



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias Geomática

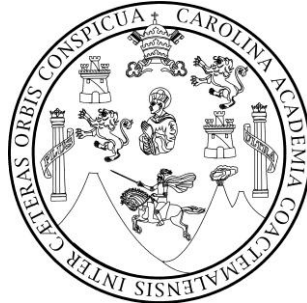
**DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR
MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR
SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO
CATASTRAL**

Ing. Aldo René González Quiñónez

Asesorado por el MSc. Ing. Alan Boris Ayala Méndez

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR
MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR
SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO
CATASTRAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALDO RENÉ GONZÁLEZ QUIÑÓNEZ

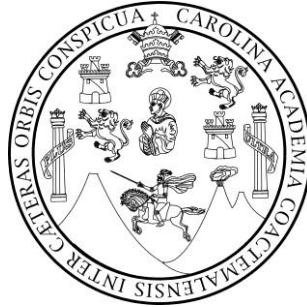
ASESORADO POR EL MSC. ING. ALAN BORIS AYALA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN GEOMÁTICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jorgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	MSc. Inga. María Elizabeth Aldana Díaz
EXAMINADOR	MSc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
SECRETARIA	MSc. Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO CATASTRAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha julio de 2016.



Aldo René González Quiñónez



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ES
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-020

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Ciencias en Geomática de titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO CATASTRAL"** presentado por el Ingeniero Civil Aldo René González Quiñónez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"



A. Quiñónez
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, octubre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-020

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Tesis titulado **"DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO CATASTRAL"** presentado por el Ingeniero Civil Aldo René González Quiñónez, correspondiente al programa de Maestría en Ciencias en Geomática; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

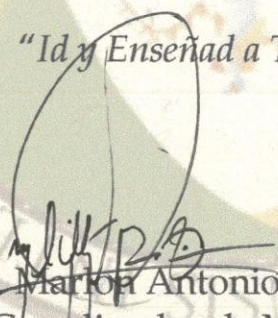
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-020

Como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Geomática del Trabajo de Tesis titulado **"DETERMINACIÓN DE LA PRECISIÓN DE LAS MEDIDAS OBTENIDAS POR MEDIO DE GPS DE DOBLE FRECUENCIA Y POST-PROCESADAS POR SERVICIOS EN LÍNEA COMO UNA OPCIÓN A LA RED DE APOYO CATASTRAL"** presentado por el Ingeniero Civil Aldo René González Quiñónez, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Marlon Antonio Pérez Türk
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Elsa y René

Pablo

Renata

Carlos

Ulises

Ana María

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Jorge Mansilla

Por su invaluable aporte en la realización de este trabajo.

**Ing. MSc Alan Boris Ayala
Méndez**

Por su asesoría.

**Dr. Marvin Roberto Salguero
Barahona**

Por su constante guía.

Ing. Elvis Chajón

Por su apoyo.

**Registro de Información Catastral
RIC**

1.3.	Posicionamiento preciso de puntos (PPP)	20
1.4.	Medición de una red geodésica local	21
1.4.1.	Método GPS	21
1.4.2.	Topografía clásica	22
1.5.	Estaciones de referencia de operación continua CORS	22
1.6.	Monumentación.....	24
1.7.	Redes de Apoyo Catastral RAC.....	25
1.8.	Normas Internacionales	27
1.8.1.	México	27
1.8.2.	Canadá	27
1.8.3.	Estados Unidos de América	27
1.9.	Sitios en línea para post-proceso de datos GPS.....	28
1.10.	Matemática aplicada	28
1.10.1.	Varianza	28
1.10.2.	Covarianza	29
1.10.3.	Desviación estándar	29
1.10.4.	Error medio cuadrático	30
1.10.5.	Elipse de error	30
1.10.6.	Análisis de varianza.....	32
1.10.7.	Criterio de Chauvenet.....	32
1.11.	Teoría de errores	33
1.11.1.	Errores y equivocaciones	33
1.11.2.	Errores verdaderos y aparentes	33
1.11.3.	Errores medios	34
1.11.4.	Errores sistemáticos y accidentales.....	35
1.12.	Rinex.....	35
2.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
2.1.	CORS Guatemala (GUAT)	39

2.2. CORS El Salvador (SSIA)	53
2.3. CORS Tapachula México (MTP1)	94
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXOS	133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Coordenadas cartesianas.....	3
2. Coordenadas esféricas	4
3. Coordenadas geográficas.....	5
4. Coordenadas geodésicas	6
5. Segmentos del sistema GPS	10
6. Posicionamiento absoluto	12
7. Posicionamiento diferencial	13
8. Dilución Geométrica de la Posición GDOP	14
9. Retrasos en la ionosfera	17
10. Reflexiones multiruta	18
11. Archivo RINEX.....	38
12. Elipse de error PPP-GUAT	42
13. Elipse de error OPUS-GUAT	45
14. Elipse de error AUSPOS-GUAT.....	48
15. Resultados CORS GUAT PPP – OPUS – AUSPOS.....	51
16. Elipse de error PPP-SSIA – 2 horas	56
17. Elipse de error PPP-SSIA – 4 horas	59
18. Elipse de error PPP-SSIA – 6 horas	63
19. Elipse de error OPUS-SSIA – 2 horas	67
20. Elipse de error OPUS-SSIA – 4 horas	71
21. Elipse de error OPUS-SSIA – 6 horas	74

22. Elipse de error AUSPOS-SSIA – 2 horas	78
23. Elipse de error AUSPO-SSIA – 4 horas.....	81
24. Elipse de error AUSPO-SSIA – 6 horas.....	84
25. Resultados CORS SSIA – PPP – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs	87
26. Resultados CORS SSIA – OPUS – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs	89
27. Resultados SSIA – AUSPOS – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs.....	91
28. Elipse de error PPP - MTP1 - 1 seg.....	98
29. Elipse de error PPP - MTP1 - 5 seg.....	101
30. Elipse de error PPP - MTP1 - 15 seg.....	104
31. Elipse de error PPP - MTP1 - 30 seg.....	107
32. Elipse de error OPUS - MTP1	111
33. Elipse de error AUSPOS - MTP1.....	115
34. Resultados PPP - MTP1 – 1, 5, 15 y 30 seg.	118

TABLAS

I. Coordenadas GUAT	39
II. Corrección CORS GUA	39
III. CORS GUA - PPP	40
IV. Chauvenet - CORS GUA – PPP	41
V. CORS GUA – OPUS.....	43
VI. Chauvenet – CORS GUAT – OPUS.....	44
VII. CORS GUA – AUSPOS	46
VIII. Chauvenet – CORS GUAT – AUSPOS.....	47
IX. Resultados CORS GUA	50

X.	ANDEVA - CORS GUAT – OPUS – AUSPOS	52
XI.	Coordenadas SSIA	53
XII.	Corrección CORS GUA	53
XIII.	CORS SSIA – 2 horas – PPP	54
XIV.	Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas - PPP	55
XV.	CORS SSIA – 4 horas – PPP.....	57
XVI.	Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – PPP	58
XVII.	CORS SSIA – 6 horas – PPP.....	60
XVIII.	Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – PPP	61
XIX.	Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – PPP (11 datos)	62
XX.	CORS SSIA – 2 horas – OPUS.....	64
XXI.	Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – OPUS	65
XXII.	Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – OPUS (11 datos)	66
XXIII.	CORS SSIA – 4 horas – OPUS.....	68
XXIV.	Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – OPUS	69
XXV.	Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – OPUS (11 datos).....	70
XXVI.	CORS SSIA – 6 horas – OPUS	72
XXVII.	Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – OPUS	73
XXVIII.	CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS	75
XXIX.	Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS	76
XXX.	Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS (11 datos)	77
XXXI.	CORS SSIA – 4 horas – AUSPOS	79
XXXII.	Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – AUSPOS	80
XXXIII.	CORS SSIA – 6 horas – AUSPOS	82
XXXIV.	Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – AUSPOS.....	83
XXXV.	Resultados SSIA – PPP	86
XXXVI.	Resultados SSIA – OPUS	88
XXXVII.	Resultados SSIA – AUSPOS	90
XXXVIII.	ANDEVA - CORS SSIA - PPP.....	92

XXXIX.	ANDEVA - CORS SSIA - OPUS	92
XL.	ANDEVA - CORS SSIA - AUSPOS.....	93
XLI.	Coordenadas MTP1	94
XLII.	Corrección CORS MTP1	94
XLIII.	CORS MTP1 - 1 SEGUNDO - PPP.....	95
XLIV.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1 SEGUNDO – PPP	96
XLV.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1 SEGUNDO – PPP (11 datos)	97
XLVI.	CORS MTP1 - 5 SEGUNDOS – PPP	99
XLVII.	Chauvenet – CORS MTP1 - 5 SEGUNDOS – PPP	100
XLVIII.	CORS MTP1 - 15 SEGUNDOS – PPP	102
XLIX.	Chauvenet – CORS MTP1 - 15 SEGUNDOS – PPP	103
L.	CORS MTP1 - 30 segundos – PPP	105
LI.	Chauvenet – CORS MTP1 - 30 SEGUNDOS – PPP	106
LII.	CORS MTP1 - 1, 5, 15 y 30 segundos - OPUS	108
LIII.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – OPUS	109
LIV.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – OPUS (11 datos).....	110
LV.	CORS MTP1 - 1, 5, 15 y 30 segundos - AUSPOS.....	112
LVI.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – AUSPOS ...	113
LVII.	Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – AUSPOS (10 datos).....	114
LVIII.	Resultados CORS MTP1 – PPP	117
LIX.	Resultados MTP1 – OPUS.....	119
LX.	Resultados MTP1 – AUSPOS.....	119
LXI.	ANDEVA - CORS MTP1 – PPP	120

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>f</i> :	Achatamiento de una elipse.
a :	Semieje mayor de una elipse.
b :	Semieje menor de una elipse.
ppm :	partes por millón.
L1, L2 :	Frecuencias utilizadas por el GPS.

GLOSARIO

- Datum:** Es una superficie constante y conocida, utilizada para describir la localización de puntos sobre la Tierra.
- Elipsoide:** Un elipsoide es una superficie curva cerrada cuyas tres secciones ortogonales principales son elípticas, es decir, son originadas por planos que contienen dos ejes cartesianos.
- GDOP:** Dilución geométrica de la posición, es el efecto de la relación espacial de los satélites relativa al usuario.
- Geoide:** Superficie donde la dirección de la gravedad es perpendicular en todos los lugares y se corresponde con el valor de la gravedad que se experimenta en el nivel medio del mar.
- GPS:** Global Positioning System que significa Sistema de posicionamiento global, se utiliza para determinar la posición con coordenadas de latitud, longitud y altura.
- GTM:** Adaptación de las coordenadas UTM a la República de Guatemala.
- Latitud:** Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos

- Longitud:** Distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich.
- NIMA:** Agencia Nacional de Imágenes y Cartografía del Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- PPP:** Posicionamiento preciso de puntos, es una técnica de posicionamiento en la cual un solo receptor es usado para determinar las coordenadas.
- RAC:** Redes de Apoyo Catastral del Registro de Información Catastral RIC.
- RINEX:** Formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite.
- UERE:** Error de distancia equivalente del usuario o error total del presupuesto.
- UTM:** El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator.
- WGS84:** Datum universal con cobertura en toda la superficie terrestre, evitando la territorialidad del resto de datums existentes, basado en el elipsoide WGS84.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se realizó el análisis para determinar la precisión del posicionamiento autónomo utilizando receptores GPS de doble frecuencia realizando el post-proceso de los datos por medio de los servicios gratuitos disponibles en línea para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral RAC.

Para el efecto, se realizó un plan de muestreo seleccionando la CORS GUAT ubicada en ciudad de Guatemala, Guatemala, la CORS SSIA, ubicada en la ciudad de San Salvador, El Salvador y la CORS MTP1, ubicada en la ciudad de Tapachula, México.

Se procedió a descargar los datos de las CORS del sitio *web* de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América.

Se realizó el post-proceso de los datos en 3 diferentes servicios: el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>), el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service” (<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>) y el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (<http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>), por ser los más populares. Los datos fueron depurados por medio del criterio de Chauvenet. Para el análisis se calculó el

error medio cuadrático de las mediciones, utilizando las coordenadas oficiales de las CORS seleccionadas y se realizó un análisis de varianza.

En el primer capítulo, se aborda el marco teórico, donde se explican los conceptos de Geodesia, el Sistema Global de Posicionamiento, el Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP), la medición de una red geodésica local, las estaciones de referencia de operación continua CORS, monumentación, las redes de apoyo catastral RAC, Normas internacionales aplicables, sitios en línea para el post-proceso de datos GPS, matemática aplicada, teoría de errores y el concepto de archivo RINEX.

En el capítulo 2 se presentan y analizan los resultados, por medio de tablas de resultados y gráficas auxiliares.

Se concluyó que los tres sitios de post-proceso en línea estudiados no tienen diferencias significativas con respecto a la precisión de los resultados, que el tiempo de duración de las mediciones de 2, 4 o 6 horas, así como el intervalo de captura de 1, 5, 15 y 30 segundos no tienen incidencia significativa en los resultados. Por tanto, las mediciones realizadas con GPS de doble frecuencia con post-proceso de los datos, por medio de los servicios en línea gratuitos estudiados tienen la precisión necesaria para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.

Se recomienda fomentar el uso de las mediciones con GPS de doble frecuencia con post-proceso de los datos, por medio de los servicios en línea para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

La monumentación de los puntos geodésicos o vértices de la Red de Apoyo Catastral RAC es la materialización física de la Red de Apoyo Catastral de primer, segundo y tercer orden, atendiendo al diseño aprobado por el Registro de Información Catastral RIC y a las características que debe llenar cada monumento, según su orden y que están establecidas en las normas del Registro de Información Catastral RIC.

Generalmente estos monumentos sufren alteraciones tanto en su posición como en las condiciones que los rodean que obstaculizan o alteran las posiciones de los mismos, por lo que ya no pueden ser utilizados como referencia de los trabajos catastrales. Esto provoca grandes pérdidas económicas al RIC y muchos inconvenientes a los agrimensores, quienes son usuarios de estos monumentos, ya que pierden tiempo y recursos tratando de localizar monumentos que ya no existen o teniendo que hacer nuevas mediciones cuando se detecta en gabinete, después de realizadas las mediciones, que los monumentos se han movido de su posición original.

Lo expuesto anteriormente, evidencia la necesidad de la búsqueda de métodos alternos a la monumentación de la Red de Apoyo Catastral RAC como puede ser el posicionamiento autónomo.

El presente trabajo pretende responder y aportar información en relación a las siguientes preguntas: ¿Cuál es la precisión de la posición obtenida con un levantamiento autónomo utilizando receptores GPS de doble frecuencia?, ¿Cuál

de los servicios en línea de procesamiento de datos GPS obtiene las mejores precisiones?, ¿En qué medida incide la duración de las observaciones en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia? y ¿En qué medida incide el intervalo de captura en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia?

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

- Determinar la precisión del posicionamiento autónomo utilizando receptores GPS de doble frecuencia realizando el post-proceso de los datos, por medio de los servicios disponibles en línea para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral RAC.

Objetivos específicos

- Determinar cuál es el servicio en línea de procesamiento de datos para receptores GPS de doble frecuencia que ofrece mejor precisión para que sirva de apoyo a los agrimensores del país.
- Determinar en qué medida la duración de las observaciones tiene una incidencia en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia.
- Determinar en qué medida el intervalo de captura tiene una incidencia en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia.

Hipótesis

Se pueden determinar posiciones de puntos aislados con gran precisión haciendo uso de receptores GPS de doble frecuencia y servicios de post-proceso en línea sin necesidad de utilizar los monumentos de las redes geodésicas disponibles, tiene como variable la precisión de la posición absoluta

de los puntos, basados en las publicaciones de Wells et al (1999) que así lo sugiere, así como el amplio desarrollo de sitios de post-proceso en línea.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El tipo de estudio del presente trabajo de investigación se enmarca en el tipo descriptivo y analítico, tiene como variables la posición de los puntos geográficos y como indicadores la duración de las mediciones y el intervalo de captura de los datos de los GPS. El estudio es de carácter no experimental.

Plan de muestreo

Los datos de las CORS (Continuously Operating Reference Station) se obtuvieron del sitio *web* de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América relacionado con las Estaciones de Referencia de Operación Continua CORS.

Para determinar cuál es el servicio en línea de procesamiento de datos para receptores GPS de doble frecuencia que ofrece mejor precisión que sirva de apoyo a los agrimensores del país, se seleccionaron los sitios *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>), el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service” (<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>) y el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (<http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>) por ser los más populares. Se tomaron 12 muestras con rango de 2 horas e intervalos de 30 segundos de la CORS de ciudad de Guatemala identificada como GUAT en el sitio de la NOAA. Las 12 muestras se tomaron 1 cada 2 meses para abarcar un período de 2 años.

Para determinar en qué medida la duración de las observaciones tiene una incidencia en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia, se tomaron 12 muestras con rango de 2 horas, 12 muestras con rango de 4 horas y 12 muestras con rango de 6 horas con intervalos de captura de 15 segundos de la CORS de la ciudad de San Salvador, El Salvador, identificada como SSIA en el sitio de la NOAA. Las 12 muestras se tomaron 1 cada 2 meses para abarcar un período de 2 años.

Para determinar en qué medida el intervalo de captura tiene una incidencia en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia, se tomaron 12 muestras con intervalos de captura de 1 segundo, 12 muestras con intervalos de 5 segundos, 12 muestras con intervalos de 15 segundos y 12 muestras con intervalos de 30 segundos de la CORS de la ciudad de Tapachula, Estado de Chiapas, México, identificada como MTP1 en el sitio de la NOAA. Las 12 muestras se tomaron 1 cada 2 meses para abarcar un período de 2 años.

Trabajo de laboratorio

Los datos obtenidos se procesaron en los sitios de servicio gratuito de procesamiento de datos GPS en línea mencionados en el apartado anterior. A estos sitios se enviaron los datos crudos (RINEX) obtenidos de la medición con el GPS y a vuelta de correo se recibieron las coordenadas del punto medido.

A los datos obtenidos por medio de los servicios en línea, se procedió a realizar la corrección de desplazamiento para equiparar las coordenadas obtenidas a la misma época de las coordenadas oficiales de los puntos.

Posteriormente, se utilizó el criterio de Chauvenet para el saneamiento de las muestras.

Por último, se calculó el error medio cuadrático y se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95 % para determinar si existe una diferencia significativa entre los métodos evaluados.

El Registro de Información Catastral, en su normativa técnica, carece de una especificación de exactitud posicional horizontal absoluta. Normas internacionales, como la de México, Canadá y Estados Unidos de América referidas en el inciso 1.8, establecen una exactitud posicional horizontal absoluta de 10 centímetros para puntos de control similares a las Redes de Apoyo Catastral. Para determinar si el posicionamiento autónomo utilizando receptores GPS de doble frecuencia realizando el post-proceso de los datos por medio de los servicios disponibles en línea tiene la precisión necesaria para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral RAC, se comparó el valor del error medio cuadrático contra la normativa internacional de 10 centímetros.

Técnicas de análisis de información

Una vez obtenidos los puntos corregidos (P_i), se procedió a comparar su valor contra el valor oficial de la posición de la CORS (PO). Siendo:

X_0 = Coordenada X del punto oficial PO .

Y_0 = Coordenada Y del punto oficial PO .

H_0 = Altura del punto oficial PO .

X_i = Coordenada X de la muestra i .

Y_i = Coordenada Y de la muestra i .

H_i = Altura de la muestra i .

Se obtuvo la diferencia de la coordenada de cada muestra con la posición oficial, para la coordenada X:

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_0$$

. . .

$$\Delta X_{12} = X_{12} - X_0$$

Para la coordenada Y:

$$\Delta Y_1 = Y_1 - Y_0$$

$$\Delta Y_2 = Y_2 - Y_0$$

. . .

$$\Delta Y_{12} = Y_{12} - Y_0$$

Para la altura:

$$\Delta H_1 = H_1 - H_0$$

$$\Delta H_2 = H_2 - H_0$$

. . .

$$\Delta H_{12} = H_{12} - H_0$$

Con el valor de las 12 diferencias de cada coordenada obtuvimos la desviación estándar. Se calcula además el promedio de error, el error medio cuadrático, el máximo y mínimo error, la coordenada promedio (CP), la distancia entre la Posición Oficial y la Coordenada Promedio. La elipse de confianza al 95 % y su área se calculó utilizando el software R.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de Tesis tiene como propósito determinar la precisión de los equipos GPS de doble frecuencia con post-proceso en servicios de procesamiento de datos en línea como una opción a la Red de Apoyo Catastral. Las especificaciones de los equipos GPS ofrecen precisiones bajo ciertas condiciones, que por lo general, no corresponden a las condiciones en campo y los sitios de procesamiento de datos en línea ofrecen mejorar las precisiones de las mediciones obtenidas por los GPS a través de algoritmos propios, por lo que se hace necesario verificar las precisiones que se pueden alcanzar con la combinación de ambos. Una vez determinada la precisión, con el conocimiento adquirido, se puede encontrar aplicaciones como podría ser prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral, debido a que la posición de su monumentación está sujeta a cambios por la destrucción de los monumentos, el vandalismo o movimientos por estar instalada en algunas ocasiones en lugares inapropiados. Con la confirmación de lo anterior se podrían ahorrar recursos valiosos que actualmente se utilizan para la densificación y mantenimiento de las redes geodésicas.

Para llevar a cabo el estudio, se utilizaron los datos de las mediciones de las Estaciones de Referencia de Operación Continua CORS de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América, posteriormente los datos se procesaron en diferentes sitios en línea que ofrecen el servicio de procesamiento de datos GPS y los resultados se compararon con las coordenadas oficiales de dichos puntos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos de Geodesia

1.1.1. La forma de la Tierra

Según indica Hoar (1982), durante la historia de la humanidad siempre ha habido un interés por determinar la forma y medidas de la Tierra, siendo Pitágoras el primero en postular una forma redonda. Posteriormente, se determinó que la forma de la Tierra era más un elipsoide achatado en los polos. Observaciones posteriores, tomando en cuenta que la línea de nivel es perpendicular a la dirección de la gravedad en el punto de observación, dieron lugar al concepto de Geoide.

- Modelo esférico

Torge (2001), indica que por el tiempo de Aristóteles (384-322 AC) el concepto esférico era ampliamente aceptado debido a la observación de la forma redonda de la sombra de la Tierra sobre la Luna en los eclipses y el aparente levantamiento de los barcos cuando venían del horizonte.

- Modelo Elipsoidal

Por observaciones hechas por el astrónomo J. Richer – indica Torge (2001) – donde observó que un péndulo de un segundo debía ser

reajustado en París y junto a su teoría de gravitación e hidrostática Isaac Newton desarrolla el modelo de la Tierra como un elipsoide, con un achatamiento según la siguiente ecuación:

$$f = \frac{a-b}{a}$$

Donde “a” es el semieje mayor y “b” el semieje menor.

- **Modelo Geoidal**

Según lo indicado por Torge (2001), Laplace, Gauss, Bessel y otros reconocieron que ya no era posible mantener el modelo elipsoidal porque no permitía obtener un alto nivel de precisión debido a la desviación de la plomada que no podía ser ignorada. Esto condujo a mejorar la definición de “Figura de la Tierra” por Gauss y Bessel quienes claramente distinguieron entre la superficie física de la Tierra, el geode como una superficie matemática y el elipsoide como una superficie de referencia aproximada.

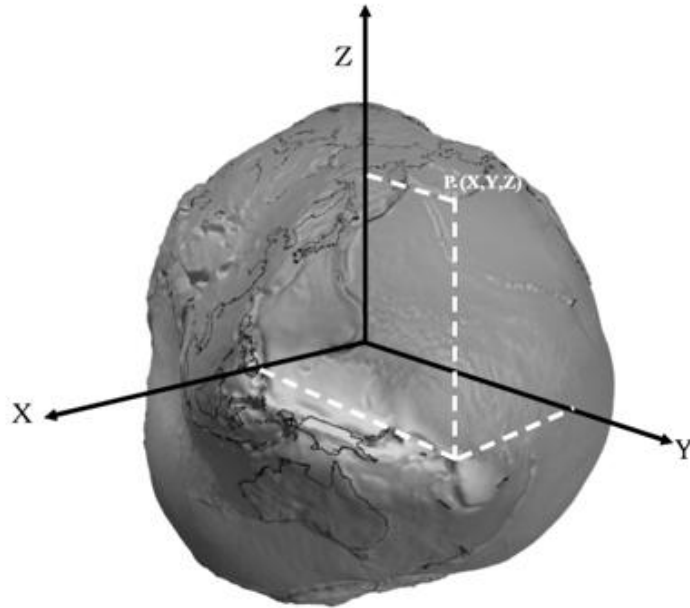
Hoar (1982), define al geode como una superficie equipotencial al nivel del mar.

1.1.2. Sistemas de coordenadas

- **Coordenadas cartesianas y esféricas**

Como lo indica Furones (2011), presentan las coordenadas X, Y y Z en una triplete de ejes definida como lo muestra la Figura 1.

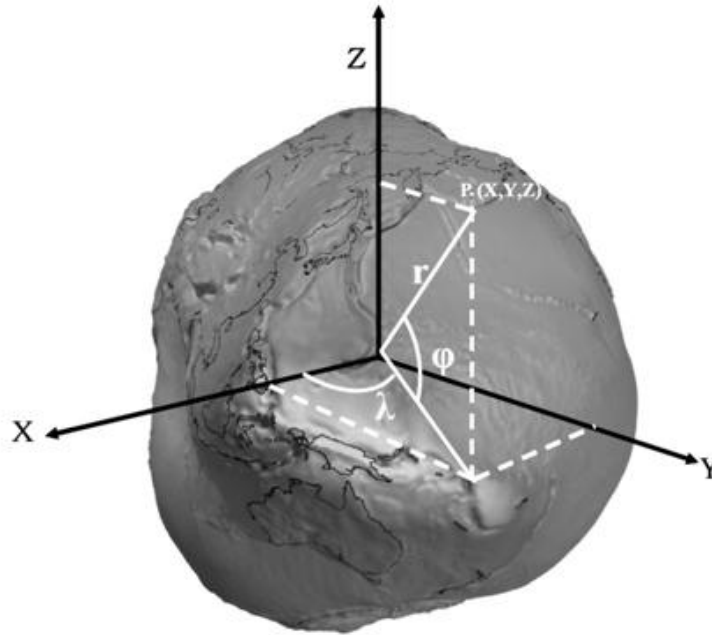
Figura 1. **Coordenadas cartesianas**



Fuente: Furones (2011)

Conforme lo indica Furones (2011), las coordenadas esféricas incluyen: “r” como la distancia radial al geocentro, φ como la latitud geocéntrica que es el ángulo entre “r” y el plano ecuatorial y por último λ como la longitud geocéntrica que es el ángulo formado entre el meridiano de Greenwich y el del punto de cálculo medido sobre el plano del ecuador como lo muestra la Figura 2.

Figura 2. **Coordenadas esféricas**

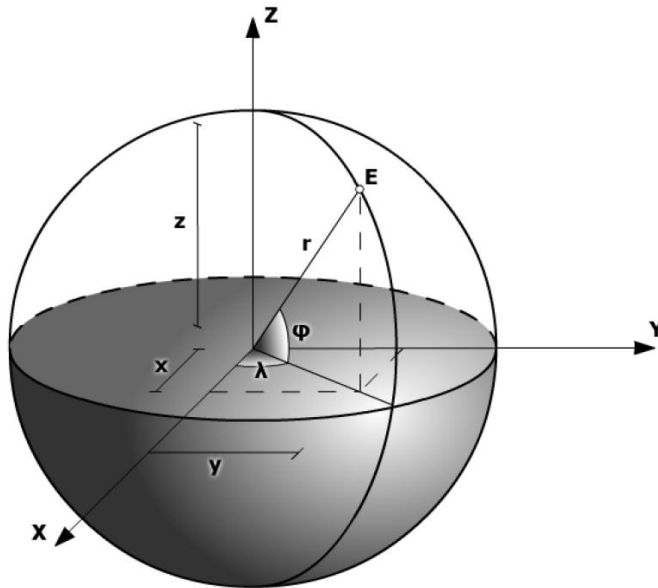


Fuente: Furones (2011)

- **Coordenadas geográficas**

Conforme a Furones (2011), estas coordenadas consideran la Tierra como una esfera homogénea de radio “ r ”, la posición de un punto sobre la Tierra se determina por dos coordenadas: latitud geográfica (ϕ) que es el ángulo que forma la vertical del punto con el plano del Ecuador y la longitud geográfica (λ) que es el ángulo que forma el meridiano del punto con el meridiano de origen como lo ilustra la Figura 3. La latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio sur. La longitud geográfica varía de 0 a 180 grados en el hemisferio oriental y de 0 a -180 grados en el hemisferio occidental.

Figura 3. **Coordenadas geográficas**

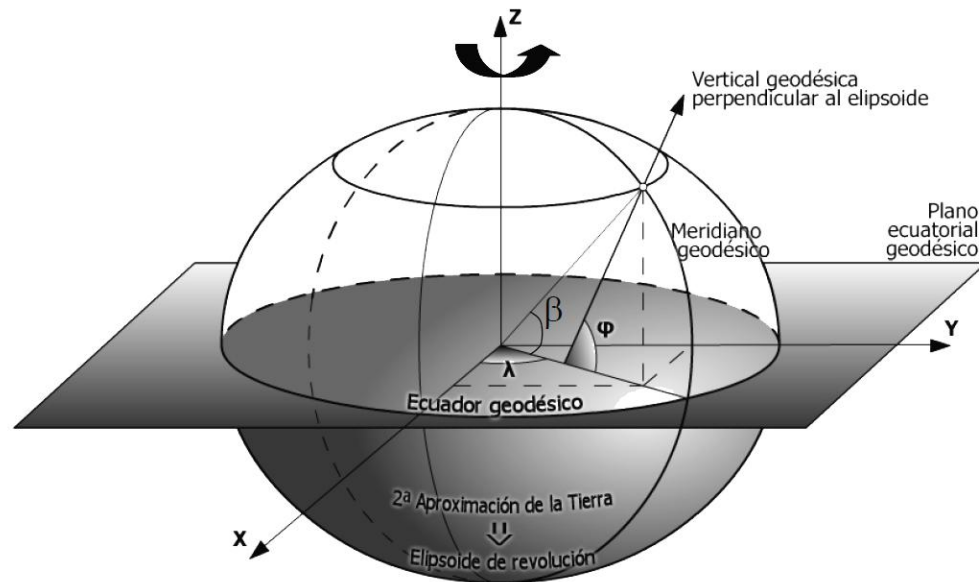


Fuente: Furones (2011)

- **Coordenadas geodésicas y geocéntricas**

Según Furones (2011), estas coordenadas consideran a la Tierra como un elipsoide de revolución cuyo centro coincide con el centro de referencia. Lo forman: la latitud geodésica que es el ángulo que forma la vertical en el punto y que no pasa por el centro con el plano del ecuador y la longitud geodésica que es el ángulo formado por el meridiano geodésico con el meridiano geodésico de origen como lo muestra la Figura 4:

Figura 4. **Coordenadas geodésicas**



Fuente: Furones (2011)

1.1.3. **Sistemas geodésicos de referencia**

- Sistemas locales

Según Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (1999), un sistema local queda definido por un elipsoide de referencia y un punto de origen o datum. El datum es el punto donde coincide la vertical del lugar con la normal al elipsoide dando en consecuencia una buena adaptación entre el geoide y el elipsoide elegido. En estos sistemas destacan dos problemas: cuando se encuentran dos o más redes geodésicas basadas en diferentes sistemas se obtienen diferencias de coordenadas inaceptables y son planimétricos no contemplan las cotas altimétricas.

- Sistemas geocéntricos

Como se explica en Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (1999), en estos sistemas se especifican tres ejes ortogonales cartesianos (X, Y, Z) cuya intersección se encuentra en el centro de masa de la Tierra. Se encuentran fijados a la Tierra, el eje X pasa por el meridiano de origen, el eje Z pasa próximo al eje de rotación de la Tierra, por lo tanto el sistema gira junto con la Tierra. Estos sistemas son tridimensionales y de alcance global. Desaparece el concepto de punto datum.

- Sistemas de referencia y marcos de referencia

En Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (1999), se aclara la diferencia entre sistemas de referencia y marcos de referencia. Los sistemas de referencia son los enunciados en los incisos anteriores, se definen a partir de consideraciones matemáticas y físicas. Los marcos de referencia son la materialización de los puntos en el terreno, ubicados con gran exactitud y precisión según algún sistema de referencia.

- Sistema de coordenadas WGS84

Como se indica en NIMA (2000), el WGS84 es un sistema convencional terrestre (CTS) que tiene las siguientes características:

- Es geocéntrico, el centro de masa fue sido definido por toda la Tierra incluyendo océanos y atmósfera.

- Su escala es la del marco local de la Tierra en concordancia de la teoría relativista de gravitación.
- Su orientación fue definido por el Bureau Internacional de la Hora (BIH) para la época de 1984.0
- La evolución del tiempo en orientación no creará residuos de rotación globales con respecto a la corteza.

NIMA (2000), hace mención que el origen del sistema de coordenadas WGS84 también es el centro geométrico del elipsoide WGS84.

- Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM)

Según Fallas (2003), es un sistema de coordenadas planas basadas en la proyección Transversal de Mercator. Se establecen meridianos centrales cada 6° de longitud definiendo 60 zonas que se extienden 3° de longitud a cada lado del meridiano central. En cada zona se sobrepone un cuadrículado rectangular que corresponden a las coordenadas expresadas en metros. Al meridiano central se le asigna un valor de falso este de 500,000 metros y al ecuador un valor norte de 0 metros para puntos localizados en el hemisferio norte.

- Guatemala Transversa de Mercator (GTM)

En el sitio *web* del Instituto Geográfico Nacional – IGN (s. f.) – se da a conocer la resolución normativa IGN-01/99 donde el consejo técnico del IGN adopta una proyección local modificando la proyección

UTM en uso cambiando la longitud de origen o meridiano central a $90^{\circ} 30'$, dando así origen a las coordenadas GTM.

1.2. Sistema Global de Posicionamiento GPS

Según US Army Corps of Engineers (2003), el GPS es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que opera las 24 horas del día en todo tipo de clima que cuya operación y mantenimiento está a cargo del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Consiste de una constelación de 24 satélites nominales en órbitas de gran altitud. Provee información en tiempo real de posicionamiento 3D, navegación y velocidad. Las distancias son medidas entre el receptor GPS y 4 a 10 satélites en vista y la posición se determina por el ajuste de los vectores, equivalente al procedimiento de trilateración en los levantamientos terrestres. La distancia se mide calculando el tiempo que le toma a una señal codificada del satélite a la antena del receptor.

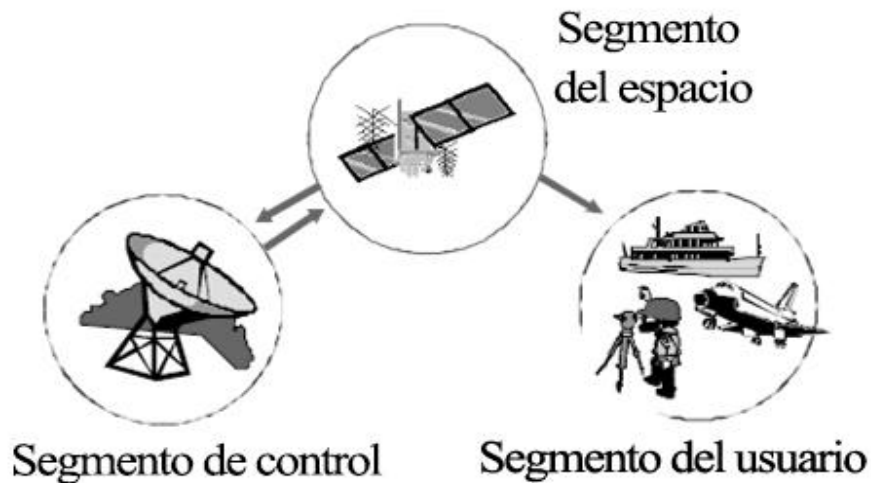
1.2.1. Configuración del sistema

El sistema consiste de tres segmentos, como lo indica US Army Corps of Engineers (2003), ver Figura 5:

- Segmento del espacio: consiste de todos los satélites GPS en órbita.
- Segmento de control: consiste de dos estaciones master de control y seis estaciones de monitoreo localizadas alrededor del mundo.

- Segmento del usuario: representan las unidades receptoras GPS en tierra que procesan la señal de los satélites para calcular la posición y/o velocidad de un usuario. Las aplicaciones de levantamientos geodésicos representan un porcentaje muy pequeño del potencial de usuarios GPS.

Figura 5. **Segmentos del sistema GPS**



Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

1.2.2. Frecuencias de transmisión y códigos

Indica US Army Corps of Engineers (2003), que cada satélite transmite señales en dos frecuencias en la banda L, designadas L1 y L2. La frecuencia portadora de la L1 es 1,575.42 MHz y tiene una longitud de onda aproximada de 19 centímetros. La frecuencia portadora de la L2 es 1227.60 MHz y tiene una longitud de onda aproximada de 24 centímetros. La señal L1 es modulada con un código (C/A) de 1.023 MHz y con un código de Precisión (Código P) a 10.23

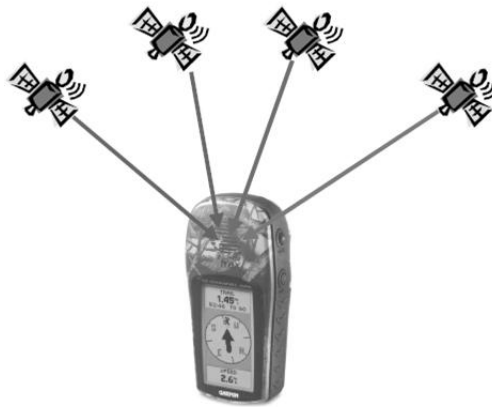
MHz. La señal L2 sólo tiene el código P. Ambos códigos pueden ser utilizados para determinar la distancia entre el usuario y un satélite. Normalmente el código P está encriptado y está disponible sólo para usuarios autorizados, cuando está encriptado se le conoce como código Y.

1.2.3. Técnica GPS de posicionamiento absoluto

La técnica más común de posicionamiento es el “posicionamiento absoluto”, indica US Army Corps of Engineers (2003). Las distancias hacia los satélites son observadas por un solo receptor sobre un punto del cual deseamos conocer su posición, ver Figura 6. El receptor puede estar estacionario sobre un punto o en movimiento (posición cinemática). Se pueden obtener dos niveles de precisión:

- Servicio estándar de posicionamiento (SPS) que es el servicio que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América autoriza a los civiles; y
- Servicio preciso de posicionamiento (PPS) que requiere por parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América una autorización para el uso de equipo decodificador de las señales encriptadas del GPS.

Figura 6. **Posicionamiento absoluto**

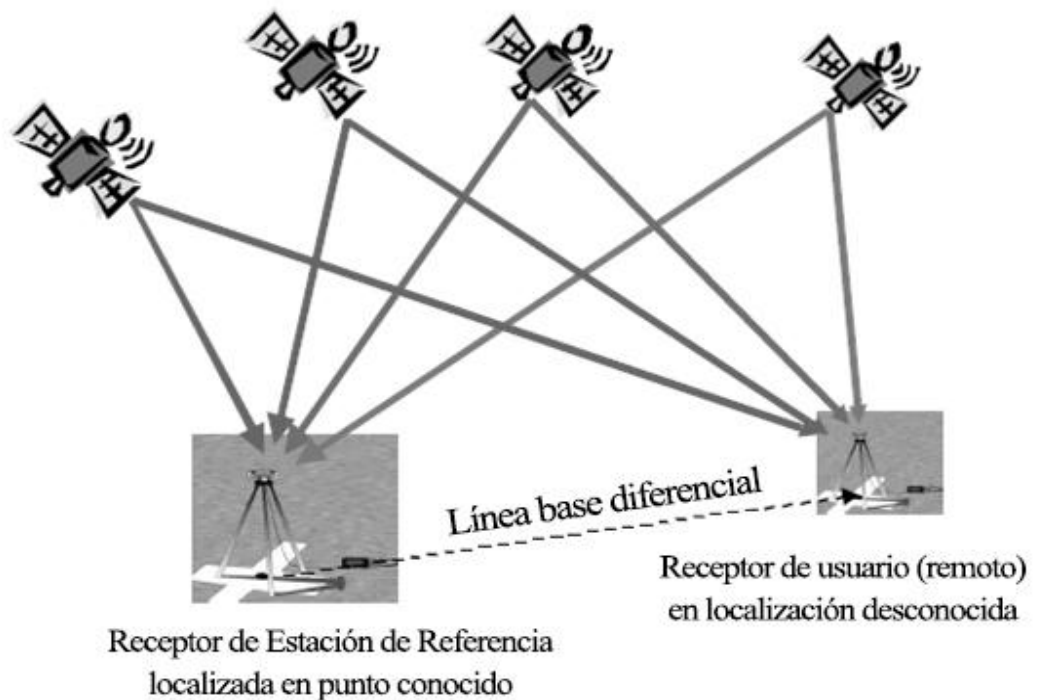


Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

1.2.4. Técnica GPS de posicionamiento diferencial o relativo

US Army Corps of Engineers (2003) indica que es simplemente un proceso de determinar las diferencias relativas en coordenadas entre dos puntos con receptores, los cuales están siendo medidos simultáneamente, ver Figura 7. Por lo general, uno de los receptores está posicionado en un punto de referencia conocida y el otro, llamado remoto o “rover” se posiciona sobre los puntos que se desean georeferenciar. Ambos receptores adquieren simultáneamente datos que luego se calcularán en lo que se conoce como post-proceso. Esta técnica se puede realizar en modo estático o dinámico (cinemático).

Figura 7. **Posicionamiento diferencial**



Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

1.2.5. **Precisión para posicionamiento de punto absoluto**

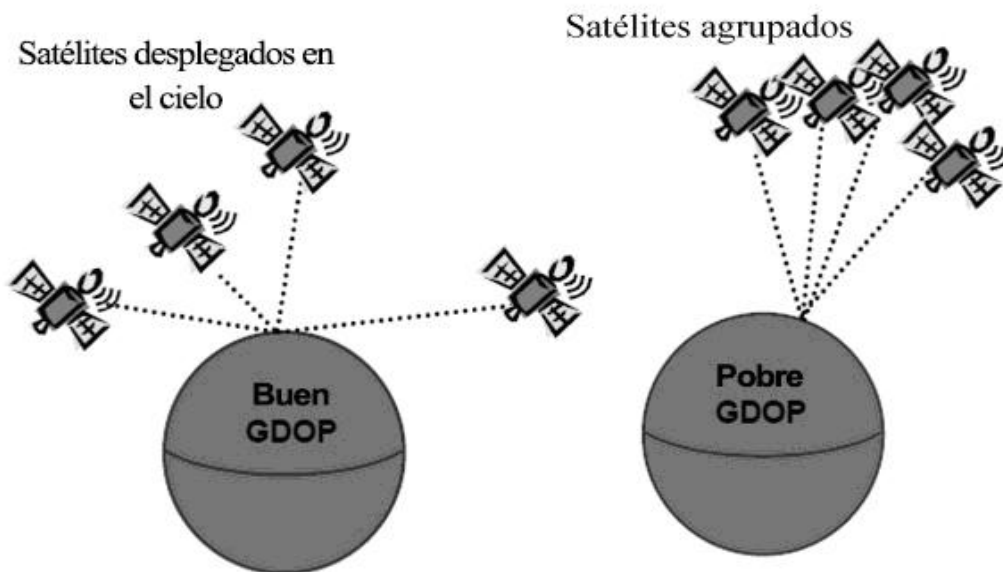
Según US Army Corps of Engineers (2003), en general hay dos componentes que determinan la precisión de la posición de un GPS la Dilución Geométrica de la Posición (GDOP) y el Error de distancia equivalente del usuario (UERE).

- Dilución Geométrica de la Posición GDOP

Es el efecto geométrico – indica US Army Corps of Engineers (2003) – de la relación espacial de los satélites relativas al usuario. Se conoce como la “fuerza de la figura” para el cálculo de la posición por

trilateración. Varía rápidamente con el tiempo, ya que los satélites se están moviendo. Ver Figura 8.

Figura 8. Dilución Geométrica de la Posición GDOP



Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

Según US Army Corps of Engineers (2003):

- En un modo más práctico el GDOP es una cantidad escalar de la contribución de la configuración de la constelación de los satélites a la precisión del GPS. Los satélites esparcidos alrededor del horizonte proveerán la mejor posición horizontal, pero la elevación vertical más débil. Por el contrario, si todos los satélites se encuentran en altitudes altas, caerá la precisión horizontal y la vertical mejorará.
- Los valores de GDOP en el posicionamiento absoluto GPS es una medida de la precisión espacial de una posición 3D y tiempo.

Puede ser calculada en los receptores en tiempo real y se puede usar como un indicador de control de calidad.

- Dilución posicional de precisión (PDOP). Es la medida de la precisión de una posición 3D.
- Dilución horizontal de precisión (HDOP). Es la medida de la precisión de una posición horizontal en 2D.
- Dilución vertical de precisión (VDOP). Es la medida de la precisión de la desviación estándar de la altura vertical.
- Valores aceptables de DOP. En general, los valores de GDOP y PDOP deben ser menores de 6 para una solución confiable y menores de 5 para una solución óptima. Los valores de HDOP normalmente están en el rango de 2 a 3 y de VDOP alrededor de 3 a 4.
- Error de distancia equivalente del usuario (UERE)

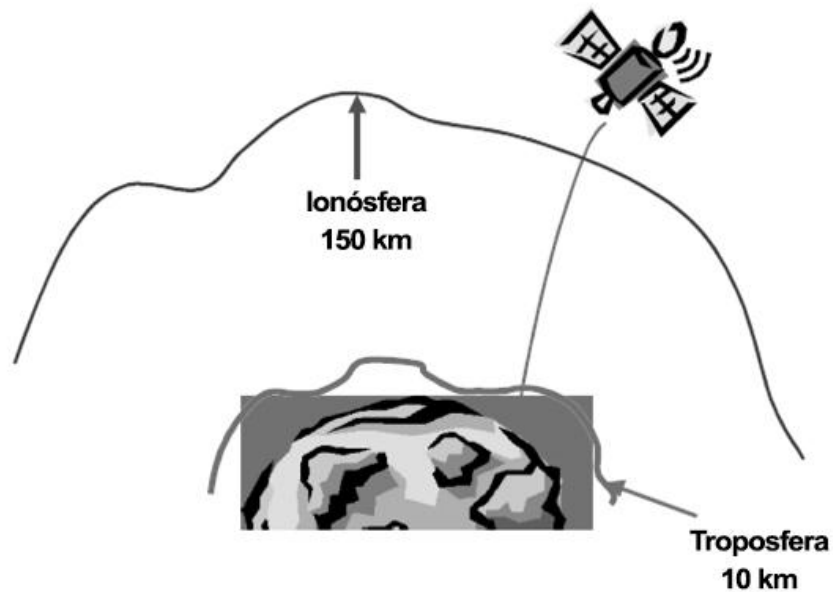
El error total del presupuesto se resume como error de distancia equivalente del usuario (UERE) o error de distancia del usuario (URE) como lo indica US Army Corps of Engineers (2003). Para distinguir entre los errores dependientes del satélite y los del receptor del usuario fue definida una señal en el espacio (SISURE) por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Esta señal no incluye el ruido del receptor ni el efecto multirruta.

1.2.6. Fuentes de error para posicionamiento de punto absoluto

Hay una gran variedad de fuentes que provocan error en las mediciones e influyen en el rendimiento del GPS - US Army Corps of Engineers (2003) – muchos de estos son minimizados o eliminados cuando se utiliza posicionamiento diferencial. Entre las fuentes de error tenemos:

- Errores en las efemérides y perturbaciones en las órbitas. Los errores en las efemérides son errores en la predicción en la posición del satélite, dependen del satélite y son muy difíciles de corregir.
- Estabilidad del reloj. El GPS se basa fuertemente en las mediciones precisas del tiempo. Los satélites llevan relojes de rubidio o cesio que son precisas en 1 parte en 10^{12} y 1 parte en 10^{13} mientras que la mayoría de receptores utilizan receptores de cuarzo precisas en 1 parte en 10^8 .
- Retrasos en la ionosfera. Las señales del GPS son electromagnéticas y se dispersan y refractan en forma no lineal cuando son transmitidas, a través de ambientes altamente cargados como la ionosfera. Ver Figura 9.

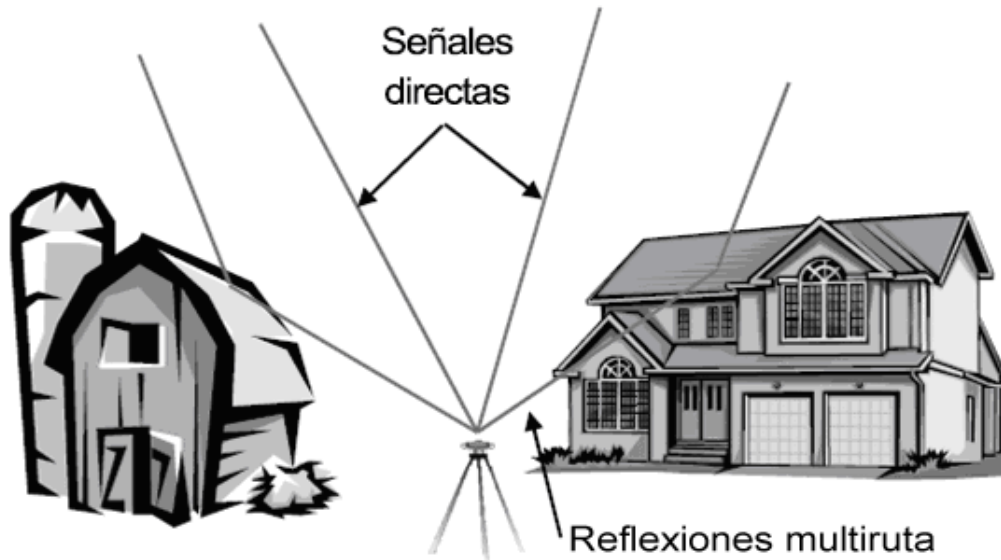
Figura 9. Retrasos en la ionosfera



Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

- Retrasos en la troposfera. Las señales GPS en la banda L no son dispersadas por la troposfera, pero son refractadas por la humedad en la parte baja de la atmósfera. Las condiciones troposféricas que causan refracción en las señales de GPS puede ser modelada midiendo los componentes seco y húmedo.
- Multiruta. Es un error en el posicionamiento, que ocurre cuando la señal llega al receptor por diferentes caminos. Ver Figura 10. Ocurre normalmente cerca de grandes áreas reflectivas.

Figura 10. Reflexiones multirruta



Fuente: US Army Corps of Engineers (2003)

- Ruido en el receptor. Incluye una variedad de errores asociada a la habilidad del receptor de medir una diferencia finita de tiempo.
- Disponibilidad selectiva (S/A) y Anti-Spoofing (A/S). Antes del año 2000, la disponibilidad selectiva fue activada a propósito para degradar la señal del satélite y crear errores en la posición. Antes del año 2000, los efectos del S/A fueron eliminados utilizando las técnicas diferenciales. El Anti-Spoofing consiste en intercambiar el código P con un código Y clasificado para denegar a usuarios que no poseen dispositivos de decriptación autorizados.

1.2.7. Precisión para GPS diferencial

Según US Army Corps of Engineers (2003) hay dos niveles de precisión que se obtienen al utilizar técnicas diferenciales de GPS:

- Precisión de código pseudodistancia. Pueden ser desarrolladas del código C/A o del P que es más preciso. La precisión del posicionamiento de un punto se encuentra generalmente en el rango de 0.5 metros a 5 metros con un nivel de confianza del 95 %.
- Formulaciones de fase de la portadora. Pueden estar basadas en las señales L1, L2 o ambas. Pueden alcanzar precisiones del 1 % de la longitud de onda, para el caso de la frecuencia L1 teóricamente sería cerca de 2 milímetros.
- Precisiones estimadas para los sistemas GPS diferenciales. Las precisiones son muy variadas y dependen de muchos factores, además, son difíciles de cuantificar debido a la variedad de receptores GPS. Las precisiones indicadas por los fabricantes son sujetas a condiciones de observación desconocidas y advertencias.

1.2.8. Fuentes de error para posicionamiento diferencial

Las fuentes de error son las mismas que para el posicionamiento absoluto, sin embargo muchos de estos errores son minimizados efectivamente cuando se emplean las técnicas adecuadas, especialmente en líneas base cortas y utilizando receptores de doble

frecuencia de alta calidad, según lo indica US Army Corps of Engineers (2003). Los errores que son minimizados o eliminados incluyen:

- Disponibilidad Selectiva.
- Retrasos en la ionosfera y troposfera.
- Errores en las efemérides.
- Errores en los relojes del satélite.

1.3. Posicionamiento preciso de puntos (PPP)

Según Leandro, R. (2009), el posicionamiento preciso de puntos PPP es una técnica de posicionamiento en la cual un solo receptor es usado para determinar las coordenadas. Se le llama preciso por los así llamados productos precisos que se utilizan en el procesamiento de los datos, refiriéndose a las órbitas y relojes. Se le llaman precisos a estos productos, porque fueron el resultado del post-proceso de datos de GPS de muchas estaciones de monitoreo en tierra distribuidos alrededor del mundo.

Langley, R. (Abril, 2009, p. 45) señala que la técnica del PPP tiene las siguientes limitaciones técnicas:

- Período de convergencia. Requiere de largos períodos de inicialización para que converjan las fases de ambigüedad a valores casi constantes y alcanzar su precisión óptima. Depende de varios factores como el número y geometría de los satélites visibles, ambiente y dinámica del usuario, calidad de la observación y tasa de muestreo.

- Precisión. Los principales factores que limitan la precisión del PPP son la limitada precisión de las orbitas y de los relojes así como la falta de modelado de las fuentes de error.
- Integridad. La integridad del monitoreo es una parte esencial de cualquier sistema de posicionamiento o navegación. En el proceso de PPP algunos parámetros son estimados y otros son eliminados, a través de estimaciones derivadas de procesos separados sin soluciones múltiples.

1.4. Medición de una red geodésica local

Dentro de la metodología de implantación y mantenimiento de una red geodésica local, Rastrero (2014), dedica un apartado para la planificación y ejecución de las mediciones. Indica que la elección de los métodos de medición estarán condicionados a los diferentes niveles que estructuran la red y viceversa. Acota que las redes que se apoyan en las redes geodésicas activas no precisan disponer de más de un nivel ya que la precisión de todas las señales es la misma. Describe dos métodos de medición, por GPS y por topografía clásica.

1.4.1. Método GPS

Rastrero (2014), indica que los métodos de medición con GPS más usuales para la medición de redes geodésicas son:

Método estático relativo. Consiste en la colocación de al menos dos receptores y a uno de ellos se le establecerá la referencia. La precisión está en función del tiempo de medición, la geometría de los satélites y del equipo utilizado. Es apropiado para grandes distancias,

ya que ofrece la mayor precisión de 5mm + 1 ppm en la longitud de la línea base medida. Las mediciones luego son ajustadas por medio de mínimos cuadrados.

Método estático rápido. Es una variante del método estático relativo, se reduce el tiempo de medición y el intervalo de toma de datos. Los tiempos de medición pueden ser de 5 minutos con intervalo de toma de datos de 3 segundos dependiendo del tipo de receptor, cobertura de satélites y la distancia.

Cinemático en tiempo real (RTK). Consiste en establecer una estación de referencia fija a la que se le introducen las coordenadas de referencia. Otra estación denominada “rover” recorre los puntos de terreno. Actualmente es el método que proporciona mayor eficacia, versatilidad y rendimiento.

1.4.2. Topografía clásica

Indica Rastreo (2014), que consiste en los métodos de triangulación con teodolitos o estación total. Actualmente se limitan a casos particulares donde los receptores GPS no pueden usarse por obstáculos que interrumpen o bloquean la señal de los satélites. Se puede recurrir al uso de poligonales.

1.5. Estaciones de referencia de operación continua CORS

La National Geodetic Survey perteneciente a la National Oceanic And Atmospheric Administration propone una guía - National Ocean Survey, NOAA

(2013) – con las especificaciones que deben cumplir los sitios CORS nuevos y existentes, donde destacan las siguientes:

- El monumento de la CORS debe estar diseñado para maximizar la estabilidad y mantener una posición fija en tres dimensiones.
- Las CORS no deben estar más cerca de 70 kilómetros a una CORS existente, deben estar localizadas en un área abierta con obstrucciones mínimas, no debe tener obstrucciones arriba de 10 grados sobre el horizonte y un mínimo de obstrucciones de los 0 a los 10 grados, evitar estar cerca de equipos que son fuentes de frecuencias de radio tales como: televisión, microondas, estaciones de radio FM, telefonía celular, repetidoras de VHF y UHF, radar y líneas de alto voltaje.
- Los receptores deben ser capaces de: rastrear al menos L1 y L2, rastrear al menos 10 satélites sobre los 0 grados, automáticamente cambiar a los diferentes modos para retener el total de la longitud de onda L2 cuando se activa el Antispoofing (AS), proveer código L1 C/A o código P y portadora de fase L1 y L2.
- Los receptores deben ser programados para grabar mediciones a intervalos de 30, 15, 5 o 1 segundo.
- Los receptores deben contar con un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS).
- Todos los datos deben ser transmitidos vía Internet. El sitio *web* del operador y el servidor ftp debe operar 24 horas al día. Todos los datos deben estar disponibles sin costo para el público.

- Para asegurar la calidad de los datos se deben hacer verificaciones diarias de los archivos RINEX.

1.6. Monumentación

El US Army Corps of Engineers (2012) define la monumentación permanente como aquellos monumentos que son colocados en material relativamente estable o en una estructura con el propósito de preservar la ubicación, tanto de una estación de control horizontal o de un punto de elevación (benchmark). Entre las características que se deben tomar en cuenta, el US Army Corps of Engineers (2012) señala:

- General. Elegir un lugar apropiado para la estabilidad y sobrevivencia del monumento.
- Seguridad. Se debe evaluar si el monumento será susceptible de daño o destrucción por encontrarse en lugares donde se planea construir una carretera, una línea de conducción de agua, si está cerca de un centro comercial, donde se expandirá el área de parqueo por mencionar algunos casos. Deben evitarse las áreas de inundaciones.
- Utilidad. La accesibilidad de los usuarios al monumento debe ser evaluada.
- Estabilidad. La monumentación se ve afectada por efectos geológicos y actividad del suelo, siendo más afectada la monumentación vertical.
- Ambiente corrosivos. La tasa a la cual se degrada o corroe un monumento está afectada por su ambiente o entorno.

- Seguridad operacional. Se debe tener en consideración que el lugar que se elija para la monumentación no pase donde se puedan encontrar cables o tuberías enterradas u otro tipo de instalación que ponga en riesgo la seguridad de los trabajadores.
- Visibilidad desde satélite. Debe considerarse la visibilidad desde un satélite cuando se trate de monumentación para el sistema global satelital de navegación (GNSS).
- Inclusión en el sistema nacional de referencia espacial. Todo control de levantamiento para ser usado en el proyecto primario de puntos de control deben ser publicados en el sistema nacional de referencia espacial.
- Comparación de costos. En el desarrollo de todo plan de monumentación nacional se debe hacer una evaluación entre el costo de instalación de monumentación adicional y nivelado adicional en áreas más estables que requieran monumentación menos costosa.

1.7. Redes de Apoyo Catastral RAC

El Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC, RIC (2008), define las siguientes características para la Red de Apoyo Catastral RAC:

- RAC1: Redes de Apoyo Catastral de primer orden establecidas por el Registro de Información Catastral y referenciadas a la Red Geodésica Nacional. Las mismas tendrán una distancia entre sí de 7 a 15 kilómetros y una precisión de 5 mm. + 1 ppm.

- RAC2: Redes de Apoyo Catastral de segundo orden establecidas por el Registro de Información Catastral y referenciadas a la RAC1. Las mismas tendrán una distancia entre sí de 0.5 a 7 kilómetros y una precisión de 10 mm. + 2 ppm.
- RAC3: Redes de Apoyo Catastral de tercer orden y referenciadas a la RAC2, materializadas en el campo como poligonales de apoyo para el levantamiento de áreas urbanas y centros poblados. La tolerancia de cierre está en relación a la longitud, y por lo tanto, los valores estarán definidos por esa misma longitud.

Para los monumentos de las RAC establece el Manual de Normas Técnicas y Procedimientos Catastrales del RIC, RIC (2008):

- Fundición de concreto de alta resistencia para RAC1 y RAC2. Tubo de hierro galvanizado relleno de concreto para RAC 3.
- Dimensiones de 0.30 * 0.30 * 0.60 m para RAC1 y de 0.20 * 0.20 * 0.40 m para RAC 2. Tubo de 50 mm. de diámetro por 1.65 mm. de espesor y 30 cm de largo para RAC 3.
- Ficha de bronce de 7 cm. de diámetro con pin de 10 cm. para RAC 1 y RAC 2 con código del punto, fecha del geoposicionamiento y nombre RIC.
- Dos fotografías del sitio para RAC1.
- Croquis del punto para RAC1.

1.8. Normas Internacionales

El Registro de Información Catastral, en su normativa técnica, carece de una especificación de precisión posicional horizontal absoluta. Como referencia para la presente tesis, se utilizarán las siguientes normativas de precisión posicional.

1.8.1. México

El Instituto Nacional de Estadística de México (2010), establece en su compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental, en el capítulo 7 “Geodesia” un estándar de exactitud posicional horizontal de un decímetro para los levantamientos de densificación del sistema de referencia geodésico nacional básico, así como para trabajos de ingeniería de alta precisión, entre otros.

1.8.2. Canadá

La Natural Resources de Canada (2014) en sus National Standards for the Survey of Canada Lands define una exactitud absoluta de posición para los puntos de control de los levantamientos de +/- 0.10 metros con un nivel de confianza del 95 %.

1.8.3. Estados Unidos de América

El Servicio Forestal y la oficina de Administración de Tierras de los Estados Unidos de América (USDA Forest Service, USDI Bureau of Land Management [2001]), establecen una exactitud de menos de

0.100 metros con un nivel de confianza del 95 % para proyectos de control catastral.

1.9. Sitios en línea para post-proceso de datos GPS

En los últimos años ha habido un aumento en el número de sitios en línea que ofrecen el post-proceso gratuito de los datos que generan los GPS, con el propósito de obtener mediciones con mejor precisión. A estos sitios se envían los datos crudos obtenidos de nuestra medición con el GPS y a vuelta de correo se obtiene la coordenada del punto medido. El sitio *web* de la Universidad Estatal de Louisiana - Louisiana State University (s. f.) - menciona ocho sitios *web* que ofrecen el servicio gratuito de post-proceso, que son: OPUS: NGS GPS Data Processing Online Positioning User Service, CSRS-PPP: Canadian Spatial Reference System, Natural Resources Canada, AUSPOS: Geoscience Australia, GAPS: University of New Brunswick, APPS: Jet Propulsion Laboratory, SCOUT: Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC). University of California, San Diego, magicGNSS: GMV y CenterPoint RTX: Trimble Navigation.

1.10. Matemática aplicada

1.10.1. Varianza

De acuerdo con Toloza (2012), la varianza de una variable aleatoria es una medida de su dispersión y se define como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su promedio. Puede estar influida por valores atípicos. Para una variable x con una media $\mu=E(X)$ la ecuación de la variancia es:

$$\text{Var}(X)=E[(X-\mu)^2]$$

Según Toloza (2012), la ecuación de la varianza desarrollada es:

$$\text{Var}(X)=E(X^2)-\mu^2$$

1.10.2. Covarianza

Define Toloza (2012), la covariable como una técnica estadística que compara los resultados en diferentes grupos de una variable, agrega que la covarianza entre dos variables es un indicador del nivel de relación entre ambos grupos.

Cuando se calcula en la población se simboliza con la letra griega sigma (σ_{xy}), si se obtiene de una muestra se designa por la letra “Sxy”. Se resuelve promediando el producto de las puntuaciones diferenciales por el tamaño muestral utilizando n pares de puntuaciones o $n-1$ en su forma insesgada. Su ecuación es:

$$\hat{S}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1}$$

1.10.3. Desviación estándar

Toloza (2012), menciona que es una medida de dispersión de los datos con respecto al valor promedio, nos da información sobre la medida de distancia que tienen los datos respecto se su media

aritmética, se define como la raíz cuadrada de la varianza. Su ecuación es:

$$\sigma = \sqrt{s^2}$$

1.10.4. Error medio cuadrático

Es definido por Santamaría (2005) como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los residuos divididos por el número de éstos, siendo su ecuación:

$$e_c = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} \quad \text{donde } \varepsilon \text{ es igual al residuo con respecto al valor real.}$$

Comenta Santamaría (2005), que en la ecuación anterior no se puede hallar el valor de los residuos, ya que no se conoce el valor real de la magnitud, por tanto, se usa la ecuación en función de los errores aparentes obtenidos con respecto de la media, siendo la ecuación:

$$e_c = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i'^2}{n-1}} \quad \text{donde } \varepsilon' \text{ es igual al residuo con respecto la media.}$$

1.10.5. Elipse de error

Wolf y Ghilani (2015), definen la elipse de error como una representación bidimensional de las incertidumbres de las coordenadas, su tamaño y apariencia permiten hacer análisis visuales rápidos de la precisión relativa de los puntos.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009) indica las siguientes fórmulas para el cálculo de las elipses de error:

$$\tan(2t) = \frac{2q_{XY}}{q_{YY} - q_{XX}}$$

$$a = S_0 \sqrt{q_{XX} \operatorname{sen}^2 t + 2q_{XY} \operatorname{cost} \operatorname{sens} t + q_{YY} \operatorname{cos}^2 t}$$

$$b = S_0 \sqrt{q_{XX} \operatorname{cos}^2 t - 2q_{XY} \operatorname{cost} \operatorname{sens} t + q_{YY} \operatorname{sen}^2 t}$$

Donde:

T: ángulo de orientación del semieje mayor.

a: semieje mayor.

b: semieje menor.

q_{XX} : varianza de la coordenada X.

q_{YY} : varianza de la coordenada Y.

q_{XY} : covarianza de XY.

