cc(:,4);
%% DÍA 38
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día38','A2:G543');
Lat_día38_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día38_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc38 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día38','A2:G543');
Lat_día38_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día38_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc38 = fuente_cc(:,4);
%% DÍA 39
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día39','A2:G543');
Lat_día39_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día39_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc39 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día39','A2:G543');
Lat_día39_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día39_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc39 = fuente_cc(:,4);
%% DÍA 94
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día94','A2:G543');
Lat_día94_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día94_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc94 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día94','A2:G543');
Lat_día94_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día94_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc94 = fuente_cc(:,4);
%% DÍA 95
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día95','A2:G543');
Lat_día95_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día95_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc95 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día95','A2:G543');
Lat_día95_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día95_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc95 = fuente_cc(:,4);
%% DÍA 115
fuente_sc = xlsread('datos_sin_correccion','día115','A2:G543');
Lat_día115_sc = fuente_sc(:,6);
Lon_día115_sc = fuente_sc(:,7);
h_sc115 = fuente_sc(:,4);
fuente_cc = xlsread('datos_con_correccion','día115','A2:G543');
Lat_día115_cc = fuente_cc(:,6);
Lon_día115_cc = fuente_cc(:,7);
h_cc115 = fuente_cc(:,4);
%% cracion de vector referencial
vx = linspace(x_ref,x_ref,length(Lat_día32_cc));
vy = linspace(y_ref,y_ref,length(Lat_día32_cc));
vh = linspace(h_ref,h_ref,length(Lat_día32_cc));
tiempo = fuente_sc(:,1);
t1 = datenum(tiempo);
%% variación Latitud
figure(7)
plot(t1,Lat_día32_sc,'g'),grid on;
hold on
plot(t1,Lat_día32_cc,'r'),grid on;

```

```

hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 32');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (8)
plot (t1,Lat_día38_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lat_día38_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 38');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (9)
plot (t1,Lat_día39_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lat_día39_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 39');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (10)
plot (t1,Lat_día94_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lat_día94_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 94');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (11)
plot (t1,Lat_día95_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lat_día95_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 95');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (12)
plot (t1,Lat_día115_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lat_día115_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vx),grid on;
title ('VARIACIÓN LATITUD DÍA 115');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
%%% variación Longitud
figure (13)
plot (t1,Lon_día32_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lon_día32_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 32');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (14)
plot (t1,Lon_día38_sc,'g'),grid on;

```

```

hold on
plot (t1,Lon_día38_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 38');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (15)
plot (t1,Lon_día39_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lon_día39_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 39');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (16)
plot (t1,Lon_día94_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lon_día94_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 94');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (17)
plot (t1,Lon_día95_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lon_día95_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 95');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (18)
plot (t1,Lon_día115_sc,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,Lon_día115_cc,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vy),grid on;
title ('VARIACIÓN LONGITUD DÍA 115');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
%%% variacion Longitud
figure (19)
plot (t1,h_sc32,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc32,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 32');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (20)
plot (t1,h_sc38,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc38,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 38');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel("TIEMPO (Hr)");ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);

```

```

figure (21)
plot (t1,h_sc39,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc39,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 39');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (22)
plot (t1,h_sc94,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc94,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 94');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (23)
plot (t1,h_sc95,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc95,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 95');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);
figure (24)
plot (t1,h_sc115,'g'),grid on;
hold on
plot (t1,h_cc115,'r'),grid on;
hold on
plot (t1,vh),grid on;
title ('VARIACIÓN ALTITUD DÍA 115');
legend('SIN CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA', 'CON CORRECCIÓN TROPOSFÉRICA','COORDENADAS DE REFERENCIA
ESTACIÓN EREC');
xlabel('TIEMPO (Hr)');ylabel('DESVIACIÓN (m)');
datetick('x',15);

```