S_0 : varianza de peso unitario.

1.10.6. Análisis de varianza

López (2014), indica que el esquema del análisis de varianza conocido como ANDEVA, ANOVA o ANVA para la prueba de hipótesis es el siguiente:

Fuentes de variación (FV)	Grados de Libertad (gl)	Suma de Cuadrados (SC)	Cuadrados Medios (CM)	Valor de F
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SC_{trat}/gl_{trat}	CM_{trat}/CM_{ee}
Error	$t(r - 1)$	$SC_{total} - SC_{trat}$	SC_{ee}/gl_{ee}	
Total	$tr - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

Indica López (2014), que la regla de decisión es:

Rechazar Ho. Si valor de F \geq F crítico (gl trat; gl error; α)

No rechazar Ho. Si valor de F $<$ F crítico (gl trat; gl error; α)

1.10.7. Criterio de Chauvenet

Márquez (2009), indica el criterio de Chauvenet para el saneamiento de las muestras donde se conservan las mediciones comprendidas entre un límite inferior (L_i) y uno superior (L_s), donde:

$$p(L_i \leq x_i \leq L_s) = 1 - \frac{1}{2n}$$

Donde “n” es el tamaño de la muestra y:

$$L_i = \bar{X} - z_c \sigma \quad L_s = \bar{X} + z_c \sigma$$

z_c es el valor crítico del área bajo la curva normal tipificada.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad v_i = \bar{X} - x_i$$

Y el error estándar de una observación es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}$$

1.11. Teoría de errores

Santamaría (2005), define el error como la diferencia entre el valor medido y el valor real.

1.11.1. Errores y equivocaciones

Define Santamaría (2005), a las equivocaciones como errores groseros que se pueden evitar y a los errores como aquellos propiamente dichos que son inevitables.

1.11.2. Errores verdaderos y aparentes

Según Santamaría (2005), los errores verdaderos son aquellos que se obtienen al comparar los valores obtenidos con el valor real. Como no es posible saber el valor real, los valores se comparan con un

valor más o menos aproximado al real obteniendo así los errores aparente.

1.11.3. Errores medios

- Error probable

Santamaría (2005), lo define como el error verdadero cometido en una medida realizada n veces.

- Error medio aritmético

Lo define Santamaría (2005), como la media aritmética de todos los errores verdaderos conocidos prescindiendo del signo.

- Error medio cuadrático

Es definido por Santamaría (2005), como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los residuos divididos por el número de éstos, siendo su ecuación:

$$e_c = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n}} \text{ donde } \varepsilon \text{ es igual al residuo.}$$

Comenta Santamaría (2005), que en la ecuación anterior no se puede hallar el valor de los residuos, ya que no conocemos el valor real de la magnitud, por tanto, se usa la ecuación en función de los errores aparentes obtenidos con respecto de la media, siendo la ecuación:

$$e_c = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-1}}$$

Santamaría (2005), define como error de la media al error medio cuadrático dividido por la raíz cuadrada de n, que es:

$$e_c^m = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_i^2}{n(n-1)}}$$

1.11.4. Errores sistemáticos y accidentales

Indica Santamaría (2005), que un error sistemático es aquel que procede de una causa permanente que se comete siempre, según una ley determinada, puede ser constante o variable. El error accidental lo define como aquel que procede de una causa fortuita.

1.12. Rinex

Según National Geodetic Survey (2007), la primera propuesta para el "Formato de cambio independiente del receptor" RINEX se desarrolló por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna, para facilitar el intercambio de los datos GPS durante la gran campaña europea GPS EUREF 89, que involucró a más de 60 receptores GPS de 4 diferentes fabricantes.

Indica National Geodetic Survey (2007), que la mayoría de software para procesamiento geodésico para los datos de GPS utilizan un conjunto bien definido de variables:

- La medición de fase de portadora en uno o ambos portadores (siendo una medida de la frecuencia de ritmo entre el portador recibido de la señal del satélite y una frecuencia de referencia generados por el receptor).
- La medida pseudodistancia (código), equivalente a la diferencia del tiempo de recepción (expresado en el marco de tiempo del receptor) y el tiempo de transmisión (expresado en el marco de tiempo del satélite) de una señal de satélite visible.
- El tiempo de observación siendo la lectura del reloj del receptor en el momento de la validez de la fase de portador y/o las mediciones de código.

De acuerdo a National Geodetic Survey (2007), el software usualmente asume que el tiempo de observación es válido para la fase y las mediciones de código así como para todos los satélites observados. Consecuentemente, estos programas no necesitan la mayoría de la información que usualmente guardan estos receptores, se necesitan la fase, el código y el tiempo (como se definió anteriormente) y alguna información relacionada a la estación como el nombre, la altura de la antena entre otros.

Gurtner (2006), muestra la convención para nombrar los archivos Rinex:

ssssdddf.yyt

Donde:

ssss: designación del nombre de la estación en 4 caracteres.

ddd: día consecutivo del año en que se realizó la observación.

f: número/carácter de secuencia de archivo dentro del día

archivo diario: f = 0

archivo horario:

f = a: primera hora 00h-01h; f = b: segunda hora 01h-02h; ...

f = x: vigésimo cuarta hora 23h-24h

yy: año en dos dígitos

t: tipo de archivo:

O: Archivo de observación

N: Archivo de navegación GPS

M: Archivo de datos meteorológicos

G: Archivo de navegación GLONASS

L: Archivo de navegación Galileo

H: Archivo de navegación Geoestacionario GPS

B: Archivo de datos de difusión Geo SBAS

C: Archivo de reloj

S: Archivo resumen

En la siguiente figura, se muestran las partes más relevantes de un archivo RINEX:

Figura 11. Archivo RINEX

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2015Nov8 RS 20160116 04:45:34UTCPCGM / RUN BY / DATE
Solaris x86 5.10| Versión RINEX arch=amd64|=+|=+ COMMENT
SPIDER V4,1,0,378 2016 01 15 01:49 COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [2-9] COMMENT
Lx: = 25dBHz -> 1; 26-27dBHz -> 2; 28-31dBHz -> 3 COMMENT
32-35dBHz -> 4; 36-38dBHz -> 5; 39-41dBHz -> 6 COMMENT
42-44dBHz -> 7; 45-48dBHz -> 8; >=49dBHz -> 9 COMMENT

GUAT Nombre Estación Marca y modelo de receptor
4090IS001 IGN-GT LEICA GRX1200GGPRO 8.20/3.055 REC # / TYPE / VERS
Oscar Cruz Ramon LEIAR25.R3 LEIT # / TYPE
355686 -56063.5820 -6174978.6700 1596665.2670 PROX POSITION XYZ
10190009 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
8 C1 L1 # / TYPES OF OBSERV
30.0000 INTERVAL
teqc windowed: start COMMENT
teqc windowed: delta = 86400.000 sec COMMENT
teqc edited: all SBAS satellites excluded COMMENT
teqc edited: all Compass satellites excluded COMMENT
teqc edited: all GPS satellites excluded COMMENT
2016 Fecha aa mm dd 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
17 Hora hh mm ss.ssss LEAP SECONDS
16 1 15 0 0 0.0000000 END OF HEADER
R03R04R13R14R15R23R24
25204772.760 132451957.035 5 -832.797 36.000 25204779.320
103209367.21944 -648.949 35.250
21193889.720 111374692.749 9 -248.520 49.500 21193890.060
  
```

D
a
t
o
s

G
P
S

Fuente: elaboración propia.

2. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

2.1. CORS Guatemala (GUAT)

Las coordenadas oficiales de la estación CORS Guatemala proporcionadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA (ver Anexo) y su transformación a coordenadas GTM se indican en la siguiente tabla:

Tabla I. **Coordenadas GUAT**

Geográficas							GTM		Altura elipsoidal	
Latitud				Longitud			N	E	Z	
g	M	s		g	m	s	m	m	m	
14	35	25.45483	N	90	31	12.65849	W	1,613,346.509	497,825.676	1,519.873

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Los valores para corrección de época, debido al desplazamiento publicados por el International GNSS Service IGS, en noviembre del 2010, se indican en la siguiente tabla:

Tabla II. **Corrección CORS GUA**

IGS08 VELOCITY		
Hacia el norte	0.0032	m/año
Hacia el este	0.0055	m/año
Hacia arriba	0.0006	m/año

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Las 12 muestras de la CORS Guatemala, con duración de 2 horas con intervalos a 30 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III. **CORS GUA - PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
14/01/2015	1,613,346.533	497,825.720	1,519.834	-0.032	-0.055	-0.006	1,613,346.501	0.008	497,825.665	0.011	1,519.828	0.045
15/03/2015	1,613,346.542	497,825.715	1,519.861	-0.033	-0.056	-0.006	1,613,346.509	0.000	497,825.659	0.017	1,519.855	0.018
15/05/2015	1,613,346.536	497,825.732	1,519.859	-0.033	-0.057	-0.006	1,613,346.503	0.006	497,825.675	0.001	1,519.853	0.020
15/07/2015	1,613,346.539	497,825.706	1,519.847	-0.034	-0.058	-0.006	1,613,346.505	0.004	497,825.648	0.028	1,519.841	0.032
15/09/2015	1,613,346.536	497,825.732	1,519.846	-0.034	-0.059	-0.006	1,613,346.502	0.007	497,825.673	0.003	1,519.840	0.033
15/11/2015	1,613,346.533	497,825.709	1,519.832	-0.035	-0.060	-0.007	1,613,346.498	0.011	497,825.649	0.027	1,519.825	0.048
15/01/2016	1,613,346.536	497,825.720	1,519.839	-0.035	-0.061	-0.007	1,613,346.501	0.008	497,825.659	0.017	1,519.832	0.041
15/03/2016	1,613,346.548	497,825.717	1,519.854	-0.036	-0.062	-0.007	1,613,346.512	-0.003	497,825.655	0.021	1,519.847	0.026
15/05/2016	1,613,346.539	497,825.720	1,519.876	-0.036	-0.063	-0.007	1,613,346.503	0.006	497,825.657	0.019	1,519.869	0.004
15/07/2016	1,613,346.529	497,825.700	1,519.877	-0.037	-0.063	-0.007	1,613,346.492	0.017	497,825.637	0.039	1,519.870	0.003
15/09/2016	1,613,346.536	497,825.741	1,519.854	-0.037	-0.064	-0.007	1,613,346.499	0.010	497,825.677	-0.001	1,519.847	0.026
15/11/2016	1,613,346.536	497,825.723	1,519.866	-0.038	-0.065	-0.007	1,613,346.498	0.011	497,825.658	0.018	1,519.859	0.014

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla IV. Chauvenet - CORS GUA – PPP

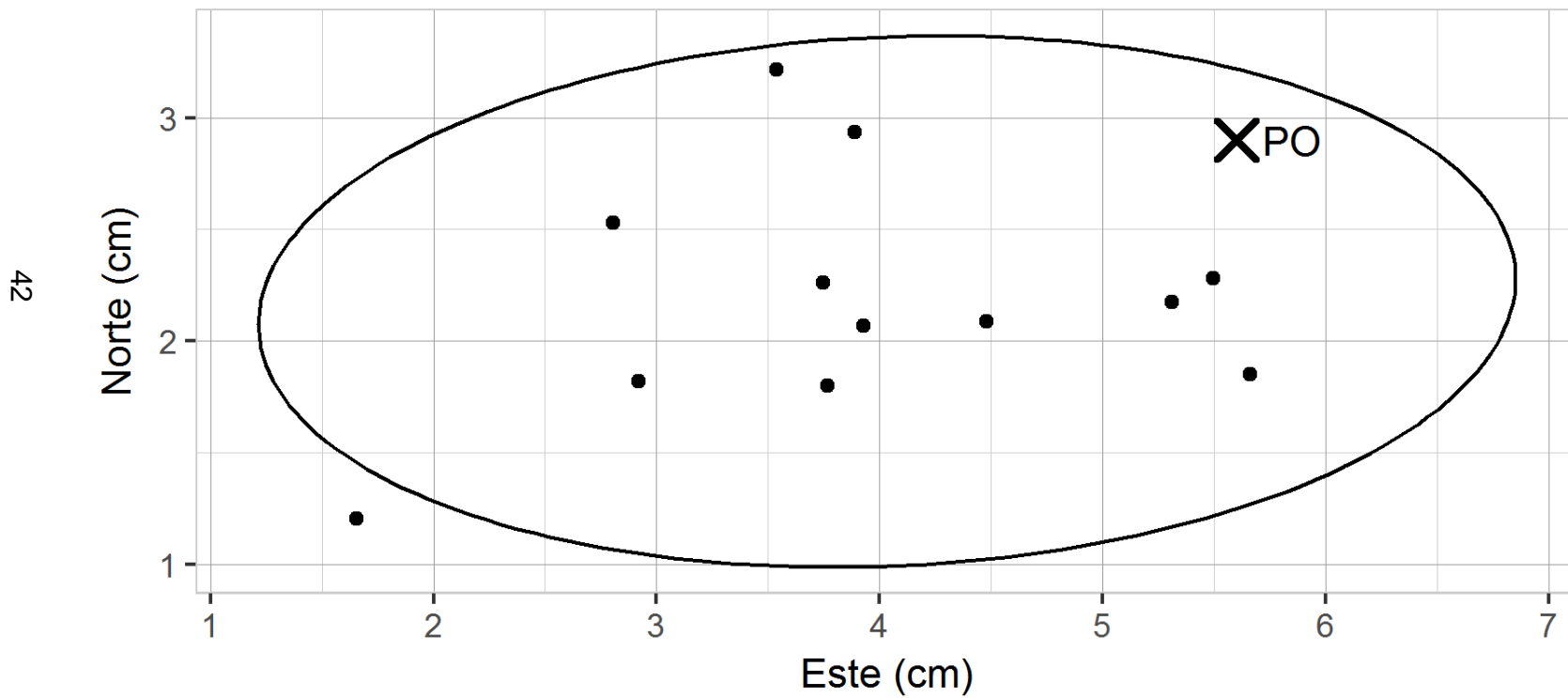
	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
Fecha	m	m	v	vv	v	vv
14/01/2015	1,613,346.501	497,825.665	-0.00098	0.00000	0.00546	0.00003
15/03/2015	1,613,346.509	497,825.659	0.00749	0.00006	-0.00044	0.00000
15/05/2015	1,613,346.503	497,825.675	0.00096	0.00000	0.01564	0.00024
15/07/2015	1,613,346.505	497,825.648	0.00342	0.00001	-0.01128	0.00013
15/09/2015	1,613,346.502	497,825.673	-0.00012	0.00000	0.01379	0.00019
15/11/2015	1,613,346.498	497,825.649	-0.00365	0.00001	-0.01013	0.00010
15/01/2016	1,613,346.501	497,825.659	-0.00119	0.00000	-0.00005	0.00000
15/03/2016	1,613,346.512	497,825.655	0.01029	0.00011	-0.00395	0.00002
15/05/2016	1,613,346.503	497,825.657	0.00075	0.00000	-0.00187	0.00000
15/07/2016	1,613,346.492	497,825.637	-0.00978	0.00010	-0.02279	0.00052
15/09/2016	1,613,346.499	497,825.677	-0.00333	0.00001	0.01727	0.00030
15/11/2016	1,613,346.498	497,825.658	-0.00386	0.00001	-0.00165	0.00000
Coor. Prom.	1,613,346.502	497,825.659				
Sumatoria			0.00000	0.00031	0.00000	0.00153
Error estándar de una observación			0.005331076		0.011810533	
Error estándar de la media aritmética			0.001538949		0.003409407	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,613,346.491		497,825.635	
Límite Superior			1,613,346.513		497,825.683	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 12 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 12. Elipse de error PPP-GUAT



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Guatemala, con duración de dos horas con intervalos a 30 segundos procesadas en el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla V. **CORS GUA – OPUS**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Altu. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
14/01/2015	1,613,346.540	497,825.703	1,519.801	-0.032	-0.055	-0.006	1,613,346.508	0.001	497,825.648	0.028	1,519.795	0.078
15/03/2015	1,613,346.549	497,825.720	1,519.914	-0.033	-0.056	-0.006	1,613,346.516	-0.007	497,825.664	0.012	1,519.908	-0.035
15/05/2015	1,613,346.543	497,825.714	1,519.846	-0.033	-0.057	-0.006	1,613,346.510	-0.001	497,825.657	0.019	1,519.840	0.033
15/07/2015	1,613,346.550	497,825.716	1,519.874	-0.034	-0.058	-0.006	1,613,346.516	-0.007	497,825.658	0.018	1,519.868	0.005
15/09/2015	1,613,346.551	497,825.708	1,519.862	-0.034	-0.059	-0.006	1,613,346.517	-0.008	497,825.649	0.027	1,519.856	0.017
15/11/2015	1,613,346.541	497,825.714	1,519.850	-0.035	-0.060	-0.007	1,613,346.506	0.003	497,825.654	0.022	1,519.843	0.030
15/01/2016	1,613,346.535	497,825.719	1,519.858	-0.035	-0.061	-0.007	1,613,346.500	0.009	497,825.658	0.018	1,519.851	0.022
15/03/2016	1,613,346.546	497,825.723	1,519.893	-0.036	-0.062	-0.007	1,613,346.510	-0.001	497,825.661	0.015	1,519.886	-0.013
15/05/2016	1,613,346.533	497,825.730	1,519.849	-0.036	-0.063	-0.007	1,613,346.497	0.012	497,825.667	0.009	1,519.842	0.031
15/07/2016	1,613,346.547	497,825.736	1,519.883	-0.037	-0.063	-0.007	1,613,346.510	-0.001	497,825.673	0.003	1,519.876	-0.003
15/09/2016	1,613,346.545	497,825.716	1,519.828	-0.037	-0.064	-0.007	1,613,346.508	0.001	497,825.652	0.024	1,519.821	0.052
15/11/2016	1,613,346.547	497,825.721	1,519.885	-0.038	-0.065	-0.007	1,613,346.509	0.000	497,825.656	0.020	1,519.878	-0.005

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla VI. Chauvenet – CORS GUAT – OPUS

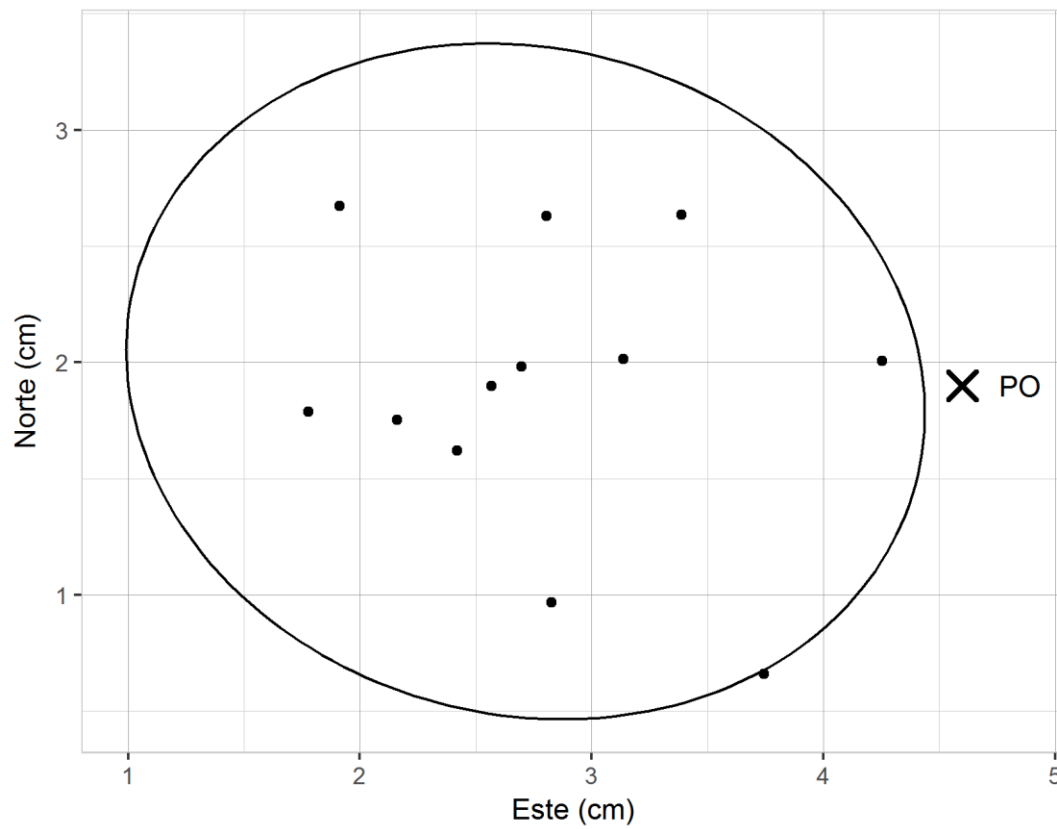
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
14/01/2015	1,613,346.508	497,825.648	-0.00098	0.00000	-0.01029	0.00011
15/03/2015	1,613,346.516	497,825.664	0.00749	0.00006	0.00581	0.00003
15/05/2015	1,613,346.510	497,825.657	0.00096	0.00000	-0.00111	0.00000
15/07/2015	1,613,346.516	497,825.658	0.00742	0.00006	-0.00003	0.00000
15/09/2015	1,613,346.517	497,825.649	0.00788	0.00006	-0.00896	0.00008
15/11/2015	1,613,346.506	497,825.654	-0.00265	0.00001	-0.00388	0.00002
15/01/2016	1,613,346.500	497,825.658	-0.00919	0.00008	0.00020	0.00000
15/03/2016	1,613,346.510	497,825.661	0.00129	0.00000	0.00330	0.00001
15/05/2016	1,613,346.497	497,825.667	-0.01225	0.00015	0.00938	0.00009
15/07/2016	1,613,346.510	497,825.673	0.00122	0.00000	0.01446	0.00021
15/09/2016	1,613,346.508	497,825.652	-0.00133	0.00000	-0.00648	0.00004
15/11/2016	1,613,346.509	497,825.656	0.00014	0.00000	-0.00240	0.00001
Coor. Prom.	1,613,346.509	497,825.658				
Sumatoria			0.00000	0.00042	0.00000	0.00059
Error estándar de una observación			0.006191711		0.007334116	
Error estándar de la media aritmética			0.001787393		0.002117177	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,613,346.496		497,825.643	
Límite Superior			1,613,346.521		497,825.673	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 13, se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en OPUS.

Figura 13. **Elipse de error OPUS-GUAT**



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Guatemala, con duración de 2 horas con intervalos a 30 segundos procesadas en el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service”, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla VII. **CORS GUA – AUSPOS**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
14/01/2015	1,613,346.537	497,825.718	1,519.821	-0.032	-0.055	-0.006	1,613,346.505	0.004	497,825.663	0.013	1,519.815	0.058
15/03/2015	1,613,346.541	497,825.719	1,519.851	-0.033	-0.056	-0.006	1,613,346.508	0.001	497,825.663	0.013	1,519.845	0.028
15/05/2015	1,613,346.538	497,825.718	1,519.855	-0.033	-0.057	-0.006	1,613,346.505	0.004	497,825.661	0.015	1,519.849	0.024
15/07/2015	1,613,346.541	497,825.719	1,519.857	-0.034	-0.058	-0.006	1,613,346.507	0.002	497,825.661	0.015	1,519.851	0.022
15/09/2015	1,613,346.540	497,825.715	1,519.856	-0.034	-0.059	-0.006	1,613,346.506	0.003	497,825.656	0.020	1,519.850	0.023
15/11/2015	1,613,346.537	497,825.726	1,519.825	-0.035	-0.060	-0.007	1,613,346.502	0.007	497,825.666	0.010	1,519.818	0.055
15/01/2016	1,613,346.539	497,825.721	1,519.848	-0.035	-0.061	-0.007	1,613,346.504	0.005	497,825.660	0.016	1,519.841	0.032
15/03/2016	1,613,346.544	497,825.715	1,519.824	-0.036	-0.062	-0.007	1,613,346.508	0.001	497,825.653	0.023	1,519.817	0.056
15/05/2016	1,613,346.542	497,825.719	1,519.876	-0.036	-0.063	-0.007	1,613,346.506	0.003	497,825.656	0.020	1,519.869	0.004
15/07/2016	1,613,346.544	497,825.715	1,519.855	-0.037	-0.063	-0.007	1,613,346.507	0.002	497,825.652	0.024	1,519.848	0.025
15/09/2016	1,613,346.547	497,825.717	1,519.820	-0.037	-0.064	-0.007	1,613,346.510	-0.001	497,825.653	0.023	1,519.813	0.060
15/11/2016	1,613,346.540	497,825.724	1,519.850	-0.038	-0.065	-0.007	1,613,346.502	0.007	497,825.659	0.017	1,519.843	0.030

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla VIII. **Chauvenet – CORS GUAT – AUSPOS**

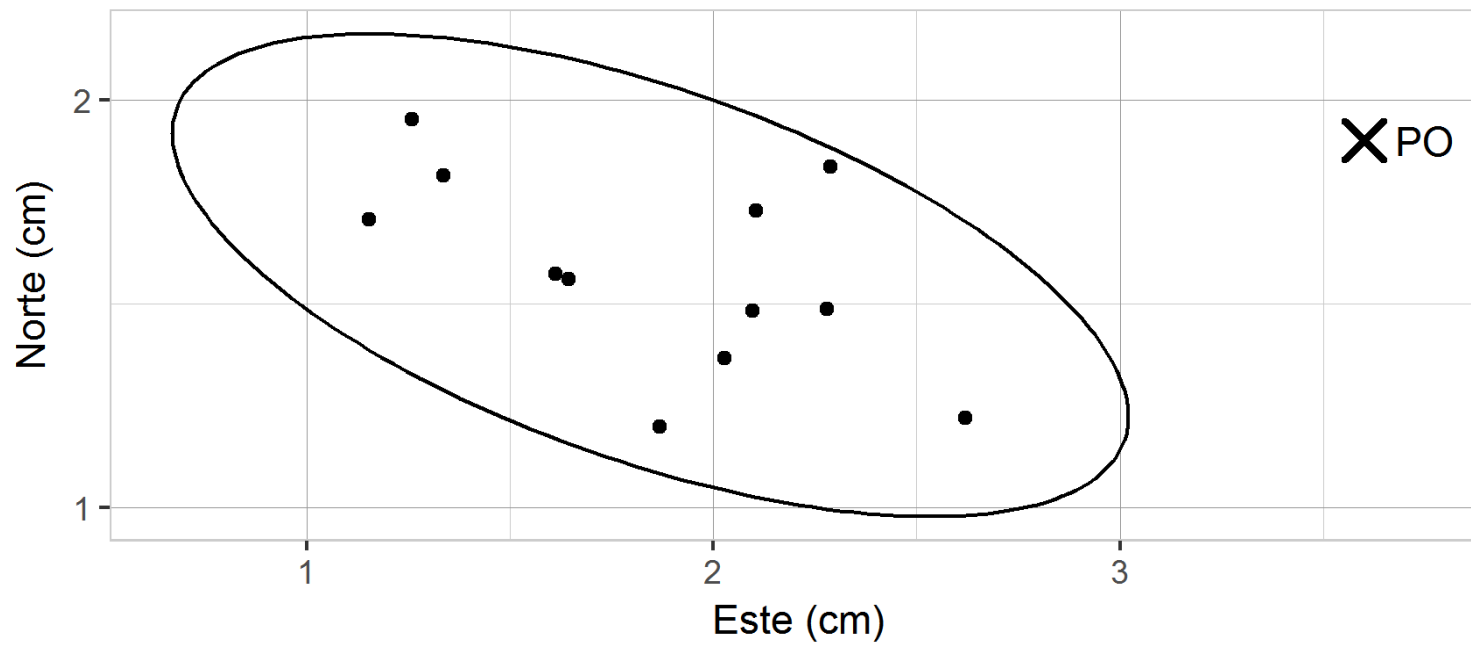
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
14/01/2015	1,613,346.505	497,825.663	-0.00090	0.00000	0.00421	0.00002
15/03/2015	1,613,346.508	497,825.663	0.00258	0.00001	0.00431	0.00002
15/05/2015	1,613,346.505	497,825.661	-0.00096	0.00000	0.00239	0.00001
15/07/2015	1,613,346.507	497,825.661	0.00151	0.00000	0.00247	0.00001
15/09/2015	1,613,346.506	497,825.656	-0.00004	0.00000	-0.00246	0.00001
15/11/2015	1,613,346.502	497,825.666	-0.00357	0.00001	0.00762	0.00006
15/01/2016	1,613,346.504	497,825.660	-0.00211	0.00000	0.00170	0.00000
15/03/2016	1,613,346.508	497,825.653	0.00237	0.00001	-0.00520	0.00003
15/05/2016	1,613,346.506	497,825.656	-0.00017	0.00000	-0.00212	0.00000
15/07/2016	1,613,346.507	497,825.652	0.00130	0.00000	-0.00704	0.00005
15/09/2016	1,613,346.510	497,825.653	0.00376	0.00001	-0.00598	0.00004
15/11/2016	1,613,346.502	497,825.659	-0.00378	0.00001	0.00010	0.00000
Coor. Prom.	1,613,346.506	497,825.659				
Sumatoria			0.00000	0.00006	0.00000	0.00023
Error estandar de una observación			0.002403253		0.004593538	
Error estandar de la media aritmética			0.000693759		0.00132604	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,613,346.501		497,825.649	
Límite Superior			1,613,346.511		497,825.668	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 14 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en AUSPOS.

Figura 14. Elipse de error AUSPOS-GUAT



Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX, se presenta los resultados de las principales estadísticas obtenidas para la CORS GUAT.

Con fines de visualizar mejor los resultados se ha dibujado en la figura 15, los resultados de los 3 sitios con su respectiva elipse de error al 95 %.

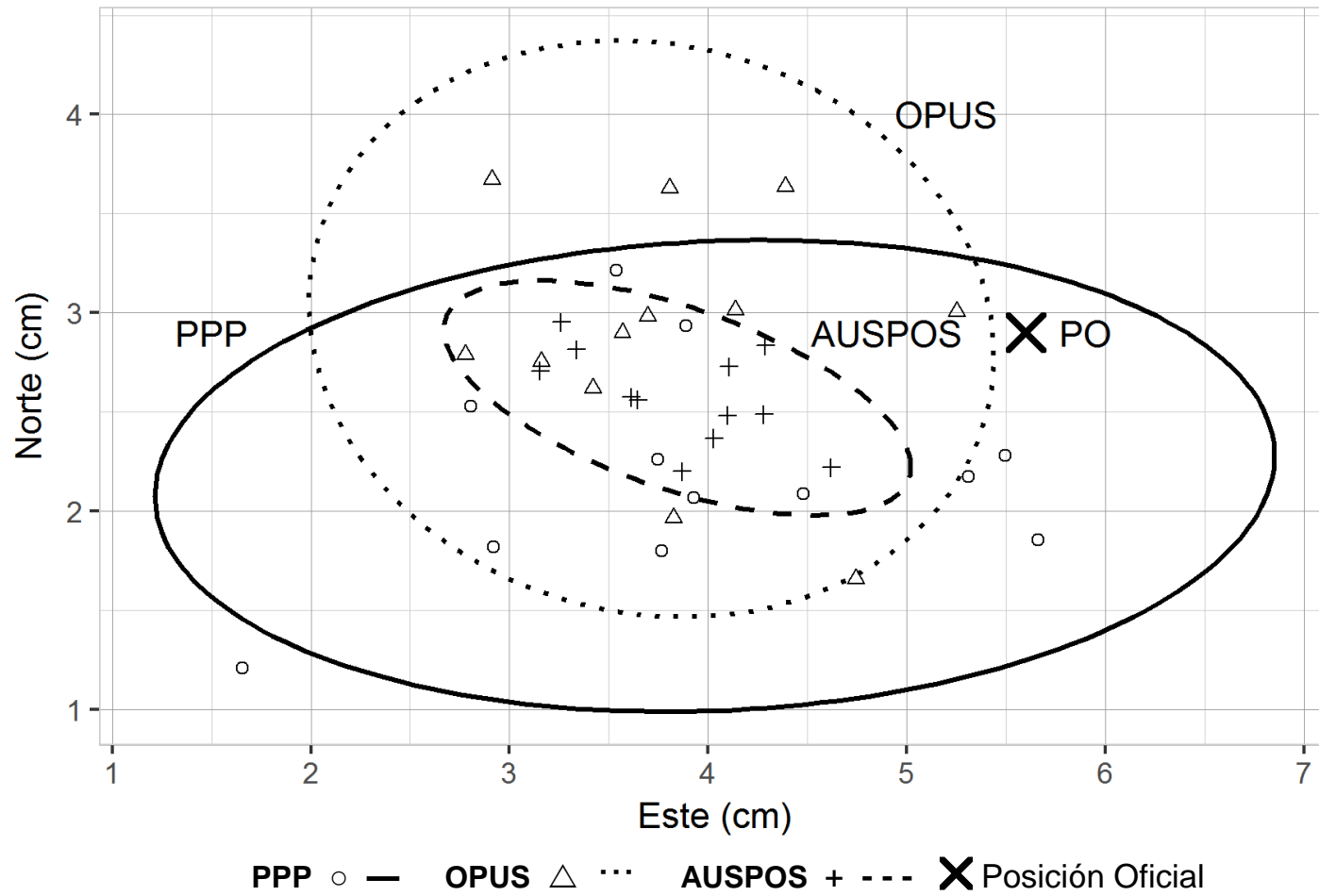
En el anexo se muestra un reporte de resultados del sitio PPP, OPUS y el de AUSPOS.

Tabla IX. Resultados CORS GUA

	PPP			OPUS			AUSPOS		
	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.007	0.017	0.026	0.000	0.018	0.018	0.003	0.017	0.035
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.005331	0.011811	0.015	0.006192	0.007334	0.030	0.002403	0.004594	0.018
Error medio cuadrático (m)	0.008779	0.020150	0.02943	0.005930	0.01925	0.03409	0.003963	0.01797	0.03875
Error medio cuadrático (m) Total	0.022			0.020			0.018		
Máximo error(m)	0.017	0.039	0.048	0.012	0.028	0.078	0.007	0.024	0.060
Mínimo error (m)	0.000	0.001	0.003	0.000	0.003	0.003	0.001	0.010	0.004
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,613,346.502	497,825.659	1,519.847	1,613,346.509	497,825.658	1,519.855	1,613,346.506	497,825.659	1,519.838
Coordenada oficial (CO) (m)	1,613,346.509	497,825.676	1,519.873	1,613,346.509	497,825.676	1,519.873	1,613,346.509	497,825.676	1,519.873
Distancia CP_CO (m)	0.018			0.018			0.018		
Área elipse (mm ²)	1,048.929			783.2544			176.8663		

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Resultados CORS GUAT PPP – OPUS – AUSPOS



Fuente: elaboración propia.

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) de los datos obtenidos de los 3 sitios de post-proceso en línea se muestra en la siguiente tabla:

Tabla X. **ANDEVA - CORS GUAT – OPUS – AUSPOS**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.8383E-05	2	9.1913E-06	0.16418782	0.849271542	3.28491765
Dentro de los grupos	0.00184735	33	5.598E-05			
Total	0.00186574	35				

Fuente: elaboración propia.

El resultado muestra una probabilidad mayor del 0.05, por lo que no existe una diferencia significativa entre los resultados de los 3 sitios de post-proceso en línea.

Para el caso de la CORS GUAT se puede observar según la tabla IX que el error medio cuadrático para el sitio PPP es de 0.022 m., para OPUS es de 0.020 m. y para AUSPOS es de 0.018 m., con una variación máxima de 4 mm., lo cual no representa una diferencia significativa.

Por lo anterior se puede concluir que los 3 sitios de post-proceso en línea, PPP, OPUS y AUSPOS tienen la misma precisión.

2.2. CORS El Salvador (SSIA)

Las coordenadas oficiales de la estación CORS El Salvador proporcionadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA (ver Anexo) y su transformación a coordenadas GTM se indican en la siguiente tabla:

Tabla XI. **Coordenadas SSIA**

Geográficas							GTM		Altura elipsoidal	
Latitud			Longitud				N	E	Z	
g	m	S	g	m	s		m	m		
13	41	49.50562	N	89	6	59.74383	W	1,514,956.582	649,631.461	626.630

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Los valores para corrección de época debido al desplazamiento publicados por el International GNSS Service IGS en noviembre del 2010, se indican en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Corrección CORS GUA**

IGS08 VELOCITY		
Hacia el norte	0.0072	m/año
Hacia el este	0.0068	m/año
Hacia arriba	0.0019	m/año

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 2 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XIII. **CORS SSIA – 2 horas – PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Altu. Elip. Final	
	N	E	Z	CN	CE	CZ	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	M	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.635	649,631.537	626.613	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.565	0.017	649,631.471	-0.010	626.594	0.036
01/12/2014	1,514,956.631	649,631.534	626.658	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.467	-0.006	626.639	-0.009
01/02/2015	1,514,956.635	649,631.558	626.613	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.562	0.020	649,631.489	-0.028	626.594	0.036
01/04/2015	1,514,956.632	649,631.549	626.619	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.558	0.024	649,631.479	-0.018	626.600	0.030
01/06/2015	1,514,956.629	649,631.570	626.621	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.554	0.028	649,631.499	-0.038	626.601	0.029
01/08/2015	1,514,956.628	649,631.543	626.620	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.552	0.030	649,631.471	-0.010	626.600	0.030
01/10/2015	1,514,956.625	649,631.540	626.635	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.548	0.034	649,631.467	-0.006	626.615	0.015
07/12/2015	1,514,956.635	649,631.543	626.655	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.556	0.026	649,631.469	-0.008	626.634	-0.004
04/02/2016	1,514,956.638	649,631.549	626.634	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.558	0.024	649,631.474	-0.013	626.613	0.017
01/04/2016	1,514,956.638	649,631.540	626.648	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.557	0.025	649,631.463	-0.002	626.627	0.003
01/06/2016	1,514,956.638	649,631.540	626.621	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.556	0.026	649,631.462	-0.001	626.599	0.031
01/08/2016	1,514,956.635	649,631.573	626.641	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.552	0.030	649,631.494	-0.033	626.619	0.011

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XIV. Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas - PPP

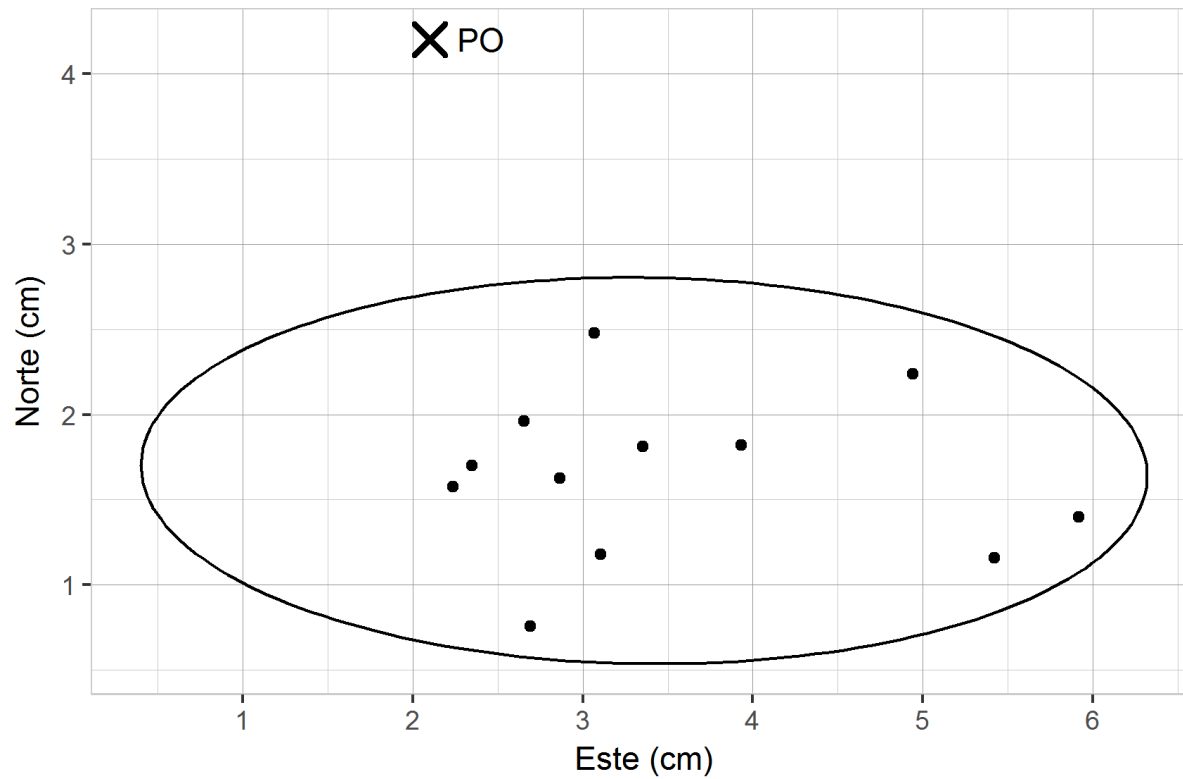
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.565	649,631.471	0.00837	0.00007	-0.00475	0.00002
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.467	0.00317	0.00001	-0.00888	0.00008
01/02/2015	1,514,956.562	649,631.489	0.00595	0.00004	0.01396	0.00019
01/04/2015	1,514,956.558	649,631.479	0.00178	0.00000	0.00386	0.00001
01/06/2015	1,514,956.554	649,631.499	-0.00242	0.00001	0.02373	0.00056
01/08/2015	1,514,956.552	649,631.471	-0.00463	0.00002	-0.00441	0.00002
01/10/2015	1,514,956.548	649,631.467	-0.00883	0.00008	-0.00855	0.00007
07/12/2015	1,514,956.556	649,631.469	-0.00015	0.00000	-0.00679	0.00005
04/02/2016	1,514,956.558	649,631.474	0.00169	0.00000	-0.00189	0.00000
01/04/2016	1,514,956.557	649,631.463	0.00056	0.00000	-0.01196	0.00014
01/06/2016	1,514,956.556	649,631.462	-0.00064	0.00000	-0.01309	0.00017
01/08/2016	1,514,956.552	649,631.494	-0.00485	0.00002	0.01877	0.00035
Coor. Prom.	1,514,956.556	649,631.475				
Sumatoria			0.00000	0.00025	0.00000	0.00168
Error estándar de una observación			0.004775931		0.012370024	
Error estándar de la media aritmética			0.001378693		0.003570918	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.547		649,631.450	
Límite Superior			1,514,956.566		649,631.501	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 16 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 16. Elipse de error PPP-SSIA – 2 horas



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 4 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XV. **CORS SSIA – 4 horas – PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	CN	CE	CZ	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.631	649,631.543	626.637	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.561	0.021	649,631.477	-0.016	626.618	0.012
01/12/2014	1,514,956.631	649,631.543	626.657	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.476	-0.015	626.638	-0.008
01/02/2015	1,514,956.631	649,631.543	626.632	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.558	0.024	649,631.474	-0.013	626.613	0.017
01/04/2015	1,514,956.628	649,631.546	626.640	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.554	0.028	649,631.476	-0.015	626.621	0.009
01/06/2015	1,514,956.628	649,631.537	626.636	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.553	0.029	649,631.466	-0.005	626.616	0.014
01/08/2015	1,514,956.628	649,631.537	626.633	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.552	0.030	649,631.465	-0.004	626.613	0.017
01/10/2015	1,514,956.628	649,631.537	626.637	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.551	0.031	649,631.464	-0.003	626.617	0.013
07/12/2015	1,514,956.631	649,631.540	626.660	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.552	0.030	649,631.466	-0.005	626.639	-0.009
04/02/2016	1,514,956.638	649,631.549	626.640	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.558	0.024	649,631.474	-0.013	626.619	0.011
01/04/2016	1,514,956.635	649,631.543	626.641	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.554	0.028	649,631.466	-0.005	626.620	0.010
01/06/2016	1,514,956.638	649,631.528	626.620	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.556	0.026	649,631.450	0.011	626.598	0.032
01/08/2016	1,514,956.638	649,631.570	626.641	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.555	0.027	649,631.491	-0.030	626.619	0.011

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XVI. Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – PPP

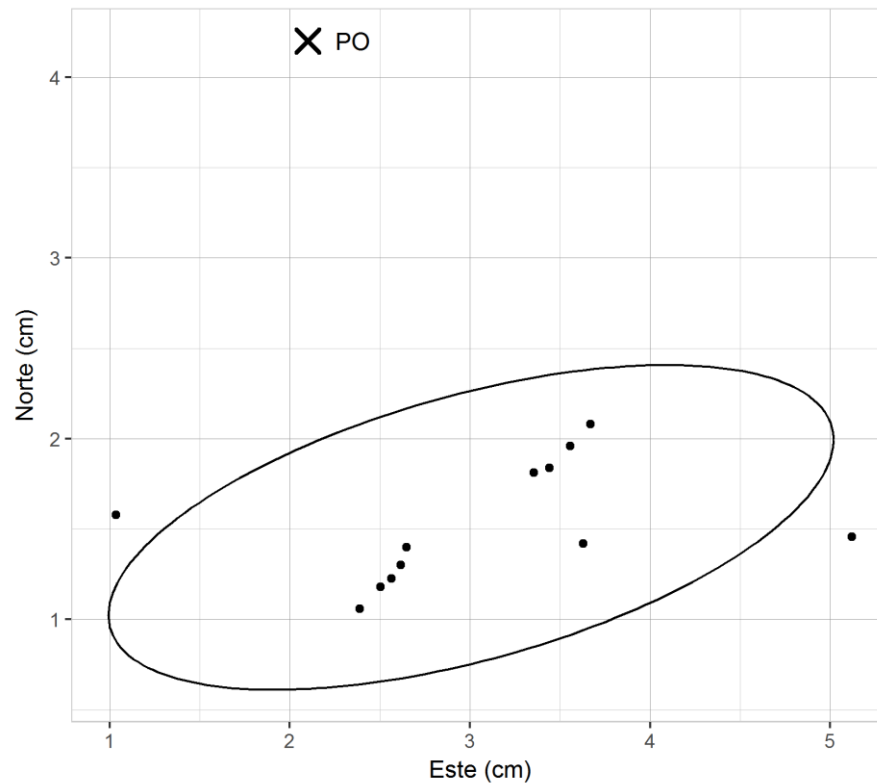
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.561	649,631.477	0.00554	0.00003	0.00625	0.00004
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.476	0.00433	0.00002	0.00512	0.00003
01/02/2015	1,514,956.558	649,631.474	0.00311	0.00001	0.00396	0.00002
01/04/2015	1,514,956.554	649,631.476	-0.00105	0.00000	0.00586	0.00003
01/06/2015	1,514,956.553	649,631.466	-0.00226	0.00001	-0.00427	0.00002
01/08/2015	1,514,956.552	649,631.465	-0.00346	0.00001	-0.00541	0.00003
01/10/2015	1,514,956.551	649,631.464	-0.00466	0.00002	-0.00655	0.00004
07/12/2015	1,514,956.552	649,631.466	-0.00298	0.00001	-0.00479	0.00002
04/02/2016	1,514,956.558	649,631.474	0.00285	0.00001	0.00311	0.00001
01/04/2016	1,514,956.554	649,631.466	-0.00127	0.00000	-0.00396	0.00002
01/06/2016	1,514,956.556	649,631.450	0.00052	0.00000	-0.02009	0.00040
01/08/2016	1,514,956.555	649,631.491	-0.00068	0.00000	0.02077	0.00043
Coor. Prom.	1,514,956.555	649,631.470				
Sumatoria			0.00000	0.00012	0.00000	0.00109
Error estándar de una observación			0.003281146		0.009950703	
Error estándar de la media aritmética			0.000947185		0.002872521	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.549		649,631.450	
Límite Superior			1,514,956.562		649,631.491	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 17 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 17. Elipse de error PPP-SSIA – 4 horas



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 6 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **CORS SSIA – 6 horas – PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	CN	CE	CZ	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.628	649,631.540	626.642	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.558	0.024	649,631.474	-0.013	626.623	0.007
01/12/2014	1,514,956.631	649,631.543	626.665	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.476	-0.015	626.646	-0.016
01/02/2015	1,514,956.631	649,631.540	626.631	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.558	0.024	649,631.471	-0.010	626.612	0.018
01/04/2015	1,514,956.628	649,631.546	626.658	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.554	0.028	649,631.476	-0.015	626.639	-0.009
01/06/2015	1,514,956.628	649,631.549	626.645	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.553	0.029	649,631.478	-0.017	626.625	0.005
01/08/2015	1,514,956.632	649,631.555	626.639	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.556	0.026	649,631.483	-0.022	626.619	0.011
01/10/2015	1,514,956.628	649,631.537	626.628	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.551	0.031	649,631.464	-0.003	626.608	0.022
07/12/2015	1,514,956.635	649,631.543	626.660	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.556	0.026	649,631.469	-0.008	626.639	-0.009
04/02/2016	1,514,956.638	649,631.546	626.642	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.558	0.024	649,631.471	-0.010	626.621	0.009
01/04/2016	1,514,956.632	649,631.546	626.640	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.551	0.031	649,631.469	-0.008	626.619	0.011
01/06/2016	1,514,956.641	649,631.528	626.620	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.559	0.023	649,631.450	0.011	626.598	0.032
01/08/2016	1,514,956.641	649,631.570	626.639	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.558	0.024	649,631.491	-0.030	626.617	0.013

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XVIII. Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – PPP

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.558	649,631.474	0.00187	0.00000	0.00100	0.00000
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.476	0.00367	0.00001	0.00287	0.00001
01/02/2015	1,514,956.558	649,631.471	0.00245	0.00001	-0.00129	0.00000
01/04/2015	1,514,956.554	649,631.476	-0.00172	0.00000	0.00361	0.00001
01/06/2015	1,514,956.553	649,631.478	-0.00292	0.00001	0.00548	0.00003
01/08/2015	1,514,956.556	649,631.483	-0.00013	0.00000	0.01034	0.00011
01/10/2015	1,514,956.551	649,631.464	-0.00533	0.00003	-0.00880	0.00008
07/12/2015	1,514,956.556	649,631.469	0.00035	0.00000	-0.00404	0.00002
04/02/2016	1,514,956.558	649,631.471	0.00219	0.00000	-0.00214	0.00000
01/04/2016	1,514,956.551	649,631.469	-0.00494	0.00002	-0.00321	0.00001
01/06/2016	1,514,956.559	649,631.450	0.00286	0.00001	-0.02234	0.00050
01/08/2016	1,514,956.558	649,631.491	0.00165	0.00000	0.01852	0.00034
Coord. Prom.	1,514,956.556	649,631.473				
Sumatoria			0.00000	0.00010	0.00000	0.00111
Error estándar de una observación			0.003060528		0.010052907	
Error estándar de la media aritmética			0.000883498		0.002902024	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.550		649,631.452	
Límite Superior			1,514,956.562		649,631.493	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/06/2016 está por debajo del límite inferior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla XIX. Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – PPP (11 datos)

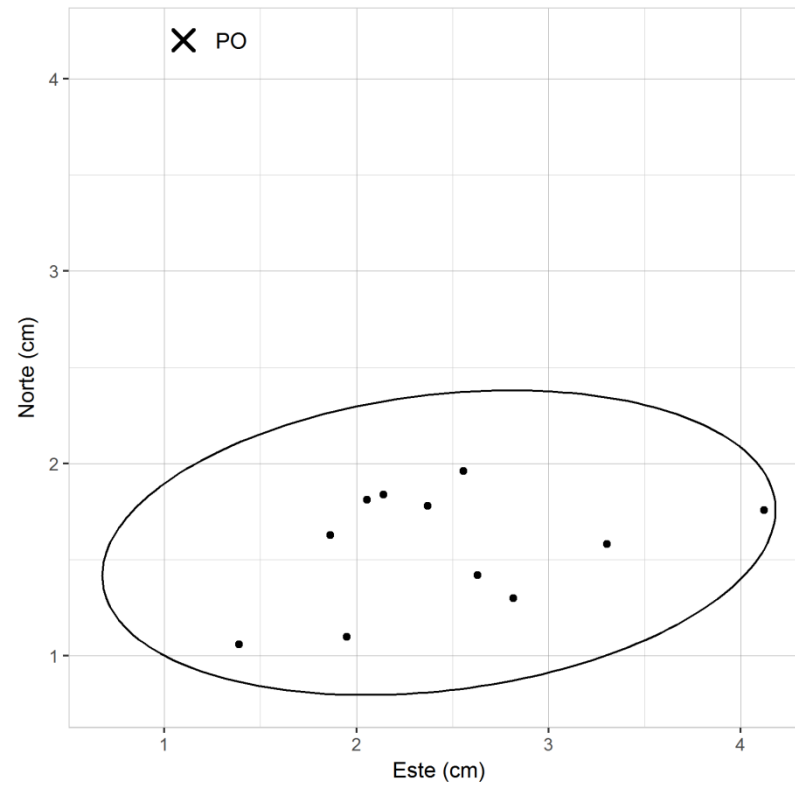
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.558	649,631.474	0.00213	0.00000	-0.00103	0.00000
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.476	0.00393	0.00002	0.00084	0.00000
01/02/2015	1,514,956.558	649,631.471	0.00270	0.00001	-0.00332	0.00001
01/04/2015	1,514,956.554	649,631.476	-0.00146	0.00000	0.00158	0.00000
01/06/2015	1,514,956.553	649,631.478	-0.00266	0.00001	0.00345	0.00001
01/08/2015	1,514,956.556	649,631.483	0.00013	0.00000	0.00831	0.00007
01/10/2015	1,514,956.551	649,631.464	-0.00507	0.00003	-0.01083	0.00012
07/12/2015	1,514,956.556	649,631.469	0.00061	0.00000	-0.00608	0.00004
04/02/2016	1,514,956.558	649,631.471	0.00245	0.00001	-0.00417	0.00002
01/04/2016	1,514,956.551	649,631.469	-0.00468	0.00002	-0.00524	0.00003
01/08/2016	1,514,956.558	649,631.491	0.00191	0.00000	0.01649	0.00027
Coor. Prom.	1,514,956.556	649,631.475				
Sumatoria			0.00000	0.00009	0.00000	0.00057
Error estándar de una observación			0.003067948		0.007530705	
Error estándar de la media aritmética			0.000925021		0.002270593	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,514,956.550		649,631.460	
Límite Superior			1,514,956.562		649,631.491	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentran dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 18 se muestran las 11 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 18. Elipse de error PPP-SSIA – 6 horas



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 2 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XX. CORS SSIA – 2 horas – OPUS

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.640	649,631.543	626.636	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.570	0.012	649,631.477	-0.016	626.617	0.013
01/12/2014	1,514,956.636	649,631.546	626.658	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.565	0.017	649,631.479	-0.018	626.639	-0.009
01/02/2015	1,514,956.638	649,631.607	626.647	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.565	0.017	649,631.538	-0.077	626.628	0.002
01/04/2015	1,514,956.645	649,631.562	626.648	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.571	0.011	649,631.492	-0.031	626.629	0.001
01/06/2015	1,514,956.644	649,631.555	626.639	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.569	0.013	649,631.484	-0.023	626.619	0.011
01/08/2015	1,514,956.639	649,631.543	626.664	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.563	0.019	649,631.471	-0.010	626.644	-0.014
01/10/2015	1,514,956.635	649,631.562	626.654	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.489	-0.028	626.634	-0.004
07/12/2015	1,514,956.634	649,631.555	626.648	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.555	0.027	649,631.481	-0.020	626.627	0.003
04/02/2016	1,514,956.643	649,631.543	626.649	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.563	0.019	649,631.468	-0.007	626.628	0.002
01/04/2016	1,514,956.640	649,631.555	626.660	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.478	-0.017	626.639	-0.009
01/06/2016	1,514,956.637	649,631.547	626.630	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.555	0.027	649,631.469	-0.008	626.608	0.022
01/08/2016	1,514,956.644	649,631.558	626.663	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.561	0.021	649,631.479	-0.018	626.641	-0.011

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXI. Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – OPUS

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.570	649,631.477	0.00704	0.00005	-0.00708	0.00005
01/12/2014	1,514,956.565	649,631.479	0.00183	0.00000	-0.00522	0.00003
01/02/2015	1,514,956.565	649,631.538	0.00261	0.00001	0.05463	0.00298
01/04/2015	1,514,956.571	649,631.492	0.00845	0.00007	0.00853	0.00007
01/06/2015	1,514,956.569	649,631.484	0.00624	0.00004	0.00039	0.00000
01/08/2015	1,514,956.563	649,631.471	0.00004	0.00000	-0.01274	0.00016
01/10/2015	1,514,956.558	649,631.489	-0.00516	0.00003	0.00512	0.00003
07/12/2015	1,514,956.555	649,631.481	-0.00748	0.00006	-0.00313	0.00001
04/02/2016	1,514,956.563	649,631.468	0.00035	0.00000	-0.01623	0.00026
01/04/2016	1,514,956.559	649,631.478	-0.00377	0.00001	-0.00529	0.00003
01/06/2016	1,514,956.555	649,631.469	-0.00798	0.00006	-0.01443	0.00021
01/08/2016	1,514,956.561	649,631.479	-0.00218	0.00000	-0.00456	0.00002
Coord. Prom.	1,514,956.563	649,631.484				
Sumatoria			0.00000	0.00034	0.00000	0.00385
Error estándar de una observación			0.005522141		0.0187159	
Error estándar de la media aritmética			0.001594105		0.00540281	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.551		649,631.446	
Límite Superior			1,514,956.574		649,631.522	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/02/2015 excede el límite superior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla XXII. Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – OPUS (11 datos)

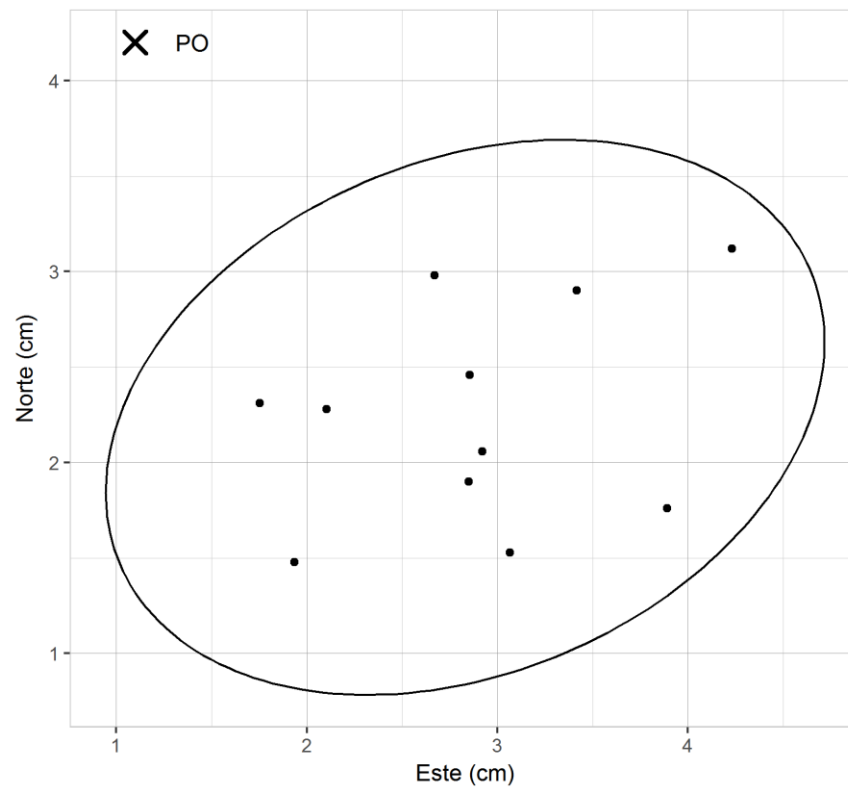
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.570	649,631.477	0.00728	0.00005	-0.00211	0.00000
01/12/2014	1,514,956.565	649,631.479	0.00207	0.00000	-0.00025	0.00000
01/04/2015	1,514,956.571	649,631.492	0.00869	0.00008	0.01350	0.00018
01/06/2015	1,514,956.569	649,631.484	0.00648	0.00004	0.00536	0.00003
01/08/2015	1,514,956.563	649,631.471	0.00028	0.00000	-0.00778	0.00006
01/10/2015	1,514,956.558	649,631.489	-0.00492	0.00002	0.01009	0.00010
07/12/2015	1,514,956.555	649,631.481	-0.00725	0.00005	0.00184	0.00000
04/02/2016	1,514,956.563	649,631.468	0.00059	0.00000	-0.01126	0.00013
01/04/2016	1,514,956.559	649,631.478	-0.00353	0.00001	-0.00032	0.00000
01/06/2016	1,514,956.555	649,631.469	-0.00774	0.00006	-0.00946	0.00009
01/08/2016	1,514,956.561	649,631.479	-0.00194	0.00000	0.00040	0.00000
Coord. Prom.	1,514,956.563	649,631.479				
Sumatoria			0.00000	0.00033	0.00000	0.00060
Error estandar de una observación			0.005727069		0.00773008	
Error estandar de la media aritmética			0.001726776		0.00233071	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,514,956.551		649,631.463	
Límite Superior			1,514,956.574		649,631.494	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentran dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 19 se muestran las 11 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en OPUS.

Figura 19. **Elipse de error OPUS-SSIA – 2 horas**



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 4 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XXIII. **CORS SSIA – 4 horas – OPUS**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Altu. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.636	649,631.537	626.645	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.566	0.016	649,631.471	-0.010	626.626	0.004
01/12/2014	1,514,956.644	649,631.543	626.662	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.573	0.009	649,631.476	-0.015	626.643	-0.013
01/02/2015	1,514,956.636	649,631.549	626.649	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.563	0.019	649,631.480	-0.019	626.630	0.000
01/04/2015	1,514,956.643	649,631.541	626.664	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.569	0.013	649,631.471	-0.010	626.645	-0.015
01/06/2015	1,514,956.640	649,631.546	626.661	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.565	0.017	649,631.475	-0.014	626.641	-0.011
01/08/2015	1,514,956.640	649,631.548	626.669	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.564	0.018	649,631.476	-0.015	626.649	-0.019
01/10/2015	1,514,956.638	649,631.558	626.664	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.561	0.021	649,631.485	-0.024	626.644	-0.014
07/12/2015	1,514,956.644	649,631.551	626.667	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.565	0.017	649,631.477	-0.016	626.646	-0.016
04/02/2016	1,514,956.635	649,631.544	626.643	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.555	0.027	649,631.469	-0.008	626.622	0.008
01/04/2016	1,514,956.642	649,631.553	626.659	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.561	0.021	649,631.476	-0.015	626.638	-0.008
01/06/2016	1,514,956.636	649,631.531	626.636	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.554	0.028	649,631.453	0.008	626.614	0.016
01/08/2016	1,514,956.639	649,631.552	626.646	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.556	0.026	649,631.473	-0.012	626.624	0.006

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXIV. Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – OPUS

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.566	649,631.471	0.00320	0.00001	-0.00283	0.00001
01/12/2014	1,514,956.573	649,631.476	0.01000	0.00010	0.00203	0.00000
01/02/2015	1,514,956.563	649,631.480	0.00078	0.00000	0.00688	0.00005
01/04/2015	1,514,956.569	649,631.471	0.00661	0.00004	-0.00222	0.00000
01/06/2015	1,514,956.565	649,631.475	0.00241	0.00001	0.00164	0.00000
01/08/2015	1,514,956.564	649,631.476	0.00121	0.00000	0.00251	0.00001
01/10/2015	1,514,956.561	649,631.485	-0.00200	0.00000	0.01137	0.00013
07/12/2015	1,514,956.565	649,631.477	0.00268	0.00001	0.00312	0.00001
04/02/2016	1,514,956.555	649,631.469	-0.00748	0.00006	-0.00498	0.00002
01/04/2016	1,514,956.561	649,631.476	-0.00161	0.00000	0.00296	0.00001
01/06/2016	1,514,956.554	649,631.453	-0.00881	0.00008	-0.02018	0.00041
01/08/2016	1,514,956.556	649,631.473	-0.00701	0.00005	-0.00031	0.00000
Coor. Prom.	1,514,956.563	649,631.474				
Sumatoria			0.00000	0.00036	0.00000	0.00065
Error estándar de una observación			0.005708065		0.007705321	
Error estándar de la media aritmética			0.001647776		0.002224335	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.551		649,631.458	
Límite Superior			1,514,956.574		649,631.489	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/06/2016 está por debajo del límite inferior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla XXV. Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – OPUS (11 datos)

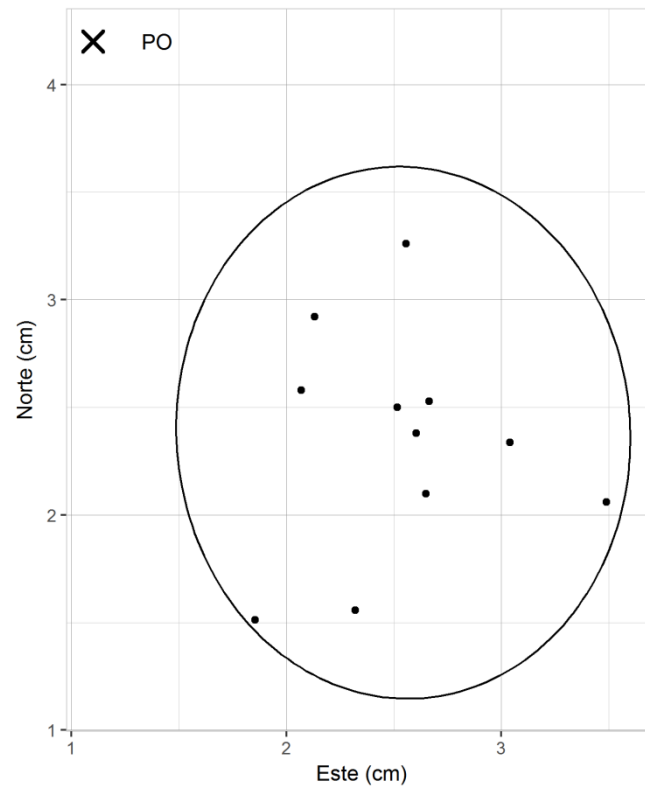
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.566	649,631.471	0.00240	0.00001	-0.00466	0.00002
01/12/2014	1,514,956.573	649,631.476	0.00920	0.00008	0.00020	0.00000
01/02/2015	1,514,956.563	649,631.480	-0.00002	0.00000	0.00504	0.00003
01/04/2015	1,514,956.569	649,631.471	0.00581	0.00003	-0.00405	0.00002
01/06/2015	1,514,956.565	649,631.475	0.00161	0.00000	-0.00019	0.00000
01/08/2015	1,514,956.564	649,631.476	0.00041	0.00000	0.00067	0.00000
01/10/2015	1,514,956.561	649,631.485	-0.00280	0.00001	0.00954	0.00009
07/12/2015	1,514,956.565	649,631.477	0.00188	0.00000	0.00129	0.00000
04/02/2016	1,514,956.555	649,631.469	-0.00828	0.00007	-0.00681	0.00005
01/04/2016	1,514,956.561	649,631.476	-0.00241	0.00001	0.00113	0.00000
01/08/2016	1,514,956.556	649,631.473	-0.00781	0.00006	-0.00215	0.00000
Coor. Prom.	1,514,956.563	649,631.475				
Sumatoria			0.00000	0.00027	0.00000	0.00021
Error estándar de una observación			0.005232206		0.004572015	
Error estándar de la media aritmética			0.00157757		0.001378514	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,514,956.553		649,631.466	
Límite Superior			1,514,956.574		649,631.485	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentran dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 20 se muestran las 11 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en OPUS.

Figura 20. **Elipse de error OPUS-SSIA – 4 horas**



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 6 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XXVI. **CORS SSIA – 6 horas – OPUS**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.639	649,631.539	626.643	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.569	0.013	649,631.473	-0.012	626.624	0.006
01/12/2014	1,514,956.644	649,631.543	626.671	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.573	0.009	649,631.476	-0.015	626.652	-0.022
01/02/2015	1,514,956.644	649,631.541	626.646	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.571	0.011	649,631.472	-0.011	626.627	0.003
01/04/2015	1,514,956.632	649,631.538	626.634	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.558	0.024	649,631.468	-0.007	626.615	0.015
01/06/2015	1,514,956.639	649,631.551	626.650	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.564	0.018	649,631.480	-0.019	626.630	0.000
01/08/2015	1,514,956.634	649,631.543	626.652	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.471	-0.010	626.632	-0.002
01/10/2015	1,514,956.637	649,631.554	626.653	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.560	0.022	649,631.481	-0.020	626.633	-0.003
07/12/2015	1,514,956.648	649,631.551	626.673	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.569	0.013	649,631.477	-0.016	626.652	-0.022
04/02/2016	1,514,956.640	649,631.550	626.664	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.560	0.022	649,631.475	-0.014	626.643	-0.013
01/04/2016	1,514,956.642	649,631.557	626.665	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.561	0.021	649,631.480	-0.019	626.644	-0.014
01/06/2016	1,514,956.635	649,631.557	626.635	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.553	0.029	649,631.479	-0.018	626.613	0.017
01/08/2016	1,514,956.642	649,631.552	626.633	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.559	0.023	649,631.473	-0.012	626.611	0.019

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXVII. Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – OPUS

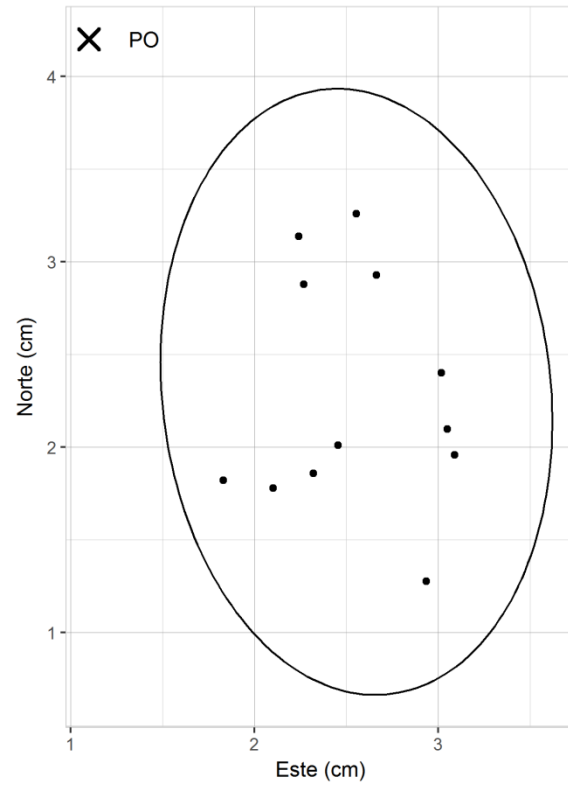
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.569	649,631.473	0.00595	0.00004	-0.00275	0.00001
01/12/2014	1,514,956.573	649,631.476	0.00975	0.00010	0.00012	0.00000
01/02/2015	1,514,956.571	649,631.472	0.00853	0.00007	-0.00304	0.00001
01/04/2015	1,514,956.558	649,631.468	-0.00464	0.00002	-0.00714	0.00005
01/06/2015	1,514,956.564	649,631.480	0.00116	0.00000	0.00473	0.00002
01/08/2015	1,514,956.558	649,631.471	-0.00504	0.00003	-0.00441	0.00002
01/10/2015	1,514,956.560	649,631.481	-0.00325	0.00001	0.00545	0.00003
07/12/2015	1,514,956.569	649,631.477	0.00643	0.00004	0.00121	0.00000
04/02/2016	1,514,956.560	649,631.475	-0.00273	0.00001	-0.00089	0.00000
01/04/2016	1,514,956.561	649,631.480	-0.00186	0.00000	0.00504	0.00003
01/06/2016	1,514,956.553	649,631.479	-0.01006	0.00010	0.00391	0.00002
01/08/2016	1,514,956.559	649,631.473	-0.00426	0.00002	-0.00223	0.00000
Coord. Prom.	1,514,956.563	649,631.475				
Sumatoria			0.00000	0.00043	0.00000	0.00019
Error estándar de una observación			0.006279039		0.004125166	
Error estándar de la media aritmética			0.001812602		0.001190833	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.550		649,631.467	
Límite Superior			1,514,956.576		649,631.484	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentran dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 21 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en OPUS.

Figura 21. **Elipse de error OPUS-SSIA – 6 horas**



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 2 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service”, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XXVIII. CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS

Fecha	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.63	649,631.53	626.608	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.562	0.020	649,631.468	-0.007	626.589	0.041
01/12/2014	1,514,956.63	649,631.54	626.634	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.472	-0.011	626.615	0.015
01/02/2015	1,514,956.63	649,631.60	626.601	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.529	-0.068	626.582	0.048
01/04/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.612	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.562	0.020	649,631.466	-0.005	626.593	0.037
01/06/2015	1,514,956.64	649,631.55	626.645	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.563	0.019	649,631.475	-0.014	626.625	0.005
01/08/2015	1,514,956.63	649,631.54	626.636	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.469	-0.008	626.616	0.014
01/10/2015	1,514,956.63	649,631.55	626.625	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.556	0.026	649,631.479	-0.018	626.605	0.025
07/12/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.638	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.470	-0.009	626.617	0.013
04/02/2016	1,514,956.64	649,631.54	626.633	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.468	-0.007	626.612	0.018
01/04/2016	1,514,956.63	649,631.39	626.583	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.545	0.037	649,631.316	0.145	626.562	0.068
01/06/2016	1,514,956.63	649,631.55	626.618	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.552	0.030	649,631.471	-0.010	626.596	0.034
01/08/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.640	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.556	0.026	649,631.467	-0.006	626.618	0.012

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXIX. Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.562	649,631.468	0.00420	0.00002	0.00517	0.00003
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.472	0.00200	0.00000	0.00903	0.00008
01/02/2015	1,514,956.560	649,631.529	0.00278	0.00001	0.06688	0.00447
01/04/2015	1,514,956.562	649,631.466	0.00461	0.00002	0.00378	0.00001
01/06/2015	1,514,956.563	649,631.475	0.00541	0.00003	0.01264	0.00016
01/08/2015	1,514,956.558	649,631.469	0.00021	0.00000	0.00651	0.00004
01/10/2015	1,514,956.556	649,631.479	-0.00200	0.00000	0.01637	0.00027
07/12/2015	1,514,956.559	649,631.470	0.00168	0.00000	0.00712	0.00005
04/02/2016	1,514,956.559	649,631.468	0.00152	0.00000	0.00502	0.00003
01/04/2016	1,514,956.545	649,631.316	-0.01261	0.00016	-0.14604	0.02133
01/06/2016	1,514,956.552	649,631.471	-0.00581	0.00003	0.00882	0.00008
01/08/2016	1,514,956.556	649,631.467	-0.00201	0.00000	0.00469	0.00002
Coor. Prom.	1,514,956.558	649,631.463				
Sumatoria			0.00000	0.00029	0.00000	0.02657
Error estándar de una observación			0.005097426		0.04914614	
Error estándar de la media aritmética			0.0014715		0.014187269	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.547		649,631.362	
Límite Superior			1,514,956.568		649,631.563	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/04/2016 está por debajo del límite inferior para la coordenadas Norte y Este, por tanto se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados se obtienen los siguientes resultados:

Tabla XXX. Chauvenet – CORS SSIA – 2 horas – AUSPOS (11 datos)

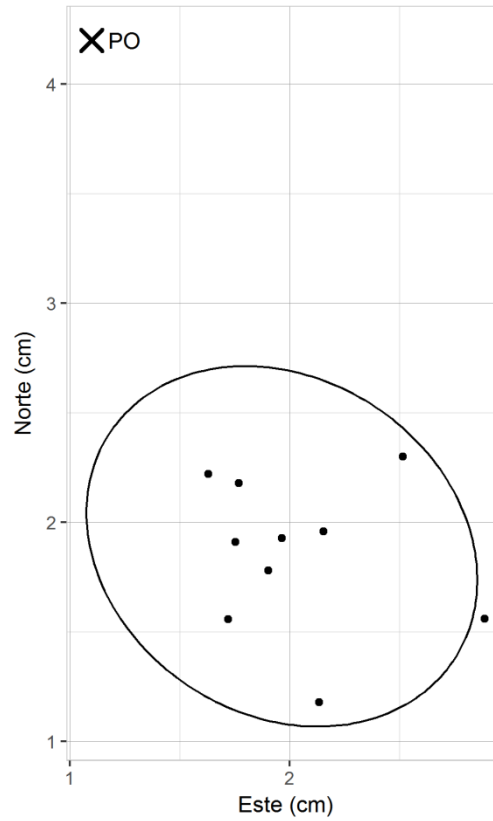
	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
Fecha	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.562	649,631.468	0.00306	0.00001	-0.00811	0.00007
01/12/2014	1,514,956.560	649,631.472	0.00086	0.00000	-0.00424	0.00002
01/02/2015	1,514,956.560	649,631.529	0.00163	0.00000	0.05360	0.00287
01/04/2015	1,514,956.562	649,631.466	0.00347	0.00001	-0.00950	0.00009
01/06/2015	1,514,956.563	649,631.475	0.00427	0.00002	-0.00063	0.00000
01/08/2015	1,514,956.558	649,631.469	-0.00094	0.00000	-0.00677	0.00005
01/10/2015	1,514,956.556	649,631.479	-0.00314	0.00001	0.00309	0.00001
07/12/2015	1,514,956.559	649,631.470	0.00054	0.00000	-0.00615	0.00004
04/02/2016	1,514,956.559	649,631.468	0.00037	0.00000	-0.00825	0.00007
01/06/2016	1,514,956.552	649,631.471	-0.00695	0.00005	-0.00445	0.00002
01/08/2016	1,514,956.556	649,631.467	-0.00316	0.00001	-0.00859	0.00007
Coor. Prom.	1,514,956.559	649,631.476				
Sumatoria			0.00000	0.00011	0.00000	0.00330
Error estándar de una observación			0.003353903		0.01817275	
Error estándar de la media aritmética			0.00101124		0.00547929	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,514,956.552		649,631.441	
Límite Superior			1,514,956.565		649,631.510	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/02/2015 está por arriba del límite superior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición. No es necesario volver a aplicar el criterio de Chauvenet.

En la figura 22 se muestran las 10 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en AUSPOS.

Figura 22. **Elipse de error AUSPOS-SSIA – 2 horas**



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 4 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service”, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XXXI. **CORS SSIA – 4 horas – AUSPOS**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E		Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.64	649,631.54	626.621	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.565	0.017	649,631.469	-0.008	626.602	0.028
01/12/2014	1,514,956.64	649,631.54	626.638	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.568	0.014	649,631.473	-0.012	626.619	0.011
01/02/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.638	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.564	0.018	649,631.472	-0.011	626.619	0.011
01/04/2015	1,514,956.63	649,631.54	626.640	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.560	0.022	649,631.471	-0.010	626.621	0.009
01/06/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.633	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.561	0.021	649,631.471	-0.010	626.613	0.017
01/08/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.638	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.559	0.023	649,631.467	-0.006	626.618	0.012
01/10/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.631	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.470	-0.009	626.611	0.019
07/12/2015	1,514,956.64	649,631.55	626.653	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.474	-0.013	626.632	-0.002
04/02/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.634	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.474	-0.013	626.613	0.017
01/04/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.621	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.556	0.026	649,631.470	-0.009	626.600	0.030
01/06/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.625	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.553	0.029	649,631.468	-0.007	626.603	0.027
01/08/2016	1,514,956.64	649,631.56	626.620	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.556	0.026	649,631.476	-0.015	626.598	0.032

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXXII. **Chauvenet – CORS SSIA – 4 horas – AUSPOS**

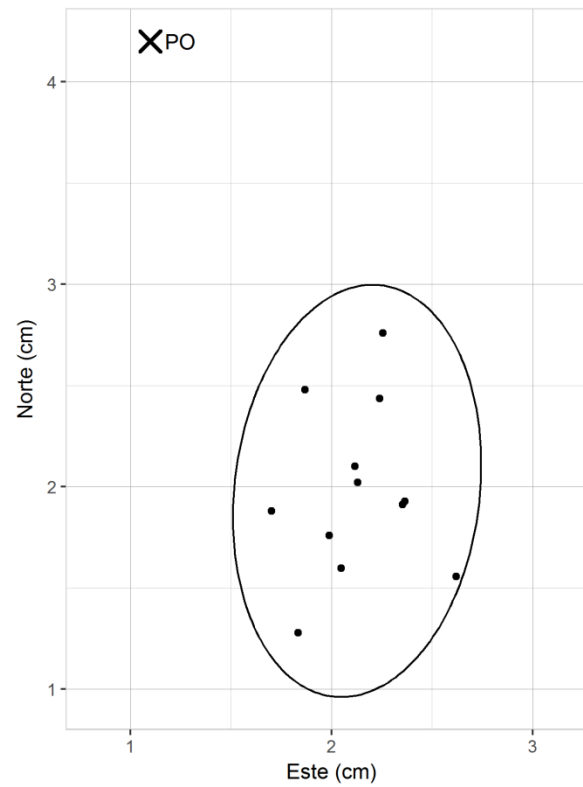
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.565	649,631.469	0.00504	0.00003	-0.00258	0.00001
01/12/2014	1,514,956.568	649,631.473	0.00783	0.00006	0.00128	0.00000
01/02/2015	1,514,956.564	649,631.472	0.00461	0.00002	0.00113	0.00000
01/04/2015	1,514,956.560	649,631.471	0.00045	0.00000	0.00003	0.00000
01/06/2015	1,514,956.561	649,631.471	0.00124	0.00000	-0.00011	0.00000
01/08/2015	1,514,956.559	649,631.467	-0.00096	0.00000	-0.00424	0.00002
01/10/2015	1,514,956.558	649,631.470	-0.00216	0.00000	-0.00138	0.00000
07/12/2015	1,514,956.559	649,631.474	-0.00048	0.00000	0.00237	0.00001
04/02/2016	1,514,956.559	649,631.474	-0.00065	0.00000	0.00227	0.00001
01/04/2016	1,514,956.556	649,631.470	-0.00377	0.00001	-0.00079	0.00000
01/06/2016	1,514,956.553	649,631.468	-0.00698	0.00005	-0.00293	0.00001
01/08/2016	1,514,956.556	649,631.476	-0.00418	0.00002	0.00494	0.00002
Coor. Prom.	1,514,956.560	649,631.471				
Sumatoria			0.00000	0.00020	0.00000	0.00007
Error estándar de una observación			0.004225109		0.002591192	
Error estándar de la media aritmética			0.001219684		0.000748013	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.551		649,631.466	
Límite Superior			1,514,956.568		649,631.477	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 23 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en AUSPOS.

Figura 23. Elipse de error AUSPO-SSIA – 4 horas



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS El Salvador, con duración de 6 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service”, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XXXIII. CORS SSIA – 6 horas – AUSPOS

Fecha	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,514,956.64	649,631.54	626.624	-0.070	-0.066	-0.019	1,514,956.565	0.017	649,631.469	-0.008	626.605	0.025
01/12/2014	1,514,956.64	649,631.54	626.646	-0.071	-0.067	-0.019	1,514,956.567	0.015	649,631.474	-0.013	626.627	0.003
01/02/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.628	-0.073	-0.069	-0.019	1,514,956.562	0.020	649,631.469	-0.008	626.609	0.021
01/04/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.642	-0.074	-0.070	-0.019	1,514,956.567	0.015	649,631.470	-0.009	626.623	0.007
01/06/2015	1,514,956.63	649,631.54	626.633	-0.075	-0.071	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.473	-0.012	626.613	0.017
01/08/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.644	-0.076	-0.072	-0.020	1,514,956.563	0.019	649,631.468	-0.007	626.624	0.006
01/10/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.630	-0.077	-0.073	-0.020	1,514,956.558	0.024	649,631.468	-0.007	626.610	0.020
07/12/2015	1,514,956.64	649,631.54	626.649	-0.079	-0.074	-0.021	1,514,956.559	0.023	649,631.470	-0.009	626.628	0.002
04/02/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.630	-0.080	-0.075	-0.021	1,514,956.558	0.024	649,631.471	-0.010	626.609	0.021
01/04/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.626	-0.081	-0.077	-0.021	1,514,956.554	0.028	649,631.471	-0.010	626.605	0.025
01/06/2016	1,514,956.64	649,631.55	626.611	-0.082	-0.078	-0.022	1,514,956.554	0.028	649,631.473	-0.012	626.589	0.041
01/08/2016	1,514,956.64	649,631.56	626.619	-0.083	-0.079	-0.022	1,514,956.558	0.024	649,631.476	-0.015	626.597	0.033

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXXIV. Chauvenet – CORS SSIA – 6 horas – AUSPOS

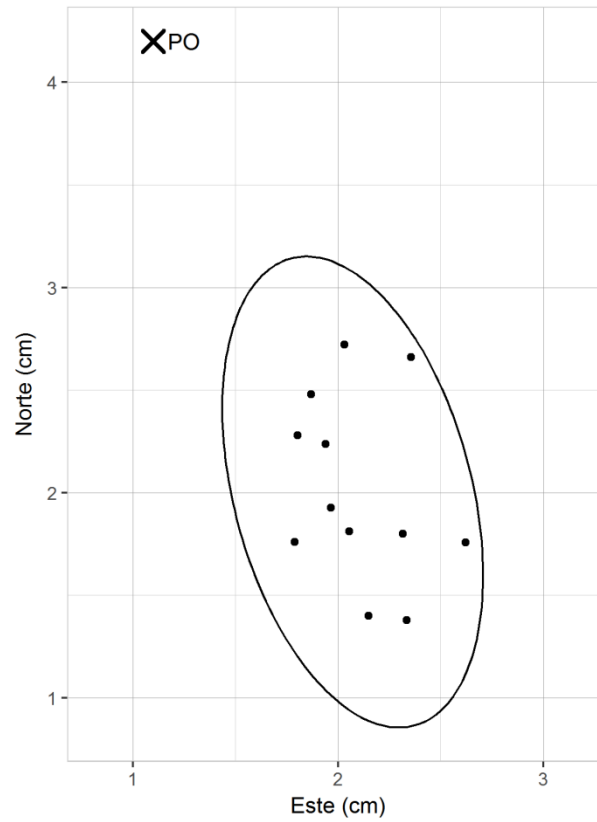
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,514,956.565	649,631.469	0.00462	0.00002	-0.00233	0.00001
01/12/2014	1,514,956.567	649,631.474	0.00642	0.00004	0.00253	0.00001
01/02/2015	1,514,956.562	649,631.469	0.00220	0.00000	-0.00162	0.00000
01/04/2015	1,514,956.567	649,631.470	0.00703	0.00005	-0.00072	0.00000
01/06/2015	1,514,956.558	649,631.473	-0.00217	0.00000	0.00214	0.00000
01/08/2015	1,514,956.563	649,631.468	0.00262	0.00001	-0.00299	0.00001
01/10/2015	1,514,956.558	649,631.468	-0.00258	0.00001	-0.00313	0.00001
07/12/2015	1,514,956.559	649,631.470	-0.00090	0.00000	-0.00138	0.00000
04/02/2016	1,514,956.558	649,631.471	-0.00206	0.00000	-0.00048	0.00000
01/04/2016	1,514,956.554	649,631.471	-0.00619	0.00004	0.00046	0.00000
01/06/2016	1,514,956.554	649,631.473	-0.00639	0.00004	0.00232	0.00001
01/08/2016	1,514,956.558	649,631.476	-0.00260	0.00001	0.00519	0.00003
Coord. Prom.	1,514,956.560	649,631.471				
Sumatoria			0.00000	0.00023	0.00000	0.00007
Error estándar de una observación			0.004532901		0.002576147	
Error estándar de la media aritmética			0.001308536		0.000743669	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,514,956.551		649,631.466	
Límite Superior			1,514,956.569		649,631.476	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 24 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en AUSPOS.

Figura 24. **Elipse de error AUSPO-SSIA – 6 horas**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXXV se presentan los resultados de las principales estadísticas obtenidas para la CORS SSIA en el sitio PPP, en la tabla XXXVI los resultados del sitio OPUS y en la tabla XXXVII los resultados del sitio AUSPOS.

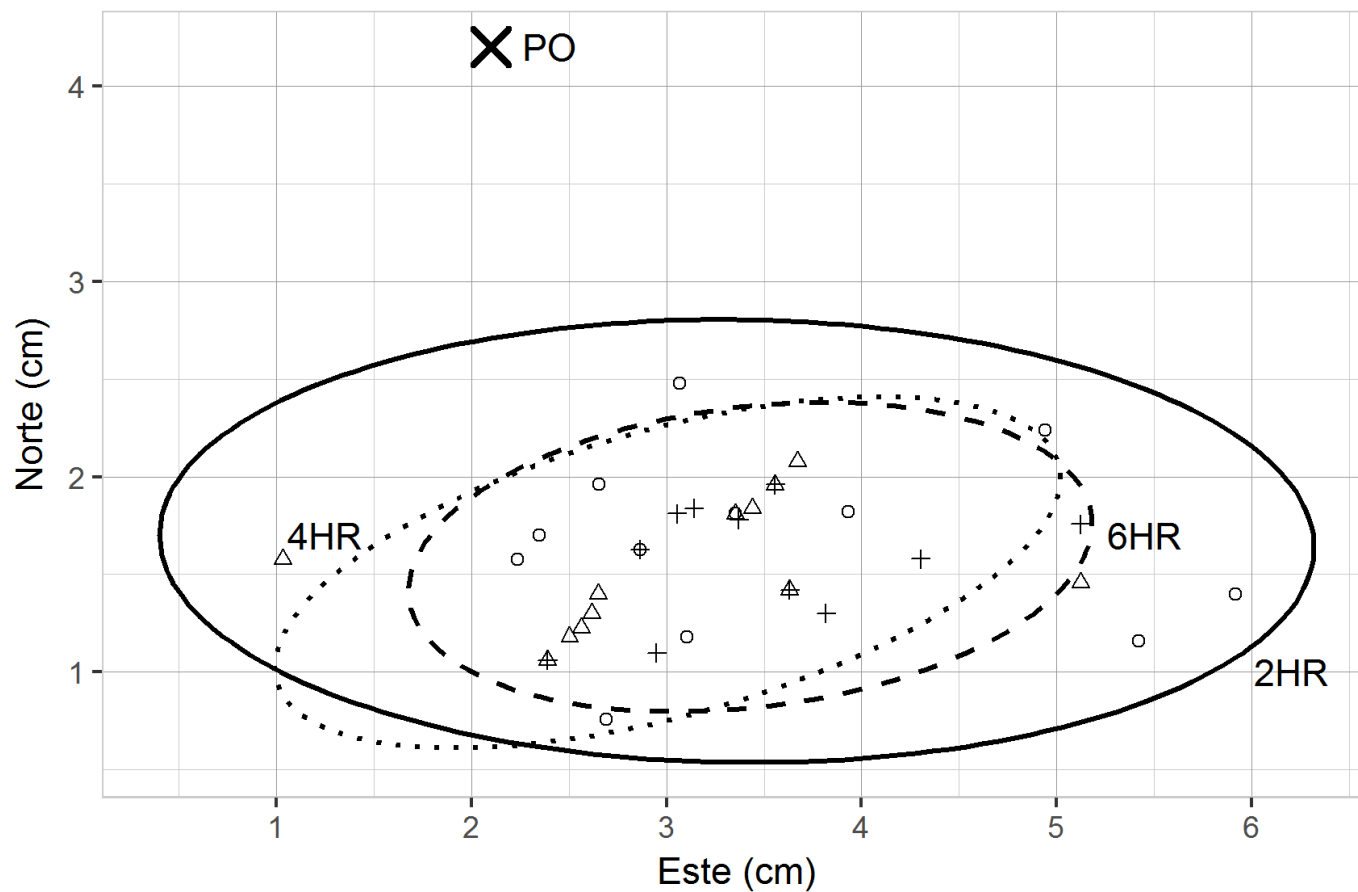
Con fines de visualizar mejor los resultados, en las figuras 25, 26 y 27 se han superpuesto los resultados de los datos de 2, 4 y 6 horas de cada uno de los sitios de procesamiento en línea con su respectiva elipse de error al 95 %.

Tabla XXXV. Resultados SSIA – PPP

	2 horas			4 horas			6 horas		
	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.026	-0.014	0.019	0.027	-0.009	0.011	0.026	-0.014	0.006
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.004776	0.012370	0.016	0.003281	0.009951	0.011	0.003068	0.007531	0.012
Error medio cuadrático (m)	0.026	0.019	0.024	0.027	0.013	0.015	0.026	0.015	0.013
Error medio cuadrático (m) Total	0.032			0.030			0.031		
Máximo error(m)	0.034	0.038	0.036	0.031	0.030	0.032	0.031	0.030	0.022
Mínimo error (m)	0.017	0.001	0.003	0.021	0.003	0.008	0.022	0.003	0.005
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,514,956.556	649,631.475	626.611	1,514,956.555	649,631.470	626.619	1,514,956.556	649,631.475	626.624
Coordenada oficial (CO) (m)	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630
Distancia CP_CO (m)	0.029			0.028			0.030		
Área elipse (mm ²)	1,052.849			478.220			388.3287		

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Resultados CORS SSIA – PPP – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs



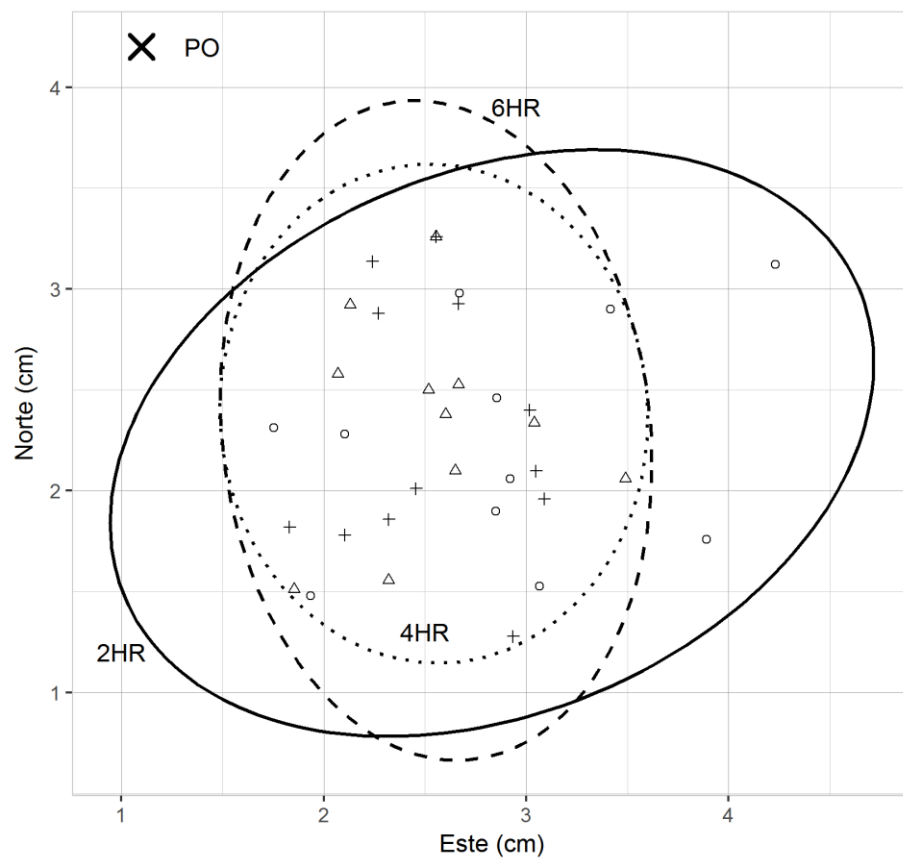
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Resultados SSIA – OPUS

	2 horas			4 horas			6 horas		
	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.019	-0.018	0.001	0.019	-0.014	-0.007	0.019	-0.014	-0.001
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.005727	0.007730	0.011	0.005232	0.004572	0.010	0.006279	0.004125	0.014
Error medio cuadrático (m)	0.020	0.019	0.011	0.019	0.015	0.012	0.020	0.015	0.014
Error medio cuadrático (m) Total	0.028			0.024			0.025		
Máximo error(m)	0.027	0.031	0.022	0.027	0.024	0.019	0.029	0.020	0.022
Mínimo error (m)	0.011	0.007	0.001	0.009	0.008	0.000	0.009	0.007	0.000
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,514,956.563	649,631.479	626.630	1,514,956.563	649,631.475	626.637	1,514,956.563	649,631.475	626.631
Coordenada oficial (CO) (m)	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630
Distancia CP_CO (m)	0.026			0.024			0.024		
Área elipse (mm ²)	828.4446			410.0313			570.301		

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Resultados CORS SSIA – OPUS – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs



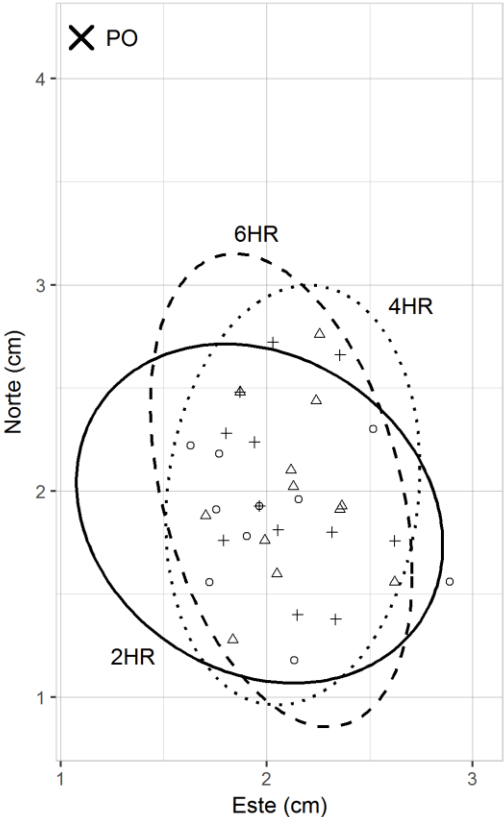
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Resultados SSIA – AUSPOS

	2 horas			4 horas			6 horas		
	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.023	-0.009	0.021	0.022	-0.010	0.018	0.022	-0.010	0.018
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.003489	0.003971	0.012	0.004225	0.002591	0.010	0.004533	0.002576	0.012
Error medio cuadrático (m)	0.024	0.010	0.024	0.023	0.011	0.020	0.022	0.010	0.022
Error medio cuadrático (m) Total	0.026			0.025			0.025		
Máximo error(m)	0.030	0.018	0.041	0.029	0.015	0.032	0.028	0.015	0.041
Mínimo error (m)	0.019	0.005	0.005	0.014	0.006	0.002	0.015	0.007	0.002
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,514,956.559	649,631.470	626.609	1,514,956.560	649,631.471	626.612	1,514,956.560	649,631.471	626.612
Coordenada oficial (CO) (m)	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630	1,514,956.582	649,631.461	626.630
Distancia CP_CO (m)	0.025			0.024			0.024		
Área elipse (mm ²)	225.8666			195.724			214.278		

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Resultados SSIA – AUSPOS – 2 hrs – 4 hrs – 6 hrs



2hr ○ — 4hr △ ... 6hr + --- X Posición Oficial

Fuente: elaboración propia.

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) de los datos obtenidos del sitio PPP para 2, 4 y 6 horas, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XXXVIII. ANDEVA - CORS SSIA - PPP

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.8383E-05	2	9.1913E-06	0.16418782	0.849271542	3.28491765
Dentro de los grupos	0.00184735	33	5.598E-05			
Total	0.00186574	35				

Fuente: elaboración propia.

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) de los datos obtenidos del sitio OPUS para 2, 4 y 6 horas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XXXIX. ANDEVA - CORS SSIA - OPUS

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7.61845E-06	2	3.8092E-06	0.10858188	0.897434537	3.29453681
Dentro de los grupos	0.001122611	32	3.5081E-05			
Total	0.001130229	34				

Fuente: elaboración propia.

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) de los datos obtenidos del sitio AUSPOS para 2, 4 y 6 horas, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XL. ANDEVA - CORS SSIA - AUSPOS

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	9.77288E-06	2	4.8864E-06	0.28825392	0.751558398	3.304817252
Dentro de los grupos	0.000525508	31	1.6951E-05			
Total	0.000535281	33				

Fuente: elaboración propia.

El resultado en las tablas XXXVIII, XXXIX y XL muestran una probabilidad mayor del 0.05, por lo que no existe una diferencia significativa entre los resultados de las mediciones de 2, 4 y 6 horas.

Para el caso de la CORS SSIA se puede observar, según las tablas XXXV, XXXVI y XXXVII que el error medio cuadrático tiene un valor máximo de 0.032 m. y un valor mínimo de 0.024 m., lo cual no representa una diferencia significativa para los propósitos del presente estudio.

Por lo anterior se puede concluir que no hay diferencia significativa entre las mediciones de 2, 4 y 6 horas de duración.

2.3. CORS Tapachula México (MTP1)

Las coordenadas oficiales de la estación CORS de Tapachula México proporcionadas por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA (ver Anexo) y su transformación a coordenadas GTM, se indican en la siguiente tabla:

Tabla XLI. **Coordenadas MTP1**

Geográficas							GTM		Altura elipsoidal	
Latitud				Longitud			N	E	Z	
g	m	s		g	m	s	m	m	m	
14	47	28.91829	N	92	22	4.79497	W	1,636,414.654	298,911.395	54.486

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Los valores para corrección de época, debido al desplazamiento pronosticados por HTDP_3.2.3 (Modelo de Posicionamiento Horizontal Dependiente del Tiempo de la National Geodetic Survey) en marzo del 2013, se indican en la siguiente tabla:

Tabla XLII. **Corrección CORS MTP1**

IGS08 VELOCITY		
Hacia el norte	-0.0015	m/año
Hacia el este	-0.0078	m/año
Hacia arriba	-0.0002	m/año

Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 1 segundo procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XLIII. **CORS MTP1 - 1 SEGUNDO - PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.621	298,911.307	54.465	0.015	0.076	0.002	1,636,414.636	0.018	298,911.383	0.012	54.467	0.019
01/12/2014	1,636,414.627	298,911.322	54.472	0.015	0.077	0.002	1,636,414.642	0.012	298,911.399	-0.004	54.474	0.012
01/02/2015	1,636,414.630	298,911.310	54.474	0.015	0.079	0.002	1,636,414.645	0.009	298,911.389	0.006	54.476	0.010
01/04/2015	1,636,414.615	298,911.322	54.474	0.015	0.080	0.002	1,636,414.630	0.024	298,911.402	-0.007	54.476	0.010
01/06/2015	1,636,414.621	298,911.325	54.451	0.016	0.081	0.002	1,636,414.637	0.017	298,911.406	-0.011	54.453	0.033
04/08/2015	1,636,414.616	298,911.244	54.542	0.016	0.083	0.002	1,636,414.632	0.022	298,911.327	0.068	54.544	-0.058
01/10/2015	1,636,414.630	298,911.361	54.494	0.016	0.084	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.445	-0.050	54.496	-0.010
01/12/2015	1,636,414.640	298,911.295	54.500	0.016	0.085	0.002	1,636,414.656	-0.002	298,911.380	0.015	54.502	-0.016
01/02/2016	1,636,414.630	298,911.301	54.514	0.017	0.086	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.387	0.008	54.516	-0.030
01/04/2016	1,636,414.627	298,911.304	54.475	0.017	0.088	0.002	1,636,414.644	0.010	298,911.392	0.003	54.477	0.009
01/06/2016	1,636,414.642	298,911.355	54.462	0.017	0.089	0.002	1,636,414.659	-0.005	298,911.444	-0.049	54.464	0.022
01/08/2016	1,636,414.630	298,911.325	54.513	0.017	0.090	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.415	-0.020	54.515	-0.029

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XLIV. Chauvenet – CORS MTP1 - 1 SEGUNDO – PPP

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.636	298,911.383	-0.00779	0.00006	-0.01441	0.00021
01/12/2014	1,636,414.642	298,911.399	-0.00154	0.00000	0.00189	0.00000
01/02/2015	1,636,414.645	298,911.389	0.00171	0.00000	-0.00878	0.00008
01/04/2015	1,636,414.630	298,911.402	-0.01305	0.00017	0.00448	0.00002
01/06/2015	1,636,414.637	298,911.406	-0.00680	0.00005	0.00878	0.00008
04/08/2015	1,636,414.632	298,911.327	-0.01153	0.00013	-0.07085	0.00502
01/10/2015	1,636,414.646	298,911.445	0.00271	0.00001	0.04739	0.00225
01/12/2015	1,636,414.656	298,911.380	0.01296	0.00017	-0.01731	0.00030
01/02/2016	1,636,414.647	298,911.387	0.00321	0.00001	-0.00998	0.00010
01/04/2016	1,636,414.644	298,911.392	0.00046	0.00000	-0.00570	0.00003
01/06/2016	1,636,414.659	298,911.444	0.01571	0.00025	0.04660	0.00217
01/08/2016	1,636,414.647	298,911.415	0.00396	0.00002	0.01791	0.00032
Coor. Prom.	1,636,414.643	298,911.397				
Sumatoria			0.00000	0.00086	0.00000	0.01058
Error estándar de una observación			0.008860496		0.031006274	
Error estándar de la media aritmética			0.002557805		0.00895074	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,414.625		298,911.334	
Límite Superior			1,636,414.661		298,911.461	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 04/08/2015 está por debajo del límite inferior para la coordenada Este, por tanto, se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla XLV. Chauvenet – CORS MTP1 - 1 SEGUNDO – PPP (11 datos)

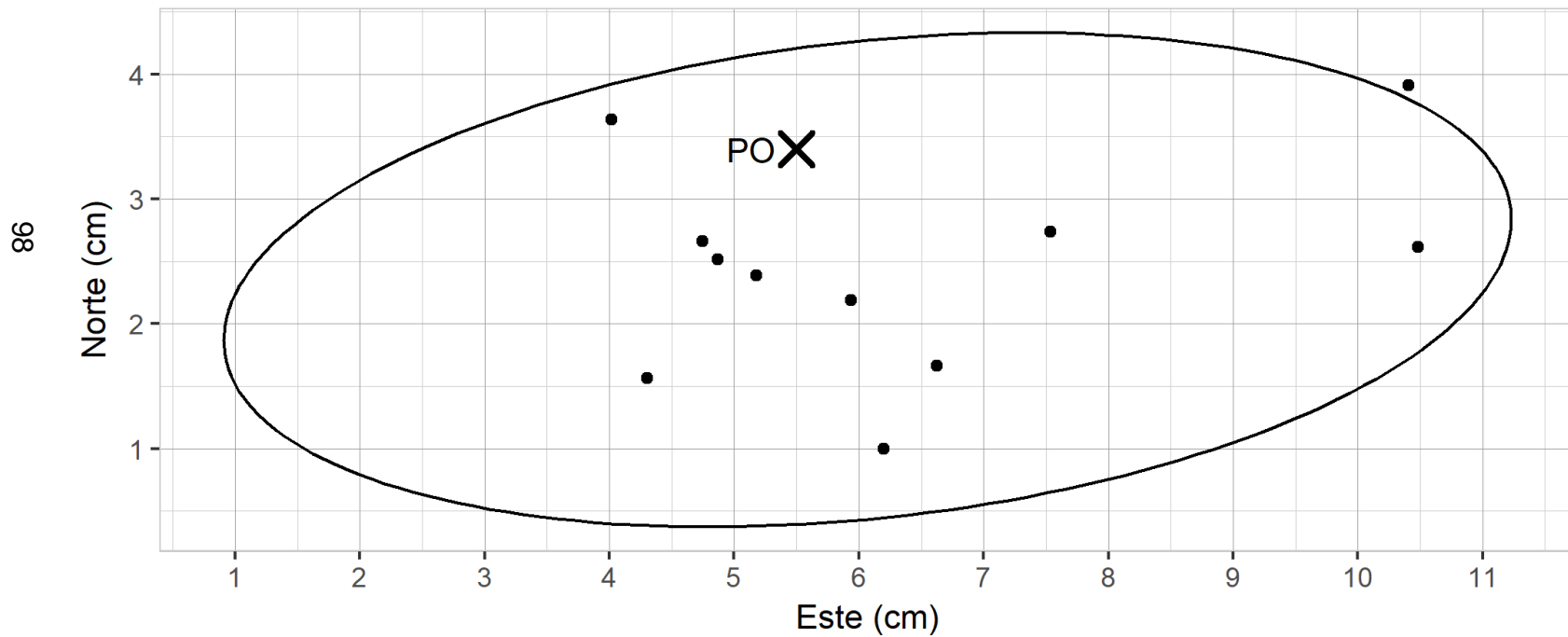
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.636	298,911.383	-0.00884	0.00008	-0.02085	0.00043
01/12/2014	1,636,414.642	298,911.399	-0.00259	0.00001	-0.00455	0.00002
01/02/2015	1,636,414.645	298,911.389	0.00066	0.00000	-0.01523	0.00023
01/04/2015	1,636,414.630	298,911.402	-0.01409	0.00020	-0.00196	0.00000
01/06/2015	1,636,414.637	298,911.406	-0.00784	0.00006	0.00234	0.00001
01/10/2015	1,636,414.646	298,911.445	0.00166	0.00000	0.04095	0.00168
01/12/2015	1,636,414.656	298,911.380	0.01191	0.00014	-0.02375	0.00056
01/02/2016	1,636,414.647	298,911.387	0.00216	0.00000	-0.01643	0.00027
01/04/2016	1,636,414.644	298,911.392	-0.00059	0.00000	-0.01214	0.00015
01/06/2016	1,636,414.659	298,911.444	0.01466	0.00021	0.04016	0.00161
01/08/2016	1,636,414.647	298,911.415	0.00291	0.00001	0.01146	0.00013
Coor. Prom.	1,636,414.644	298,911.404				
Sumatoria			0.00000	0.00072	0.00000	0.00510
Error estándar de una observación			0.008476467		0.022580793	
Error estándar de la media aritmética			0.002555751		0.006808365	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,636,414.628		298,911.359	
Límite Superior			1,636,414.661		298,911.449	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 28 se muestran las 11 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 28. Elipse de error PPP - MTP1 - 1 seg.



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 5 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XLVI. **CORS MTP1 - 5 SEGUNDOS – PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.621	298,911.307	54.465	0.015	0.076	0.002	1,636,414.636	0.018	298,911.383	0.012	54.467	0.019
01/12/2014	1,636,414.627	298,911.322	54.473	0.015	0.077	0.002	1,636,414.642	0.012	298,911.399	-0.004	54.475	0.011
01/02/2015	1,636,414.630	298,911.307	54.473	0.015	0.079	0.002	1,636,414.645	0.009	298,911.386	0.009	54.475	0.011
01/04/2015	1,636,414.615	298,911.319	54.469	0.015	0.080	0.002	1,636,414.630	0.024	298,911.399	-0.004	54.471	0.015
01/06/2015	1,636,414.621	298,911.325	54.450	0.016	0.081	0.002	1,636,414.637	0.017	298,911.406	-0.011	54.452	0.034
04/08/2015	1,636,414.618	298,911.328	54.480	0.016	0.083	0.002	1,636,414.634	0.020	298,911.411	-0.016	54.482	0.004
01/10/2015	1,636,414.630	298,911.361	54.496	0.016	0.084	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.445	-0.050	54.498	-0.012
01/12/2015	1,636,414.640	298,911.298	54.502	0.016	0.085	0.002	1,636,414.656	-0.002	298,911.383	0.012	54.504	-0.018
01/02/2016	1,636,414.634	298,911.301	54.519	0.017	0.086	0.002	1,636,414.651	0.003	298,911.387	0.008	54.521	-0.035
01/04/2016	1,636,414.627	298,911.304	54.474	0.017	0.088	0.002	1,636,414.644	0.010	298,911.392	0.003	54.476	0.010
01/06/2016	1,636,414.642	298,911.355	54.462	0.017	0.089	0.002	1,636,414.659	-0.005	298,911.444	-0.049	54.464	0.022
01/08/2016	1,636,414.630	298,911.328	54.513	0.017	0.090	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.418	-0.023	54.515	-0.029

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XLVII. Chauvenet – CORS MTP1 - 5 SEGUNDOS – PPP

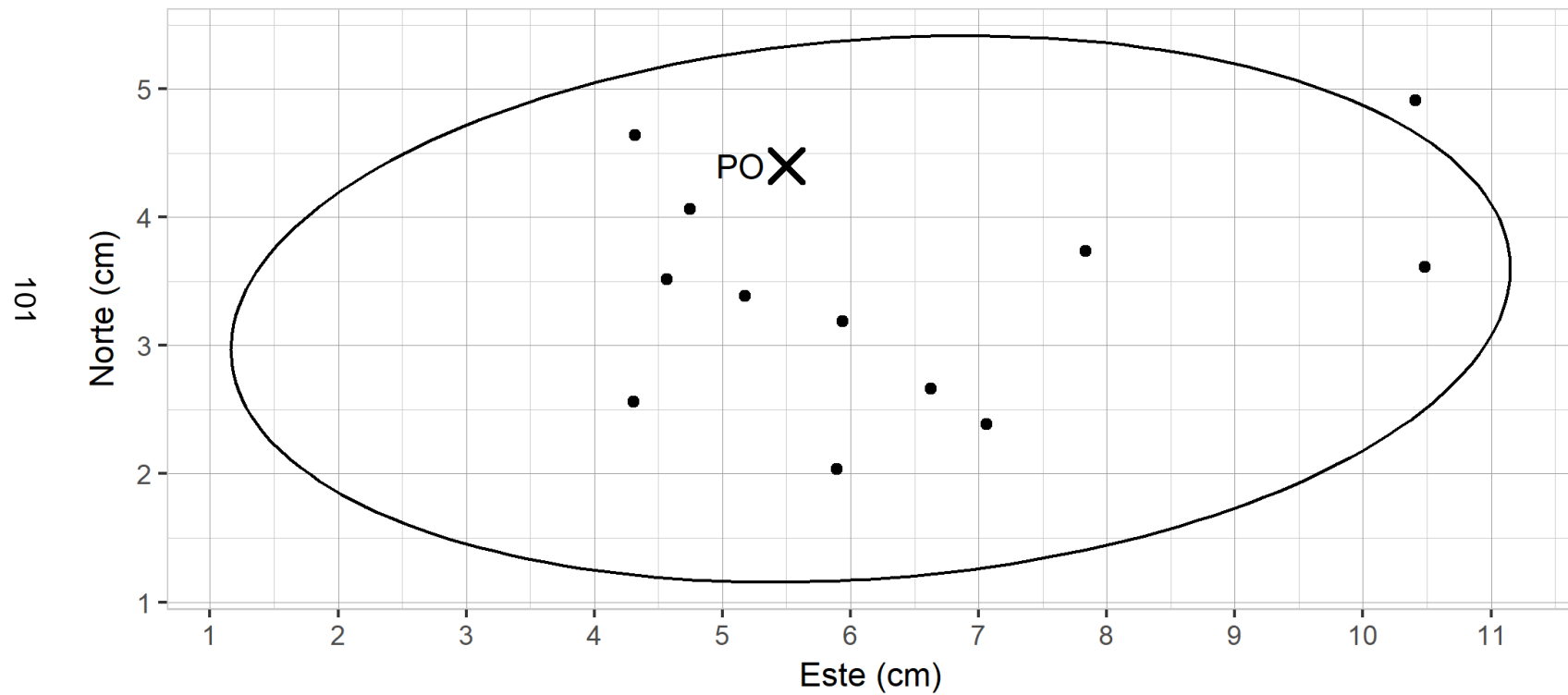
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.636	298,911.383	-0.00829	0.00007	-0.02141	0.00046
01/12/2014	1,636,414.642	298,911.399	-0.00204	0.00000	-0.00511	0.00003
01/02/2015	1,636,414.645	298,911.386	0.00121	0.00000	-0.01878	0.00035
01/04/2015	1,636,414.630	298,911.399	-0.01355	0.00018	-0.00552	0.00003
01/06/2015	1,636,414.637	298,911.406	-0.00730	0.00005	0.00178	0.00000
04/08/2015	1,636,414.634	298,911.411	-0.01003	0.00010	0.00615	0.00004
01/10/2015	1,636,414.646	298,911.445	0.00221	0.00000	0.04039	0.00163
01/12/2015	1,636,414.656	298,911.383	0.01246	0.00016	-0.02131	0.00045
01/02/2016	1,636,414.651	298,911.387	0.00671	0.00005	-0.01698	0.00029
01/04/2016	1,636,414.644	298,911.392	-0.00004	0.00000	-0.01270	0.00016
01/06/2016	1,636,414.659	298,911.444	0.01521	0.00023	0.03960	0.00157
01/08/2016	1,636,414.647	298,911.418	0.00346	0.00001	0.01391	0.00019
Coor. Prom.	1,636,414.644	298,911.404				
Sumatoria			0.00000	0.00086	0.00000	0.00521
Error estándar de una observación			0.00884284		0.021753952	
Error estándar de la media aritmética			0.002552708		0.006279825	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,414.626		298,911.360	
Límite Superior			1,636,414.662		298,911.449	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 29 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 29. Elipse de error PPP - MTP1 - 5 seg.



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 15 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XLVIII. **CORS MTP1 - 15 SEGUNDOS – PPP**

Fecha	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.621	298,911.307	54.463	0.015	0.076	0.002	1,636,414.636	0.018	298,911.383	0.012	54.465	0.021
01/12/2014	1,636,414.627	298,911.322	54.476	0.015	0.077	0.002	1,636,414.642	0.012	298,911.399	-0.004	54.478	0.008
01/02/2015	1,636,414.630	298,911.313	54.467	0.015	0.079	0.002	1,636,414.645	0.009	298,911.392	0.003	54.469	0.017
01/04/2015	1,636,414.615	298,911.319	54.474	0.015	0.080	0.002	1,636,414.630	0.024	298,911.399	-0.004	54.476	0.010
01/06/2015	1,636,414.621	298,911.328	54.452	0.016	0.081	0.002	1,636,414.637	0.017	298,911.409	-0.014	54.454	0.032
04/08/2015	1,636,414.609	298,911.322	54.463	0.016	0.083	0.002	1,636,414.625	0.029	298,911.405	-0.010	54.465	0.021
01/10/2015	1,636,414.630	298,911.361	54.494	0.016	0.084	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.445	-0.050	54.496	-0.010
01/12/2015	1,636,414.637	298,911.301	54.504	0.016	0.085	0.002	1,636,414.653	0.001	298,911.386	0.009	54.506	-0.020
01/02/2016	1,636,414.634	298,911.304	54.517	0.017	0.086	0.002	1,636,414.651	0.003	298,911.390	0.005	54.519	-0.033
01/04/2016	1,636,414.627	298,911.304	54.477	0.017	0.088	0.002	1,636,414.644	0.010	298,911.392	0.003	54.479	0.007
01/06/2016	1,636,414.642	298,911.349	54.457	0.017	0.089	0.002	1,636,414.659	-0.005	298,911.438	-0.043	54.459	0.027
01/08/2016	1,636,414.630	298,911.328	54.513	0.017	0.090	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.418	-0.023	54.515	-0.029

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XLIX. Chauvenet – CORS MTP1 - 15 SEGUNDOS – PPP

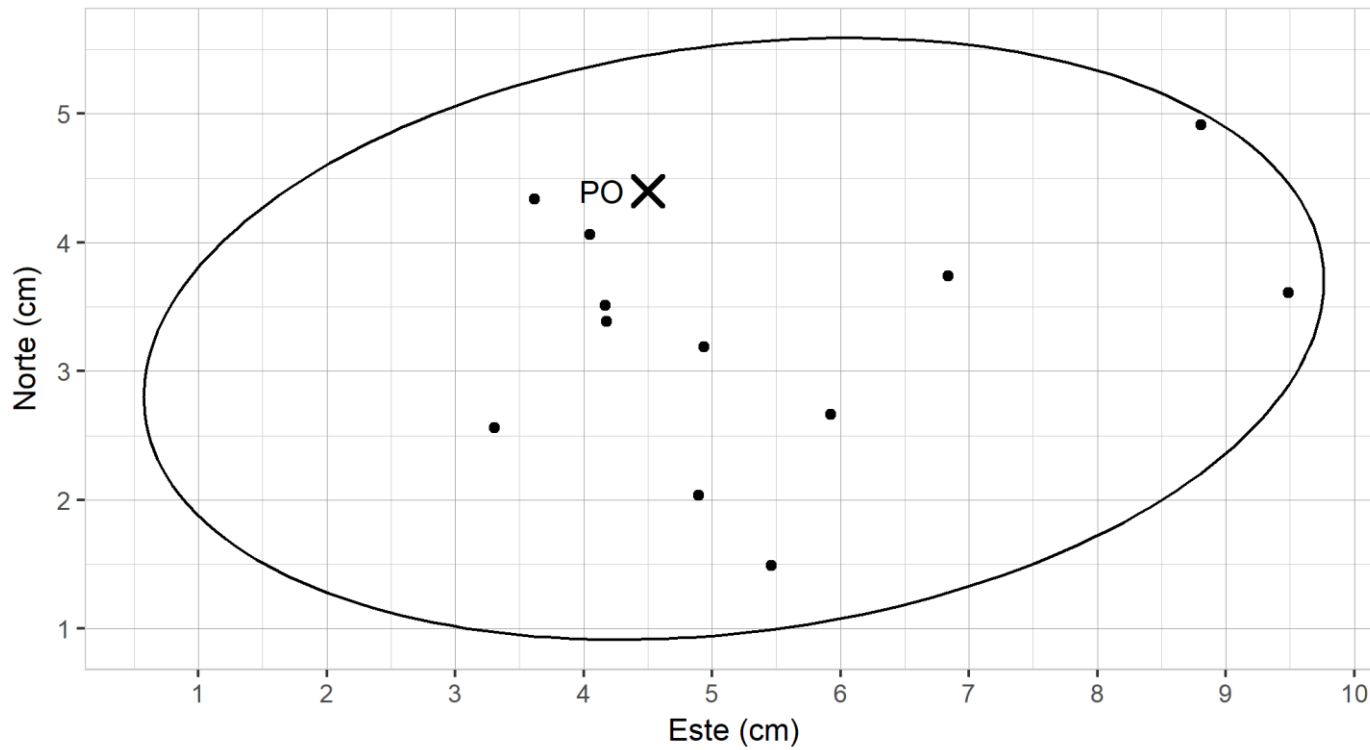
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.636	298,911.383	-0.00729	0.00005	-0.02166	0.00047
01/12/2014	1,636,414.642	298,911.399	-0.00104	0.00000	-0.00536	0.00003
01/02/2015	1,636,414.645	298,911.392	0.00221	0.00000	-0.01303	0.00017
01/04/2015	1,636,414.630	298,911.399	-0.01255	0.00016	-0.00577	0.00003
01/06/2015	1,636,414.637	298,911.409	-0.00630	0.00004	0.00453	0.00002
04/08/2015	1,636,414.625	298,911.405	-0.01803	0.00033	-0.00010	0.00000
01/10/2015	1,636,414.646	298,911.445	0.00321	0.00001	0.04014	0.00161
01/12/2015	1,636,414.653	298,911.386	0.01046	0.00011	-0.01856	0.00034
01/02/2016	1,636,414.651	298,911.390	0.00771	0.00006	-0.01423	0.00020
01/04/2016	1,636,414.644	298,911.392	0.00096	0.00000	-0.01295	0.00017
01/06/2016	1,636,414.659	298,911.438	0.01621	0.00026	0.03335	0.00111
01/08/2016	1,636,414.647	298,911.418	0.00446	0.00002	0.01366	0.00019
Coor. Prom.	1,636,414.643	298,911.405				
Sumatoria			0.00000	0.00104	0.00000	0.00435
Error estandar de una observación			0.00974212		0.019877689	
Error estandar de la media aritmética			0.002812308		0.005738195	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,414.623		298,911.364	
Límite Superior			1,636,414.663		298,911.445	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 30 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 30. Elipse de error PPP - MTP1 - 15 seg.



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 30 segundos procesadas en el sitio *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning PPP, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla L. **CORS MTP1 - 30 segundos – PPP**

	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
Fecha	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.618	298,911.307	54.470	0.015	0.076	0.002	1,636,414.633	0.021	298,911.383	0.012	54.472	0.014
01/12/2014	1,636,414.627	298,911.319	54.488	0.015	0.077	0.002	1,636,414.642	0.012	298,911.396	-0.001	54.490	-0.004
01/02/2015	1,636,414.630	298,911.307	54.471	0.015	0.079	0.002	1,636,414.645	0.009	298,911.386	0.009	54.473	0.013
01/04/2015	1,636,414.615	298,911.319	54.481	0.015	0.080	0.002	1,636,414.630	0.024	298,911.399	-0.004	54.483	0.003
01/06/2015	1,636,414.621	298,911.316	54.449	0.016	0.081	0.002	1,636,414.637	0.017	298,911.397	-0.002	54.451	0.035
04/08/2015	1,636,414.612	298,911.319	54.487	0.016	0.083	0.002	1,636,414.628	0.026	298,911.402	-0.007	54.489	-0.003
01/10/2015	1,636,414.630	298,911.361	54.499	0.016	0.084	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.445	-0.050	54.501	-0.015
01/12/2015	1,636,414.637	298,911.310	54.485	0.016	0.085	0.002	1,636,414.653	0.001	298,911.395	0.000	54.487	-0.001
01/02/2016	1,636,414.634	298,911.301	54.525	0.017	0.086	0.002	1,636,414.651	0.003	298,911.387	0.008	54.527	-0.041
01/04/2016	1,636,414.627	298,911.307	54.478	0.017	0.088	0.002	1,636,414.644	0.010	298,911.395	0.000	54.480	0.006
01/06/2016	1,636,414.642	298,911.358	54.463	0.017	0.089	0.002	1,636,414.659	-0.005	298,911.447	-0.052	54.465	0.021
01/08/2016	1,636,414.630	298,911.325	54.513	0.017	0.090	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.415	-0.020	54.515	-0.029

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla LI. Chauvenet – CORS MTP1 - 30 SEGUNDOS – PPP

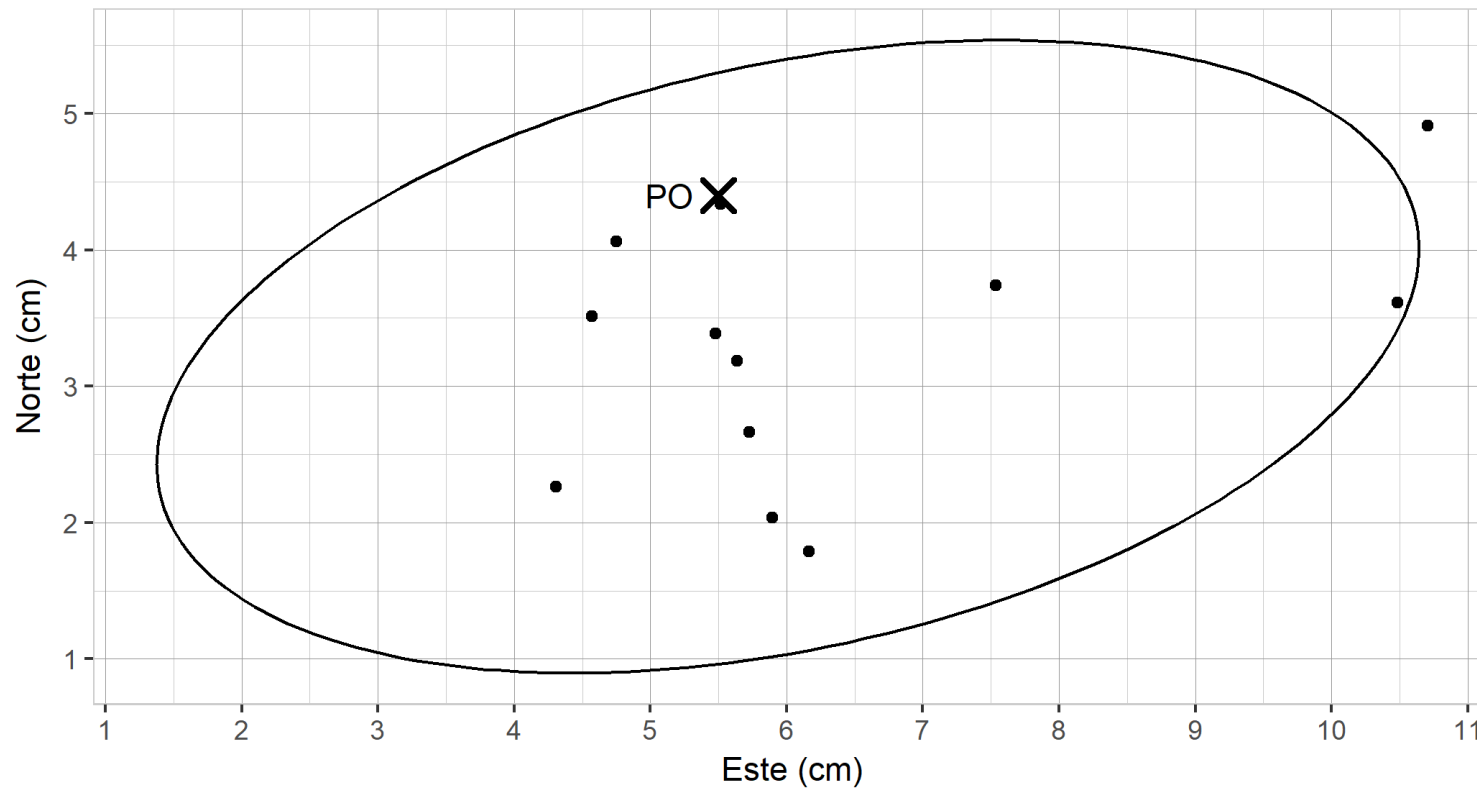
Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.633	298,911.383	-0.01029	0.00011	-0.02091	0.00044
01/12/2014	1,636,414.642	298,911.396	-0.00104	0.00000	-0.00761	0.00006
01/02/2015	1,636,414.645	298,911.386	0.00221	0.00000	-0.01828	0.00033
01/04/2015	1,636,414.630	298,911.399	-0.01255	0.00016	-0.00502	0.00003
01/06/2015	1,636,414.637	298,911.397	-0.00630	0.00004	-0.00672	0.00005
04/08/2015	1,636,414.628	298,911.402	-0.01503	0.00023	-0.00235	0.00001
01/10/2015	1,636,414.646	298,911.445	0.00321	0.00001	0.04089	0.00167
01/12/2015	1,636,414.653	298,911.395	0.01046	0.00011	-0.00881	0.00008
01/02/2016	1,636,414.651	298,911.387	0.00771	0.00006	-0.01648	0.00027
01/04/2016	1,636,414.644	298,911.395	0.00096	0.00000	-0.00920	0.00008
01/06/2016	1,636,414.659	298,911.447	0.01621	0.00026	0.04310	0.00186
01/08/2016	1,636,414.647	298,911.415	0.00446	0.00002	0.01141	0.00013
Coor. Prom.	1,636,414.643	298,911.404				
Sumatoria			0.00000	0.00100	0.00000	0.00500
Error estandar de una observación			0.009523023		0.021318096	
Error estandar de la media aritmética			0.00274906		0.006154004	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,414.623		298,911.360	
Límite Superior			1,636,414.662		298,911.447	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que todos los datos para la coordenada Norte y coordenada Este se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo que no se descarta ningún dato.

En la figura 31 se muestran las 12 coordenadas obtenidas y la coordenada de la posición oficial (PO), así como la elipse de error al 95 % resultante de los datos obtenidos en PPP.

Figura 31. Elipse de error PPP - MTP1 - 30 seg.



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 1 segundo procesadas en el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, obtuvieron los mismos resultados, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla LII. CORS MTP1 - 1, 5, 15 y 30 segundos - OPUS

Fecha	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.631	298,911.311	54.489	0.015	0.076	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.387	0.008	54.491	-0.005
01/12/2014	1,636,414.644	298,911.307	54.481	0.015	0.077	0.002	1,636,414.659	-0.005	298,911.384	0.011	54.483	0.003
01/02/2015	1,636,414.638	298,911.360	54.485	0.015	0.079	0.002	1,636,414.653	0.001	298,911.439	-0.044	54.487	-0.001
01/04/2015	1,636,414.624	298,911.322	54.521	0.015	0.080	0.002	1,636,414.639	0.015	298,911.402	-0.007	54.523	-0.037
01/06/2015	1,636,414.636	298,911.316	54.502	0.016	0.081	0.002	1,636,414.652	0.002	298,911.397	-0.002	54.504	-0.018
04/08/2015	1,636,414.611	298,911.368	54.469	0.016	0.083	0.002	1,636,414.627	0.027	298,911.451	-0.056	54.471	0.015
01/10/2015	1,636,414.654	298,911.323	54.523	0.016	0.084	0.002	1,636,414.670	-0.016	298,911.407	-0.012	54.525	-0.039
01/12/2015	1,636,414.637	298,911.316	54.478	0.016	0.085	0.002	1,636,414.653	0.001	298,911.401	-0.006	54.480	0.006
01/02/2016	1,636,414.638	298,911.300	54.505	0.017	0.086	0.002	1,636,414.655	-0.001	298,911.386	0.009	54.507	-0.021
01/04/2016	1,636,414.640	298,911.298	54.465	0.017	0.088	0.002	1,636,414.657	-0.003	298,911.386	0.009	54.467	0.019
01/06/2016	1,636,414.650	298,911.316	54.528	0.017	0.089	0.002	1,636,414.667	-0.013	298,911.405	-0.010	54.530	-0.044
01/08/2016	1,636,414.654	298,911.303	54.487	0.017	0.090	0.002	1,636,414.671	-0.017	298,911.393	0.002	54.489	-0.003

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla 52 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla LIII. Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – OPUS

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.646	298,911.387	-0.00846	0.00007	-0.01616	0.00026
01/12/2014	1,636,414.659	298,911.384	0.00479	0.00002	-0.01886	0.00036
01/02/2015	1,636,414.653	298,911.439	-0.00096	0.00000	0.03547	0.00126
01/04/2015	1,636,414.639	298,911.402	-0.01471	0.00022	-0.00127	0.00000
01/06/2015	1,636,414.652	298,911.397	-0.00246	0.00001	-0.00597	0.00004
04/08/2015	1,636,414.627	298,911.451	-0.02720	0.00074	0.04740	0.00225
01/10/2015	1,636,414.670	298,911.407	0.01604	0.00026	0.00364	0.00001
01/12/2015	1,636,414.653	298,911.401	-0.00071	0.00000	-0.00206	0.00000
01/02/2016	1,636,414.655	298,911.386	0.00054	0.00000	-0.01673	0.00028
01/04/2016	1,636,414.657	298,911.386	0.00279	0.00001	-0.01745	0.00030
01/06/2016	1,636,414.667	298,911.405	0.01304	0.00017	0.00185	0.00000
01/08/2016	1,636,414.671	298,911.393	0.01729	0.00030	-0.00984	0.00010
Coor. Prom.	1,636,414.654	298,911.403				
Sumatoria			0.00000	0.00179	0.00000	0.00486
Error estándar de una observación			0.012766221		0.021021559	
Error estándar de la media aritmética			0.00368529		0.006068401	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,414.627		298,911.360	
Límite Superior			1,636,414.680		298,911.446	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 04/08/2015 está por arriba del límite superior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 11 datos seleccionados se obtienen los siguientes resultados:

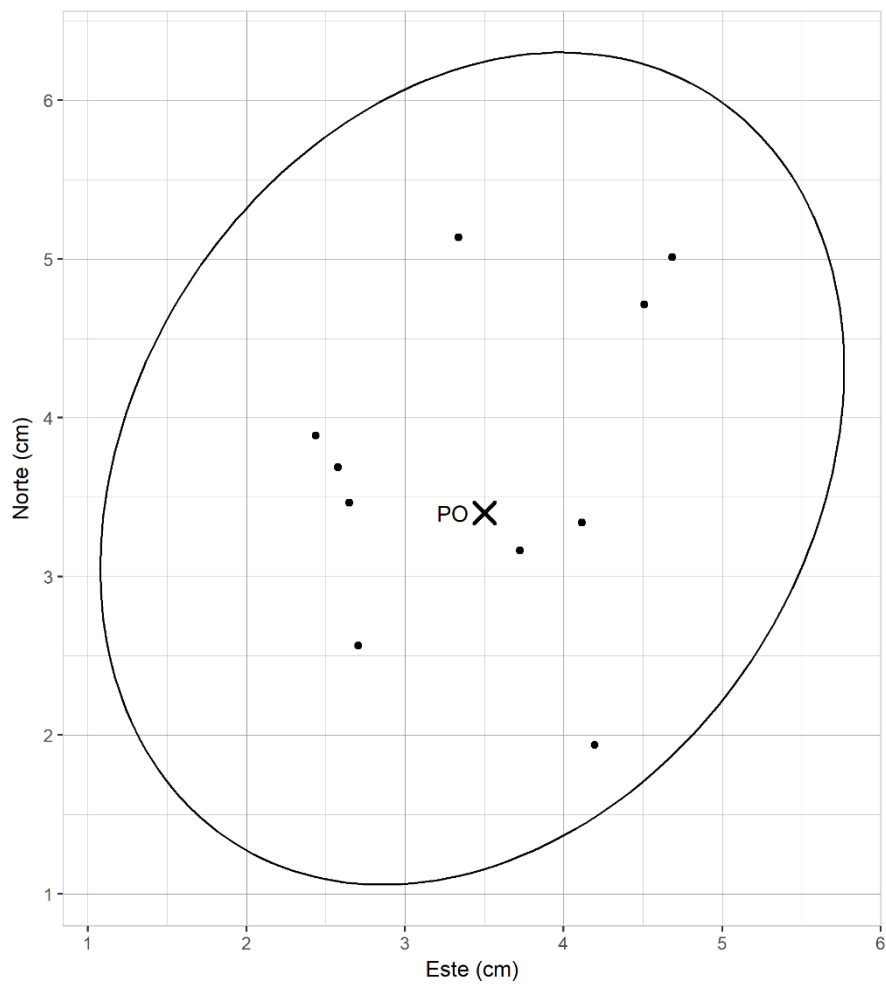
Tabla LIV. Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – OPUS (11 datos)

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.817	298,912.277	-0.01271	0.00016	-0.02107	0.00044
01/12/2014	1,636,414.830	298,912.274	0.00054	0.00000	-0.02377	0.00056
01/02/2015	1,636,414.826	298,912.336	-0.00370	0.00001	0.03836	0.00147
01/04/2015	1,636,414.812	298,912.300	-0.01746	0.00030	0.00162	0.00000
01/06/2015	1,636,414.824	298,912.295	-0.00521	0.00003	-0.00308	0.00001
01/10/2015	1,636,414.843	298,912.304	0.01329	0.00018	0.00653	0.00004
01/12/2015	1,636,414.826	298,912.299	-0.00346	0.00001	0.00083	0.00000
01/02/2016	1,636,414.829	298,912.292	-0.00070	0.00000	-0.00604	0.00004
01/04/2016	1,636,414.831	298,912.291	0.00155	0.00000	-0.00676	0.00005
01/06/2016	1,636,414.841	298,912.311	0.01180	0.00014	0.01254	0.00016
01/08/2016	1,636,414.846	298,912.299	0.01605	0.00026	0.00085	0.00000
Coor. Prom.	1,636,414.829	298,912.298				
Sumatoria			0.00000	0.00110	0.00000	0.00278
Error estándar de una observación			0.010466933		0.016660895	
Error estándar de la media aritmética			0.003155899		0.005023449	
p			0.955		0.955	
Zc			2		2	
Límite Inferior			1,636,414.809		298,912.265	
Límite Superior			1,636,414.850		298,912.331	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/02/2015 está por arriba del límite superior para la coordenada Este, por tanto se procede a descartar esta medición. No es necesario volver a aplicar el criterio de Chauvenet.

Figura 32. Elipse de error OPUS - MTP1



Fuente: elaboración propia.

Las 12 muestras de la CORS Tapachula México, MTP1, con duración de 2 horas con intervalos a 1 segundo procesadas en el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service”, con su transformación a coordenadas GTM, corregidas y comparadas con la coordenada oficial, obtuvieron los mismos resultados, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla LV. CORS MTP1 - 1, 5, 15 y 30 segundos - AUSPOS

Fecha	GTM		Altura elipsoidal	Factor corrección			Coordenadas GTM finales				Alt. Elip. Final	
	N	E	Z	C _N	C _E	C _Z	N	ΔN	E	ΔE	Z	ΔZ
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
01/10/2014	1,636,414.626	298,911.321	54.473	0.015	0.076	0.002	1,636,414.641	0.013	298,911.397	-0.002	54.475	0.011
01/12/2014	1,636,414.615	298,911.325	54.416	0.015	0.077	0.002	1,636,414.630	0.024	298,911.402	-0.007	54.418	0.068
01/02/2015	1,636,414.625	298,911.307	54.597	0.015	0.079	0.002	1,636,414.640	0.014	298,911.386	0.009	54.599	-0.113
01/04/2015	1,636,411.770	298,911.312	89.523	0.015	0.080	0.002	1,636,411.785	2.869	298,911.392	0.003	89.525	-35.039
01/06/2015	1,636,414.626	298,911.316	54.514	0.016	0.081	0.002	1,636,414.642	0.012	298,911.397	-0.002	54.516	-0.030
04/08/2015	1,636,414.630	298,911.307	54.435	0.016	0.083	0.002	1,636,414.646	0.008	298,911.390	0.005	54.437	0.049
01/10/2015	1,636,414.634	298,911.377	54.549	0.016	0.084	0.002	1,636,414.650	0.004	298,911.461	-0.066	54.551	-0.065
01/12/2015	1,636,414.639	298,911.297	54.464	0.016	0.085	0.002	1,636,414.655	-0.001	298,911.382	0.013	54.466	0.020
01/02/2016	1,636,414.635	298,911.304	54.472	0.017	0.086	0.002	1,636,414.652	0.002	298,911.390	0.005	54.474	0.012
01/04/2016	1,636,414.600	298,911.298	54.614	0.017	0.088	0.002	1,636,414.617	0.037	298,911.386	0.009	54.616	-0.130
01/06/2016	1,636,414.630	298,911.301	54.475	0.017	0.089	0.002	1,636,414.647	0.007	298,911.390	0.005	54.477	0.009
01/08/2016	1,636,414.639	298,911.309	54.499	0.017	0.090	0.002	1,636,414.656	-0.002	298,911.399	-0.004	54.501	-0.015

Fuente: elaboración propia.

Utilizando el criterio de Chauvenet, se procede a evaluar la calidad de los datos de la Tabla anterior obteniendo los siguientes resultados:

Tabla LVI. Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – AUSPOS

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.641	298,911.397	0.23554	0.05548	-0.00066	0.00000
01/12/2014	1,636,414.630	298,911.402	0.22479	0.05053	0.00464	0.00002
01/02/2015	1,636,414.640	298,911.386	0.23504	0.05525	-0.01203	0.00014
01/04/2015	1,636,411.785	298,911.392	-2.61971	6.86290	-0.00577	0.00003
01/06/2015	1,636,414.642	298,911.397	0.23654	0.05595	-0.00047	0.00000
04/08/2015	1,636,414.646	298,911.390	0.24080	0.05799	-0.00810	0.00007
01/10/2015	1,636,414.650	298,911.461	0.24504	0.06004	0.06314	0.00399
01/12/2015	1,636,414.655	298,911.382	0.25029	0.06265	-0.01556	0.00024
01/02/2016	1,636,414.652	298,911.390	0.24654	0.06078	-0.00723	0.00005
01/04/2016	1,636,414.617	298,911.386	0.21179	0.04486	-0.01195	0.00014
01/06/2016	1,636,414.647	298,911.390	0.24204	0.05858	-0.00765	0.00006
01/08/2016	1,636,414.656	298,911.399	0.25129	0.06315	0.00166	0.00000
Coord. Prom.	1,636,414.405	298,911.398				
Sumatoria			0.00000	7.48815	0.00000	0.00475
Error estándar de una observación			0.825070089		0.020782039	
Error estándar de la media aritmética			0.238177219		0.005999258	
p			0.958		0.958	
Zc			2.04		2.04	
Límite Inferior			1,636,412.722		298,911.355	
Límite Superior			1,636,416.088		298,911.440	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que las mediciones de los días 01/04/2015 y 01/10/2015 están fuera de los límites, por tanto se procede a descartar estas mediciones.

Utilizando el criterio de Chauvenet, a los 10 datos seleccionados, se obtienen los siguientes resultados:

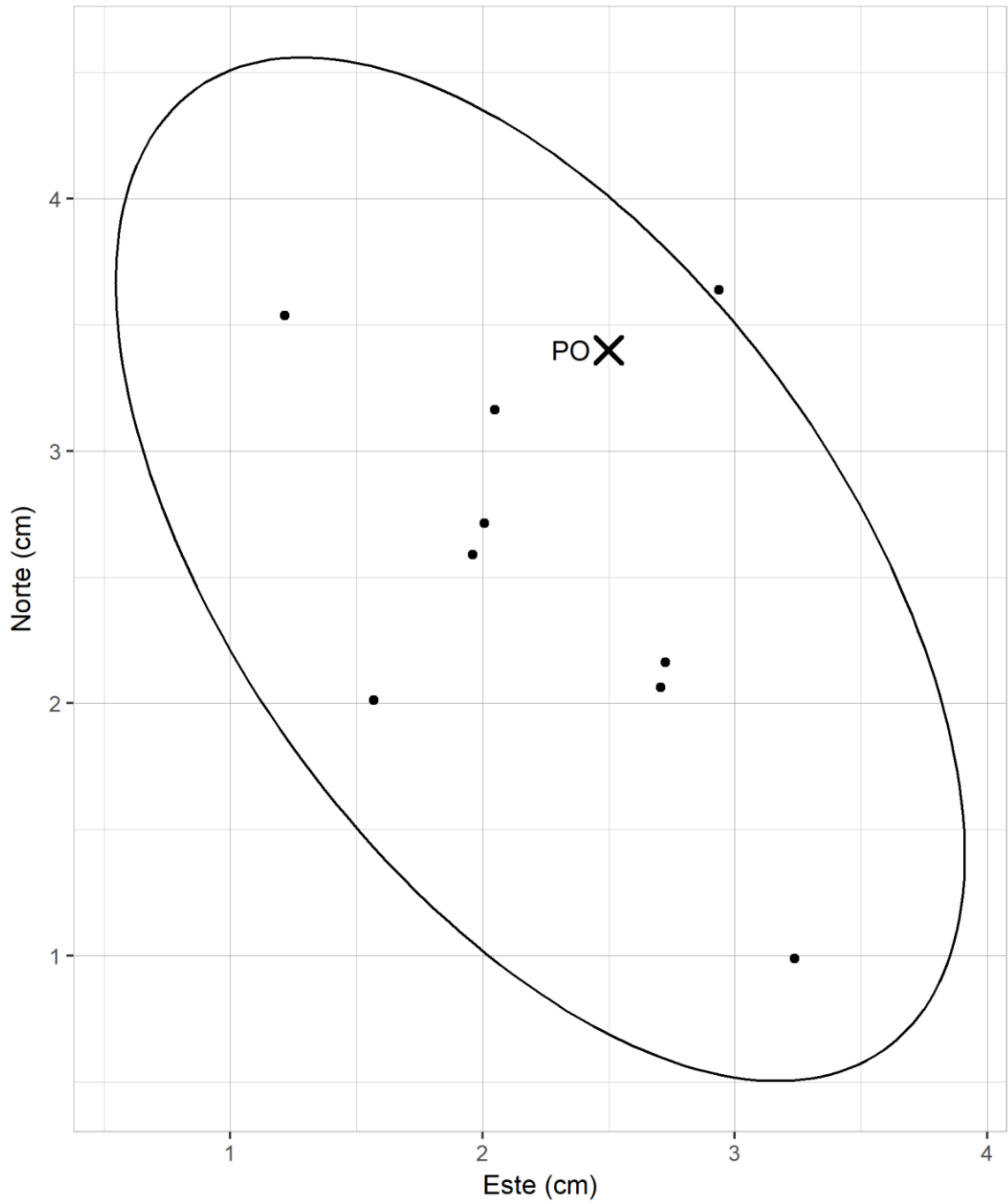
Tabla LVII. Chauvenet – CORS MTP1 - 1, 5, 15 Y 30 segundos – AUSPOS (10 datos)

Fecha	Coordenadas GTM finales		Chauvenet			
	N	E	Norte		Este	
	m	m	v	vv	v	vv
01/10/2014	1,636,414.641	298,911.397	-0.00193	0.00000	0.00507	0.00003
01/12/2014	1,636,414.630	298,911.402	-0.01268	0.00016	0.01038	0.00011
01/02/2015	1,636,414.640	298,911.386	-0.00242	0.00001	-0.00630	0.00004
01/06/2015	1,636,414.642	298,911.397	-0.00093	0.00000	0.00527	0.00003
04/08/2015	1,636,414.646	298,911.390	0.00333	0.00001	-0.00237	0.00001
01/12/2015	1,636,414.655	298,911.382	0.01282	0.00016	-0.00982	0.00010
01/02/2016	1,636,414.652	298,911.390	0.00908	0.00008	-0.00150	0.00000
01/04/2016	1,636,414.617	298,911.386	-0.02568	0.00066	-0.00622	0.00004
01/06/2016	1,636,414.647	298,911.390	0.00457	0.00002	-0.00191	0.00000
01/08/2016	1,636,414.656	298,911.399	0.01383	0.00019	0.00739	0.00005
Coor. Prom.	1,636,414.643	298,911.392				
Sumatoria			0.00000	0.00130	0.00000	0.00040
Error estándar de una observación			0.012020462		0.006683976	
Error estándar de la media aritmética			0.003801204		0.002113659	
p			0.950		0.950	
Zc			1.96		1.96	
Límite Inferior			1,636,414.619		298,911.379	
Límite Superior			1,636,414.666		298,911.405	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, se puede observar que la medición del día 01/04/2016 está fuera de los límites, por tanto se procede a descartar esta medición.

Figura 33. Elipse de error AUSPOS - MTP1



Fuente: elaboración propia.

En la tabla LVIII se presentan los resultados de las principales estadísticas obtenidas para la CORS MTP1 en el sitio PPP, en la tabla 59 para el sitio OPUS y en la tabla LX para el sitio AUSPOS.

Con fines de visualizar mejor los resultados, en la figura 34 se han superpuesto los resultados de los datos de 1, 5, 15 y 30 segundos con sus respectivas elipses de error al 95 %.

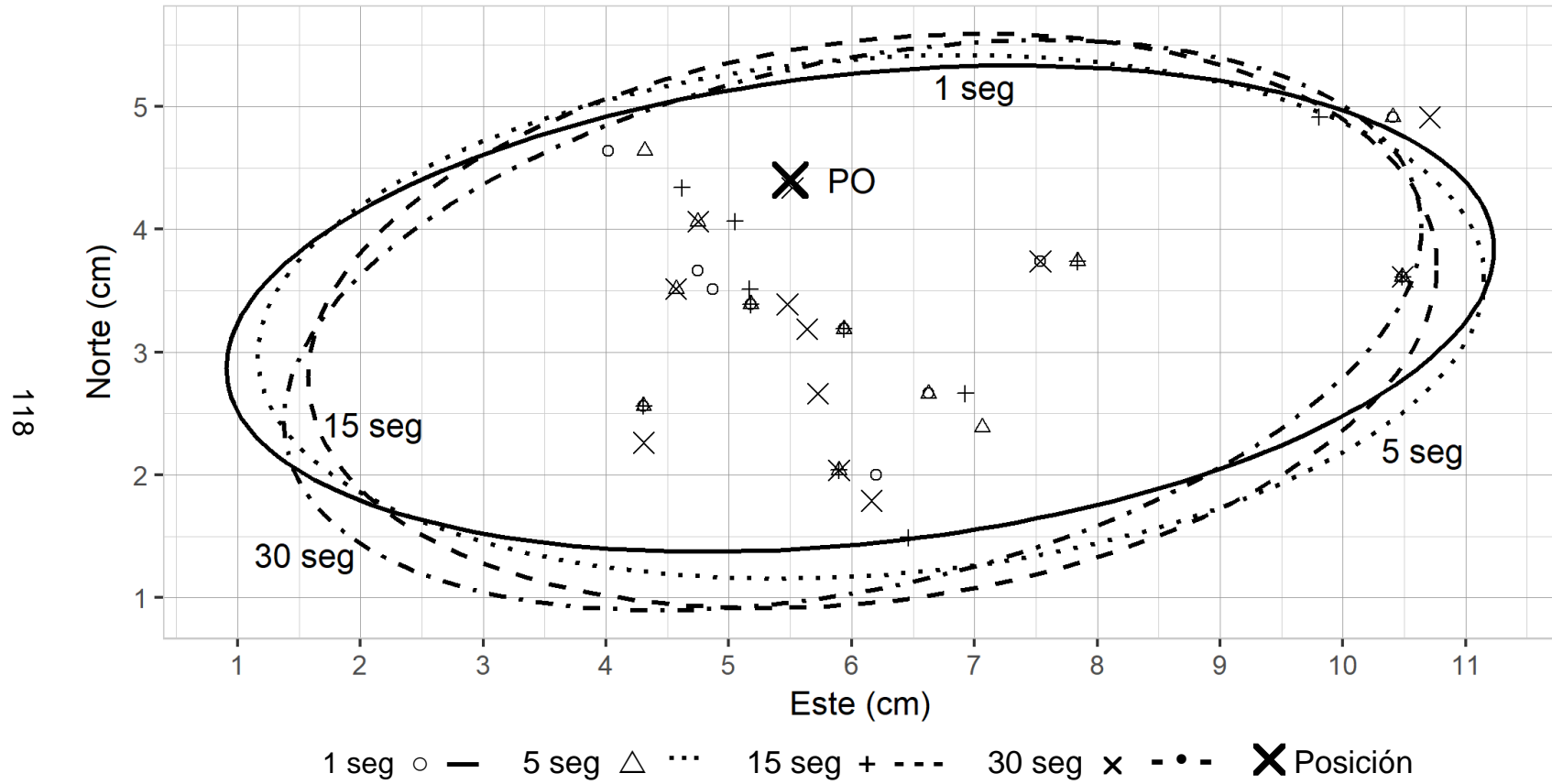
En virtud de que los sitios de procesamiento de datos de OPUS y AUSPOS dieron resultados iguales para las mediciones hechas en 1, 5, 15 y 30 segundos no se presenta gráfico comparativo.

Tabla LVIII. Resultados CORS MTP1 – PPP

	1 segundo			5 segundos			15 segundos			30 segundos		
	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.010	-0.009	0.003	0.010	-0.009	0.003	0.011	-0.010	0.004	0.011	-0.009	0.000
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.008476	0.022581	0.021	0.008843	0.021754	0.021	0.009742	0.019878	0.022113	0.009523	0.021318	0.021042
Error medio cuadrático (m)	0.012	0.023	0.020	0.013	0.023	0.021	0.014	0.021	0.022	0.014	0.022	0.020
Error medio cuadrático (m) Total	0.026			0.026			0.026			0.026		
Máximo error(m)	0.024	0.050	0.033	0.024	0.050	0.035	0.029	0.050	0.033	0.026	0.052	0.041
Mínimo error (m)	0.002	0.003	0.009	0.002	0.003	0.004	0.001	0.003	0.007	0.001	0.000	0.001
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,636,414.644	298,911.404	54.483	1,636,414.644	298,911.404	54.483	1,636,414.643	298,911.405	54.482	1,636,414.643	298,911.404	54.486
Coordenada oficial (CO) (m)	1,636,414.654	298,911.395	54.486	1,636,414.654	298,911.395	54.486	1,636,414.654	298,911.395	54.486	1,636,414.654	298,911.395	54.486
Distancia CP_CO (m)	0.013			0.014			0.015			0.014		
Área elipse (mm ²)	3,088.043			3,304.567			3,310.556			3,176.464		

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Resultados PPP - MTP1 – 1, 5, 15 y 30 seg.



Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. Resultados MTP1 – OPUS

	1, 5, 15 y 30 seg		
	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	-0.003	0.000	-0.014
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.010396	0.008627	0.021
Error medio cuadrático (m)	0.010	0.008	0.025
Error medio cuadrático (m) Total	0.013		
Máximo error(m)	0.017	0.012	0.044
Mínimo error (m)	0.001	0.002	0.003
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,636,414.657	298,911.395	54.500
Coordenada oficial (CO) (m)	1,636,414.654	298,911.395	54.486
Distancia CP_CO (m)	0.003		
Área elipse (mm ²)	1,875.206		

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. Resultados MTP1 – AUSPOS

	1, 5, 15 y 30 seg		
	ΔN	ΔE	ΔZ
Promedio de error (m)	0.009	0.002	0.001
Desviación estándar (SIGMA) (m)	0.008426	0.006700	0.052
Error medio cuadrático (m)	0.012	0.007	0.049
Error medio cuadrático (m) Total	0.014		
Máximo error(m)	0.024	0.013	0.113
Mínimo error (m)	0.001	0.002	0.009
Coordenada Promedio (CP) (m)	1,636,414.645	298,911.393	54.485
Coordenada oficial (CO) (m)	1,636,414.654	298,911.395	54.486
Distancia CP_CO (m)	0.009		
Área elipse (mm ²)	888.9527		

Fuente: elaboración propia.

Por tener resultados iguales estas tablas no tienen gráfica comparativa.

El resultado del análisis de varianza (ANDEVA) de los datos obtenidos del sitio PPP para 1, 5, 15 y 30 segundos de intervalo de captura se muestra en la siguiente tabla:

Tabla LXI. **ANDEVA - CORS MTP1 – PPP**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	7.31198E-06	3	2.4373E-06	0.01145441	0.998295344	2.82162823
Dentro de los grupos	0.009149753	43	0.00021278			
Total	0.009157065	46				

Fuente: elaboración propia.

El resultado en la tabla LXI muestra una probabilidad mayor del 0.05, por lo que no existe una diferencia significativa entre los resultados de las mediciones realizadas con 1, 5, 15 y 30 segundos.

Para el caso de la CORS MTP1 se puede observar según las tablas LVIII, LIX y LX que el error medio cuadrático tiene un valor máximo de 0.026 m. y un valor mínimo de 0.013 m. lo cual no representa una diferencia significativa para los propósitos del presente estudio.

Por lo anterior, se puede concluir que no hay diferencia significativa entre las mediciones de 1, 5, 15 y 30 segundos de intervalo.

De las tablas IX, XXXV, XXXVI, XXXVII, LVIII, LIX y LX se puede observar que de las 216 mediciones analizadas se obtuvo un error medio cuadrático máximo de 0.032 m, valor que se encuentra muy por debajo de la normativa de 0.10 m. indicada en la metodología, por lo que se concluye que las mediciones realizadas con GPS de doble frecuencia con post-proceso en línea en los sitios

estudiados tiene la precisión necesaria para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.

CONCLUSIONES

1. Las mediciones realizadas con GPS de doble frecuencia con post-proceso de los datos por medio de los servicios en línea estudiados tienen la precisión necesaria para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral.
2. Los sitios *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning, el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service” y el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos no tienen diferencias significativas con respecto a la precisión de los resultados.
3. El tiempo de duración de las observaciones de 2, 4 o 6 horas no tiene una incidencia significativa en la precisión de la medición con receptores GPS de doble frecuencia cuando se realiza el post-proceso en los sitios en línea estudiados.
4. El intervalo de captura de 1, 5, 15 o 30 segundos no tiene incidencia en la precisión de la medición realizada con receptores GPS de doble frecuencia cuando se realiza el post-proceso en los sitios en línea estudiados.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mediciones con GPS de doble frecuencia y post-proceso en los servicios en línea estudiados para prescindir del uso de la Red de Apoyo Catastral RAC.
2. Utilizar los servicios de los sitios *web* de la Natural Resources Canada Precise Point Positioning, el sitio de Geociencia de Australia “AUSPOS Online GPS Processing Service” y el servicio en línea OPUS de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, para realizar el post-proceso de las mediciones realizadas con GPS de doble frecuencia.
3. Realizar mediciones de dos horas de duración, cuando se realiza el post-proceso en los sitios en línea estudiados, por tener las precisiones necesarias, con el propósito de reducir costos de operación en las mediciones de campo.
4. Realizar mediciones con intervalos de captura de 30 segundos cuando se realiza el post-proceso de las mediciones en los sitios en línea estudiados, por no tener incidencia significativa en los resultados, ya que disminuye el uso de memoria utilizada en el equipo receptor GPS.
5. Realizar investigaciones periódicas para evaluar los resultados de los sitios en línea propuestos, así como de nuevos que surjan, ya que constantemente se realizan mejoras en los resultados.

6. Realizar el post-proceso de los datos de las mediciones de los GPS de doble frecuencia en los 3 sitios en línea estudiados para comparar resultados y detectar posibles errores.

7. Al Registro de Información Catastral, establecer en la normativa técnica una precisión posicional horizontal absoluta de 0.10 metros como lo sugiere la normativa internacional estudiada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (1999). *Sistemas Geodésicos*. Recuperado de <http://www.ign.gob.ar/images/cnuggi/SistemasGeodesicos.pdf>
2. Fallas, J. (2003). *Proyecciones cartográficas y datum ¿que són y para qué sirven?* Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica PRMVS-EDECA. Costa Rica.
3. Furones, A. (2011). *Sistema y marco de referencia terrestre. Sistemas de coordenadas*. Universidad politécnica de Valencia. Valencia.
4. Geoscience Australia (s. f.). *AUSPOS - Online GPS Processing Service - Geoscience Australia*. Recuperado de <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>
5. Gurtner, W. (2006). *RINEX, The Receiver Independent Exchange Format*. Astronomical Institute, University of Bern. Suiza.
6. Hoar, G. (1982). *Satellite surveying. Theory, Geodesy, Map Projections*. Estados Unidos de América. Magnavox.
7. Instituto Geográfico Nacional IGN (s. f.). *Guatemala Transversa – IGN*. Recuperado de <http://www.ign.gob.gt/guatemala-transversa.html>

8. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2009). *Tratamiento de errores en levantamientos topográficos*. México.
9. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). *Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental*. México.
10. Langley, R. (Abril, 2009). *Precise Point Positioning. A powerful technique with a promising future*. GPS World, 20(4), 43-50.
11. Leandro, R. (2009). *Precise Point Positioning With GPS. A new approach for positioning, atmospheric studies, and signal analysis*. Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick. Fredericton, New Brunswick, Canada.
12. López, E., González, B. (2014). *Diseño y análisis de experimentos. Fundamentos y aplicaciones en agronomía*. Universidad de San Carlos. Guatemala.
13. Louisiana State University (Center for Geoinformatics) (s. f.). *Free Post-Processing Services*. Estados Unidos de América. Recuperado de <http://c4gnet.lsu.edu/c4g/index.php/news/surveying-news/108-free-post-processing-services>
14. Márquez, R. (2009). *Introducción al ajuste y diseño de redes topográficas*. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

15. National Aeronautics and Space Administration (s. f.). *Automatic Precise Positioning Service – APPS*. Jet Propulsion Laboratory de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA. Recuperado de <https://apps.gdgps.net/apps/index.php>
16. National Geodetic Survey (s. f.). *OPUS: the Online Positioning User Service, process your GNSS data in the National Spatial Reference System*. Recuperado de <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>
17. National Geodetic Survey (2007). Sin título. Recuperado de <https://www.ngs.noaa.gov/CORS/RINEX211.txt>
18. National Ocean Survey, NOAA (2013). *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS)*. Estados Unidos de América.
19. National Resources Canada (2014). *National Standards for the Survey of Canada Lands*. Canadá.
20. Natural Resources Canada (s. f.). *Precise Point Positioning. Natural Resources Canada Precise Point Positioning*. Recuperado de <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>
21. NIMA (2000). *Department of Defense World Geodetic System 1984. Its definition and relationships with Local Geodetic Systems*. Estados Unidos de América.

22. Rastrero, J. (2014). *Metodología de implantación y mantenimiento de una red geodésica local*. (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo. Oviedo.
23. Registro de Información Catastral RIC (2008). *Manual de normas técnicas y procedimientos catastrales del RIC*. Guatemala.
24. Santamaría, J., Sanz, T. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. Universidad de la Rioja. España.
25. Toloza, J. (2012). *Algoritmos y técnicas de tiempo real para el incremento de la precisión posicional relativa usando receptores GPS estándar*. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
26. Torge, W. (2001). *Geodesy. Third completely revised and extended edition*. Berlin. W de G.
27. US Army Corps of Engineers (2003). *NAVSTAR Global Positioning System Surveying*. Estados Unidos de América.
28. US Army Corps of Engineers (2012). *Survey Markers and Monumentation*. Estados Unidos de América.
29. USDA Forest Service, USDI Bureau of Land Management (2001). *Standards and Guidelines for CADASTRAL SURVEYS using Global Positioning System Methods*. Estados Unidos de América.

30. Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., ...Vanicek, P. (1999). *Guide to GPS Positioning*. Department of Geodesy and Geomatics. University of New Brunswick. Canada.

31. Wolf, P., Ghilani, C. (2015). *Topografía*. México. Alfaomega.

ANEXOS

Coordenadas CORS GUAT

12/4/2016

guat map

GUAT
GUATEMALA CITY
Guatemala City, GE
Guatemala

National Geodetic Survey - C

Site operated by:
[IGN-GT](#)

IGS 08
GUATEMALA CITY (GUAT), UNIDENTIFIED DEPARTMENT OF GUATEMALA

Retrieved from NGS DataBase on 07/17/12 at 09:36:46.

[Coordinates](#)

[Site Log](#)
[Photographs](#)
[Data Availability](#)
[Standard Files](#)
[Custom Files \(UFCORS\)](#)

[Time Series \(short-term\)](#)
[Time Series \(long-term\)](#)

[Google Map all CORS](#)

```
-----
Antenna Reference Point(ARP): GUATEMALA CITY CORS ARP
-----
PID = AI7441

IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)
Published by the IGS in Nov 2010.
  X = -56063.582 m  latitude  = 14 35 25.45483 N
  Y = -6174978.670 m longitude = 090 31 12.65849 W
  Z = 1596665.267 m  ellipsoid height = 1519.873 m

IGS08 VELOCITY
Published by the IGS in Nov 2010.
  VX = 0.0055 m/yr  northward = 0.0032 m/yr
  VY = 0.0002 m/yr  eastward  = 0.0055 m/yr
  VZ = 0.0032 m/yr  upward   = 0.0006 m/yr

L1 Phase Center of the current GPS antenna: GUATEMALA CITY CORS L1 PC C
-----
The Dorne Margolin with 3D choke ring (Revis antenna
(Antenna Code = LEIAR25.R3 LEIT) was installed on 12Jun2012.
The L2 phase center is 0.003 m below the L1 phase center.
PID = DN9398

IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)
Published by the IGS in Nov 2010.
  X = -56063.584 m  latitude  = 14 35 25.45483 N
  Y = -6174978.826 m longitude = 090 31 12.65849 W
  Z = 1596665.308 m  ellipsoid height = 1520.035 m

The IGS08 VELOCITY of the L1 PC is the same as that for the ARP.
```

* Latitude, longitude and ellipsoid height are computed from their corresponding cartesian coordinates using dimensions for the GRS 80 ellipsoid: semi-major axis = 6,378,137.0 meters
flattening = 1/298.257222101...

* WARNING: Mixing of antenna types can lead to errors of up to 10 cm. in height unless antenna-phase-center variation and antenna-phase-center offset are properly modeled. See next comment.

* The coordinates shown on this page were computed using absolute antenna

Coordenadas CORS SSIA

12/4/2016

ssia map

SSIA
ILOPANGO AIRPORT
San Salvador, ES
El Salvador

Site operated by:
CENTRO

[Coordinates](#)

[Site Log](#)
[Photographs](#)
[Data Availability](#)
[Standard Files](#)
[Custom Files \(UFCORS\)](#)

[Time Series \(short-term\)](#)
[Time Series \(long-term\)](#)

[Google Map all CORS](#)

National Geodetic Survey - C

IGS 08
SAN SALVADOR (SSIA), UNIDENTIFIED DEPARTMENT OF EL SALVADOR

Created on 31Aug2011 at 10:12:41.

```
-----
Antenna Reference Point(ARP): SAN SALVADOR CORS ARP
-----
PID = AI8353

IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)
Published by the IGS in Nov 2010.
X = 95566.996 m latitude = 13 41 49.50562 N
Y = -6197785.583 m longitude = 089 06 59.74383 W
Z = 1500590.536 m ellipsoid height = 626.630 m

IGS08 VELOCITY
Published by the IGS in Nov 2010.
VX = 0.0068 m/yr northward = 0.0072 m/yr
VY = -0.0000 m/yr eastward = 0.0068 m/yr
VZ = 0.0074 m/yr upward = 0.0019 m/yr

L1 Phase Center of the current GPS antenna: SAN SALVADOR CORS L1 PC C
-----
The Trimble L1/L2 Dorne Margolin element wit antenna
(Antenna Code = TRM29659.00 UNAV) was installed on 00Saturday2000.
The L2 phase center is 0.030 m above the L1 phase center.
PID = DH8928

IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)
Published by the IGS in Nov 2010.
X = 95566.999 m latitude = 13 41 49.50567 N
Y = -6197785.670 m longitude = 089 06 59.74379 W
Z = 1500590.559 m ellipsoid height = 626.720 m

The IGS08 VELOCITY of the L1 PC is the same as that for the ARP.
```

* Latitude, longitude and ellipsoid height are computed from their corresponding cartesian coordinates using dimensions for the GRS 80 ellipsoid: semi-major axis = 6,378,137.0 meters
flattening = 1/298.257222101...

* WARNING: Mixing of antenna types can lead to errors of up to 10 cm. in height unless antenna-phase-center variation and antenna-phase-center offset are properly modeled. See next comment.

* The coordinates shown on this page were computed using absolute antenna

Coordenadas CORS MTP1

12/4/2016

mtp1 map

**MTP1
TAPACHULA WAAS
Tapachula, CH
Mexico**

Site operated by:
[FAA](#)

[Coordinates](#)

[Site Log](#)
[Photographs](#)
[Data Availability](#)
[Standard Files](#)
[Custom Files \(UFCORS\)](#)

[Time Series \(short-term\)](#)
[Time Series \(long-term\)](#)

[Google Map all CORS](#)

National Geodetic Survey - C

IGS 08
TAPACHULA WAAS (MTP1), CHIAPAS

Retrieved from NGS DataBase on 03/08/13 at 13:59:12.

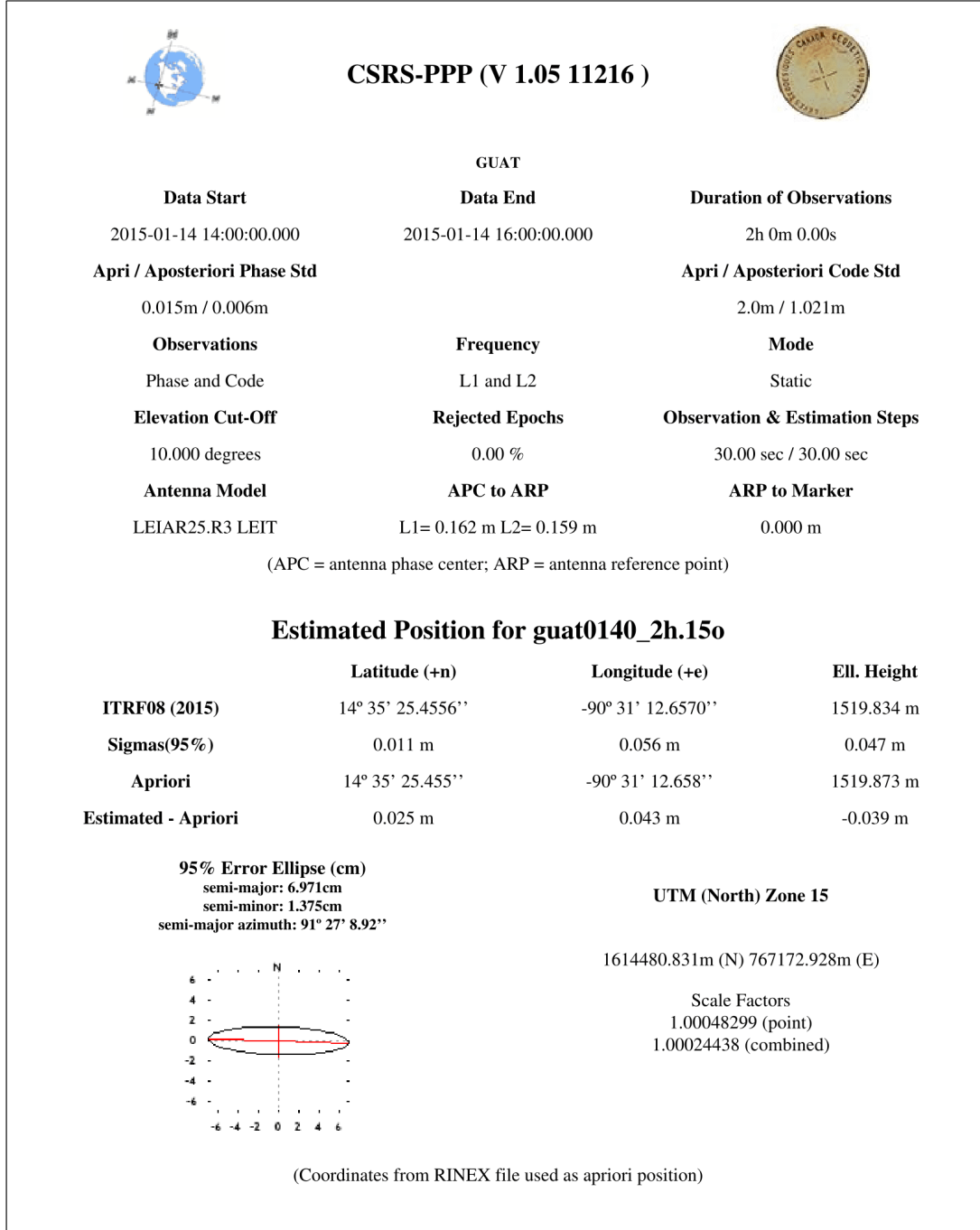
```
-----  
Antenna Reference Point(ARP): TAPACHULA WAAS CORS ARP  
-----  
PID = DK4134  
  
IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)  
Computed in Mar 2013 using 118 days of data.  
X = -254854.273 m latitude = 14 47 28.91829 N  
Y = -6162908.722 m longitude = 092 22 04.79497 W  
Z = 1617804.970 m ellipsoid height = 54.486 m  
  
IGS08 VELOCITY  
Predicted with HTDP 3.2.3 Mar 2013.  
VX = -0.0078 m/yr northward = -0.0015 m/yr  
VY = 0.0001 m/yr eastward = -0.0078 m/yr  
VZ = -0.0015 m/yr upward = -0.0002 m/yr  
  
L1 Phase Center of the current GPS antenna: TAPACHULA WAAS CORS L1 PC C  
-----  
The MicroPulse WAAS L1/L2/L5 2225NW antenna  
(Antenna Code = MPL_WAAS_2225NW NONE) was installed on 08Nov2006.  
The L2 phase center is 0.012 m above the L1 phase center.  
PID = DK4135  
  
IGS08 POSITION (EPOCH 2005.0)  
Computed in Mar 2013 using 118 days of data.  
X = -254854.294 m latitude = 14 47 28.91832 N  
Y = -6162909.151 m longitude = 092 22 04.79510 W  
Z = 1617805.084 m ellipsoid height = 54.930 m  
  
The IGS08 VELOCITY of the L1 PC is the same as that for the ARP.
```

* Latitude, longitude and ellipsoid height are computed from their corresponding cartesian coordinates using dimensions for the GRS 80 ellipsoid: semi-major axis = 6,378,137.0 meters
flattening = 1/298.257222101...

* WARNING: Mixing of antenna types can lead to errors of up to 10 cm. in height unless antenna-phase-center variation and antenna-phase-center offset are properly modeled. See next comment.

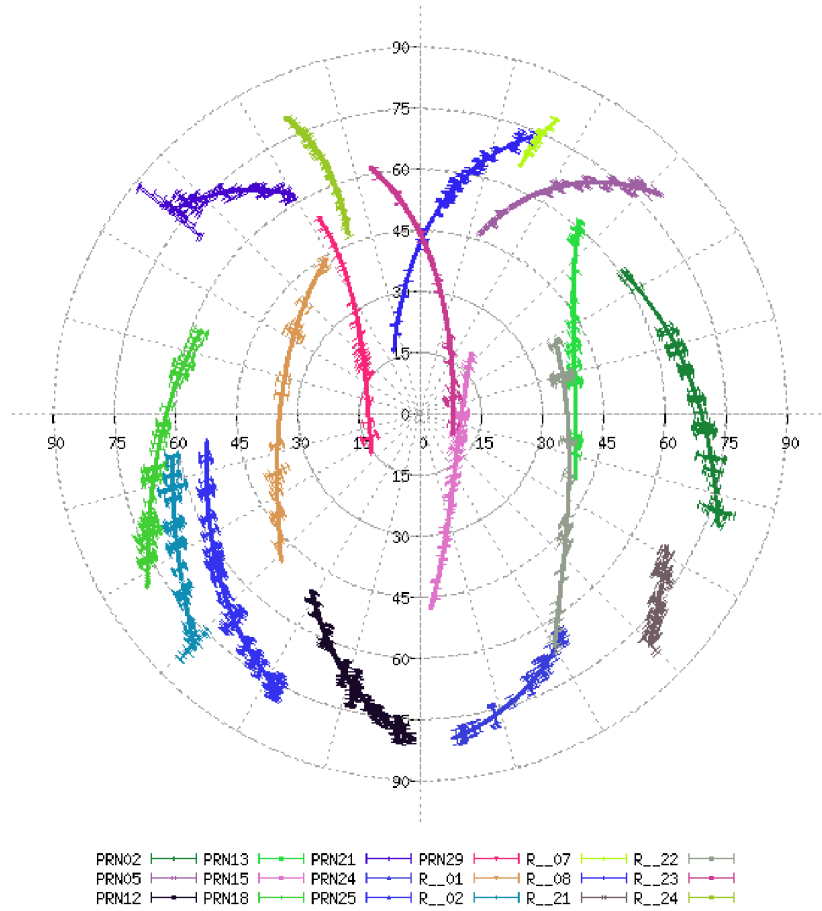
* The coordinates shown on this page were computed using absolute antenna

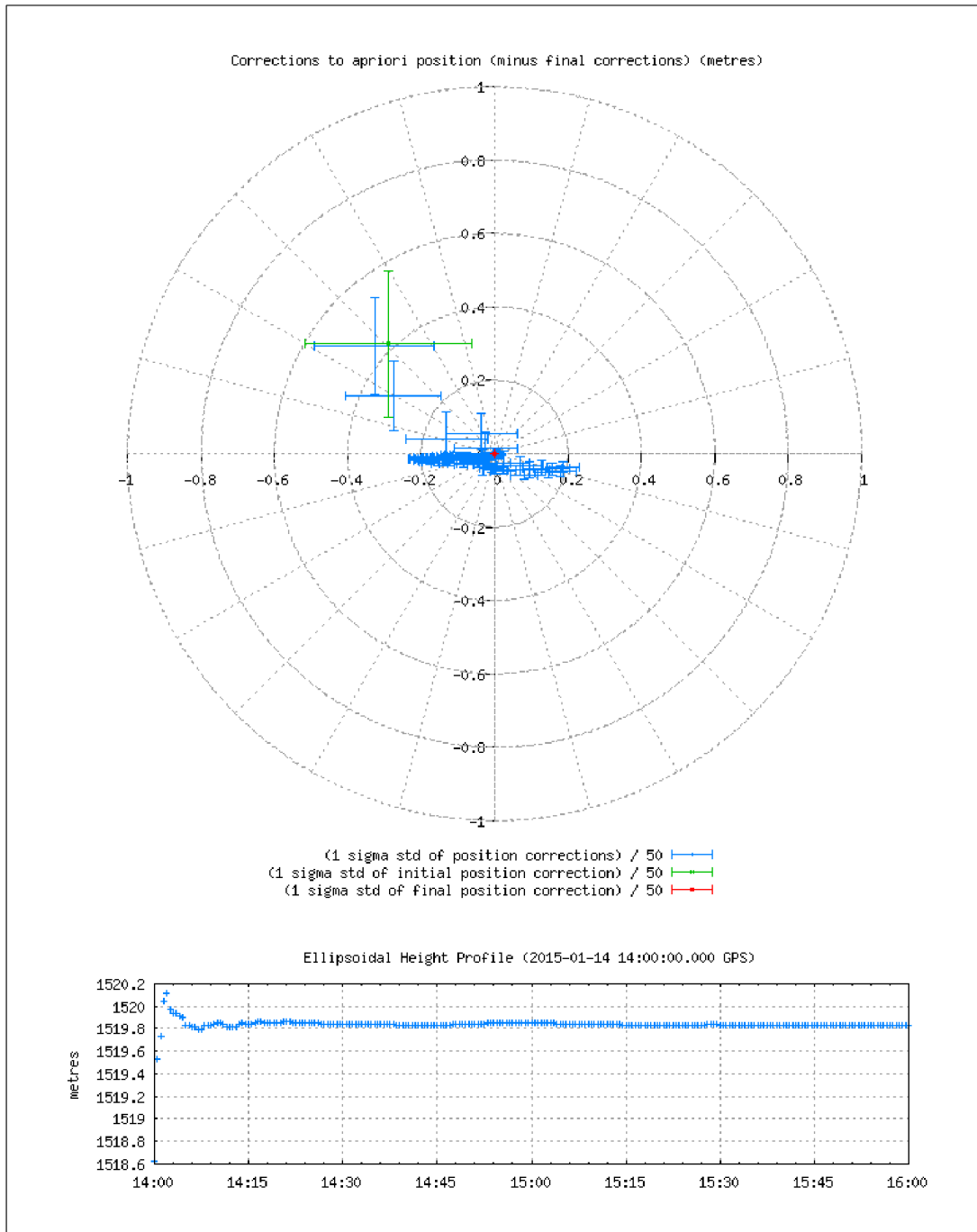
Reporte PPP

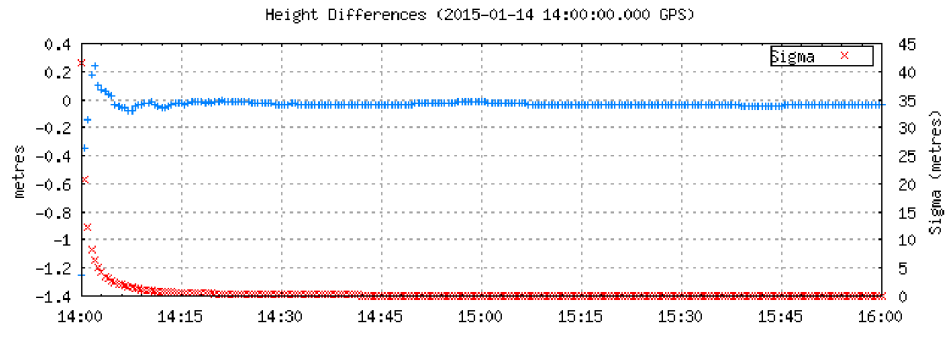
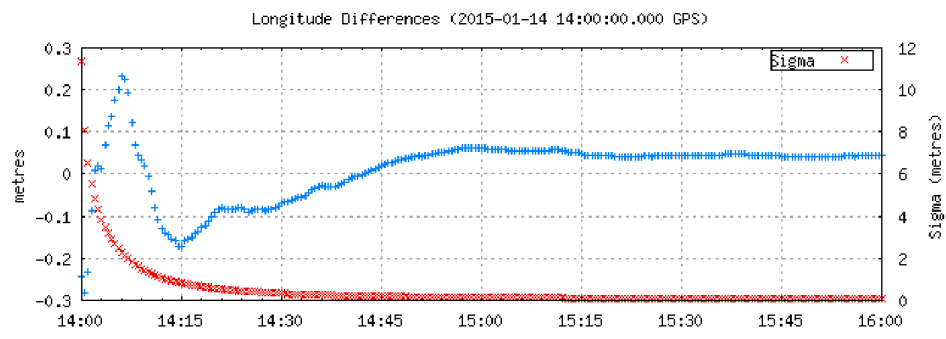
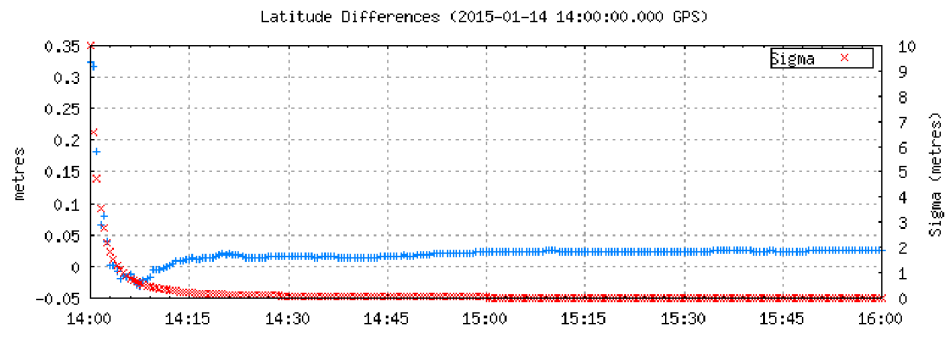


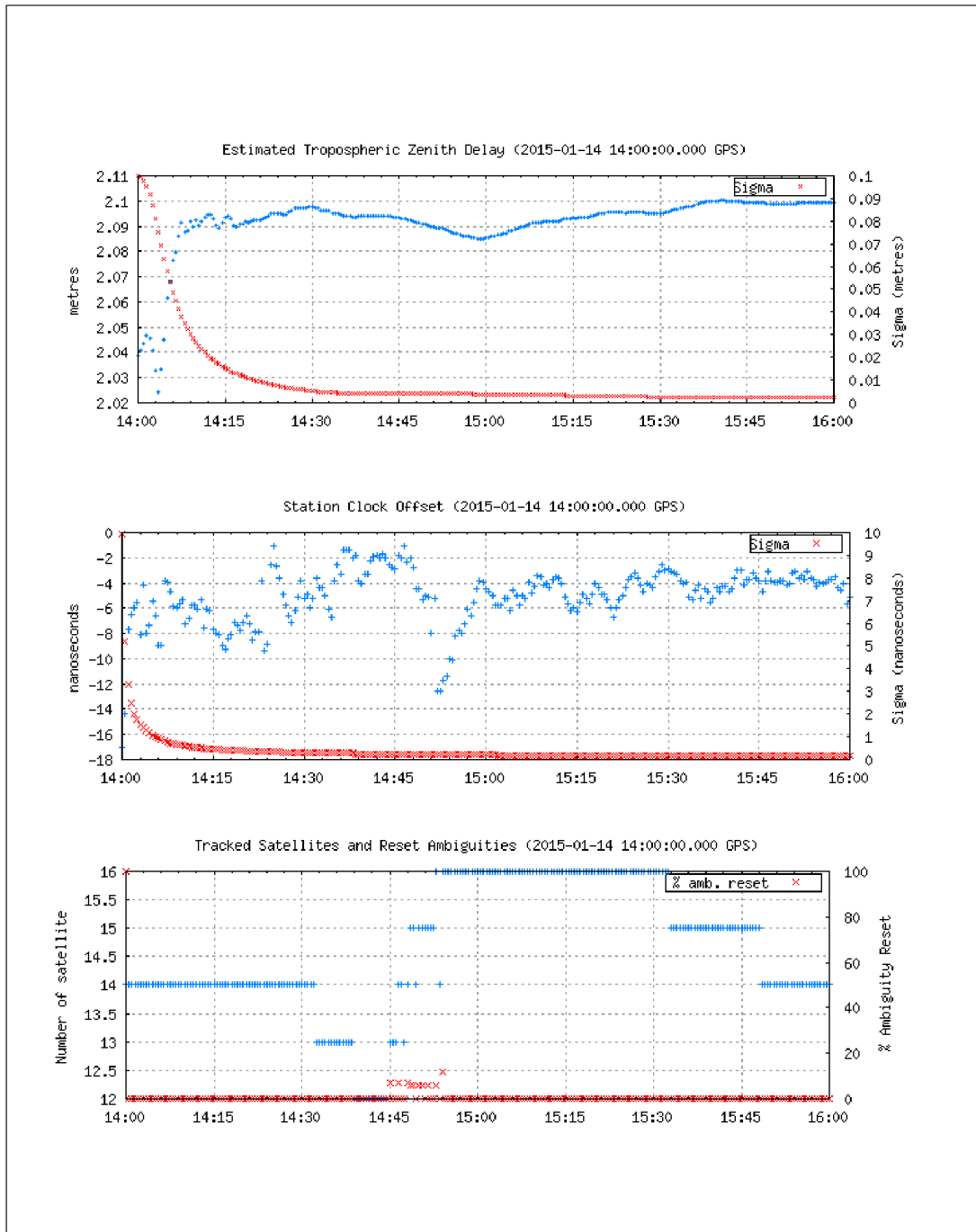
Estimated Parameters & Observations Statistics

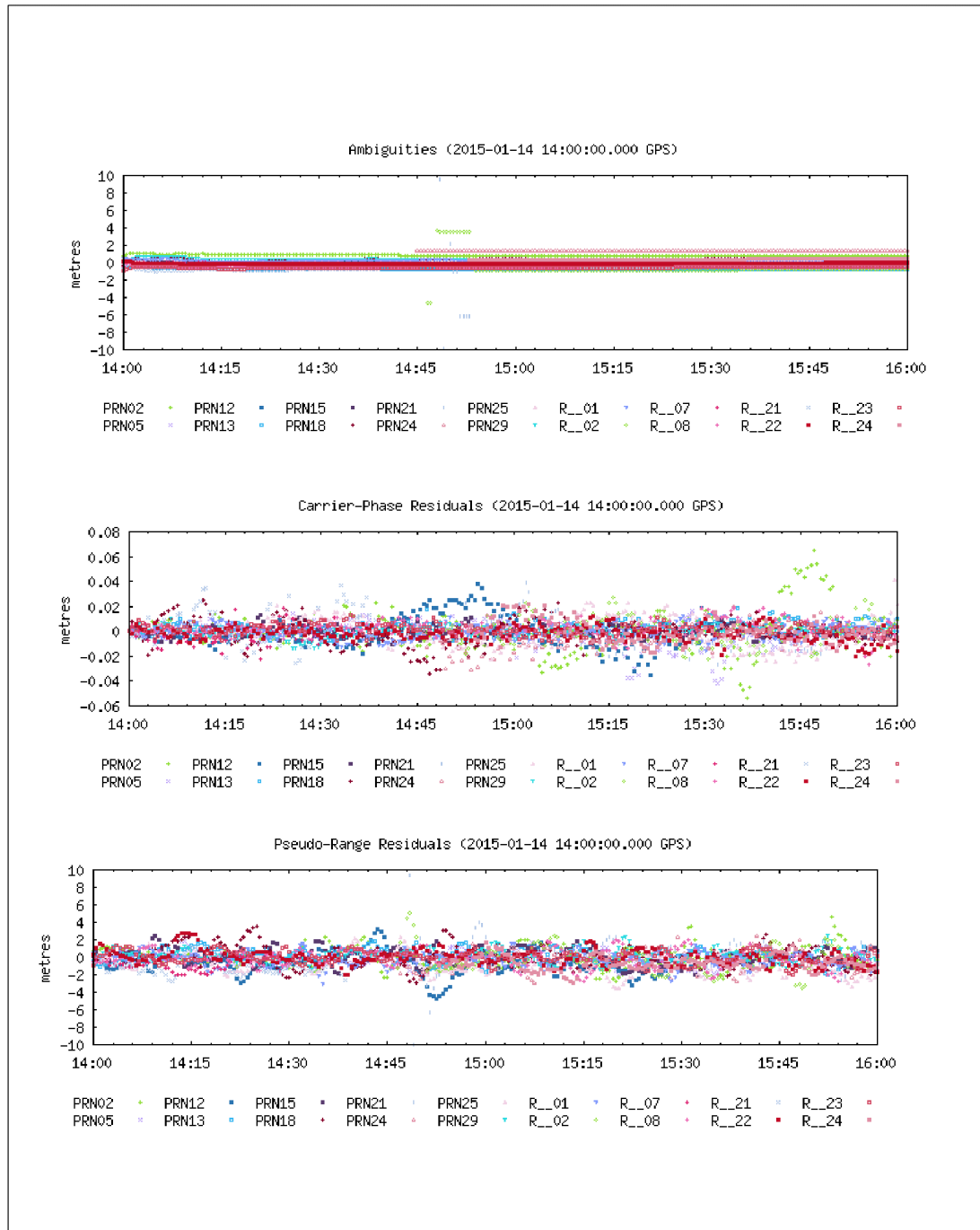
Pseudo-Range Residuals Sky Distribution











~~~ Disclaimer ~~~

Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.

If you have any questions, please feel free to contact:

Email: [nrcan.geodeticinformationservices.nrcan@canada.ca](mailto:nrcan.geodeticinformationservices.nrcan@canada.ca)

Phone:343-292-6617



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

# Reporte OPUS

5/12/2016

Gmail - OPUS solution : guat0140\_2h.15o OP1480890309179



Aldo González <.gonzalez@gmail.com>

## OPUS solution : guat0140\_2h.15o OP1480890309179

1 mensaje

**opus** <opus@ngs.noaa.gov>  
Responder a: ngs.opus@noaa.gov  
Para: .gonzalez@gmail.com

4 de diciembre de 2016, 16:37

FILE: guat0140\_2h.15o OP1480890309179

1008 NOTE: Antenna offsets supplied by the user were <=0. Coordinates  
1008 returned will be for the antenna reference point (ARP).  
1008

### NGS OPUS SOLUTION REPORT

=====

All computed coordinate accuracies are listed as peak-to-peak values.  
For additional information: <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/about.jsp#accuracy>

USER: .gonzalez@gmail.com                      DATE: December 04, 2016  
RINEX FILE: guat014o.15o                      TIME: 22:25:47 UTC

SOFTWARE: page5 1209.04 master94.pl 160321      START: 2015/01/14 14:00:00  
EPHEMERIS: igs18273.eph [precise]              STOP: 2015/01/14 15:59:30  
NAV FILE: brdc0140.15n                      OBS USED: 5287 / 5451 : 97%  
ANT NAME: LEIAR25.R3      LEIT              # FIXED AMB: 27 / 30 : 90%  
ARP HEIGHT: 0.000                      OVERALL RMS: 0.017(m)

REF FRAME: NAD\_83(2011)(EPOCH:2010.0000)      IGS08 (EPOCH:2015.0373)

X:    -56062.837(m) 0.029(m)              -56063.555(m) 0.029(m)  
Y:    -6174980.295(m) 0.067(m)             -6174978.592(m) 0.067(m)  
Z:    1596665.542(m) 0.013(m)              1596665.279(m) 0.013(m)

LAT: 14 35 25.45022    0.004(m)              14 35 25.45584    0.004(m)  
E LON: 269 28 47.36690    0.029(m)             269 28 47.34240    0.029(m)  
W LON: 90 31 12.63310    0.029(m)             90 31 12.65760    0.029(m)  
EL HGT: 1521.509(m) 0.068(m)              1519.801(m) 0.068(m)  
ORTHO HGT: [No NGS Geoid Model Available.]

UTM COORDINATES      STATE PLANE COORDINATES  
UTM (Zone 15)      \*\*\* NOTE \*\*\*  
Northing (Y) [meters]    1614480.673      Please manually select  
Easting (X) [meters]    767173.645      SPC zone.  
Convergence [degrees]    0.62505821  
Point Scale              1.00048299  
Combined Factor           1.00024368

US NATIONAL GRID DESIGNATOR: 15PYS6717314480(NAD 83)

BASE STATIONS USED  
PID    DESIGNATION              LATITUDE      LONGITUDE      DISTANCE(m)  
DE6346    HUEH HUEHUETENANGO      CORS ARP      N151905.305 W0913009.669    132903.8  
AI8353    SSIA SAN SALVADOR      CORS ARP      N134149.499 W0890659.724    180948.5  
DH8188    CHET CHETUMAL            CORS ARP                              492796.9

NEAREST NGS PUBLISHED CONTROL POINT

1/2

5/12/2016

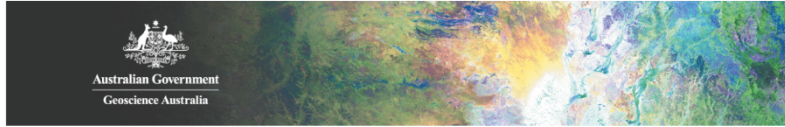
Gmail - OPUS solution : guat0140\_2h.15o OP1460690309179

No Published Control Point found within 80000 meters

This position and the above vector components were computed without any knowledge by the National Geodetic Survey regarding the equipment or field operating procedures used.

2/2

## Reporte AUSPOS



# AUSPOS GPS Processing Report

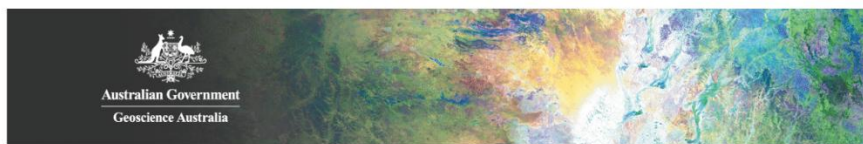
December 5, 2016

This document is a report of the GPS data processing undertaken by the AUSPOS Online GPS Processing Service (version: AUSPOS 2.2). The AUSPOS Online GPS Processing Service uses International GNSS Service (IGS) products (final, rapid, ultra-rapid depending on availability) to compute precise coordinates in ITRF anywhere on Earth and GDA94 within Australia. The Service is designed to process only dual frequency GPS phase data.

An overview of the GPS processing strategy is included in this report.

Please direct any correspondence to [geodesy@ga.gov.au](mailto:geodesy@ga.gov.au)

Geodesy  
Geoscience Australia  
Cnr Jerrabomberra and Hindmarsh Drive  
GPO Box 378, Canberra, ACT 2601, Australia  
Freecall (Within Australia): 1800 800 173  
Tel: +61 2 6249 9111. Fax +61 2 6249 9929  
Geoscience Australia  
Home Page: <http://www.ga.gov.au>

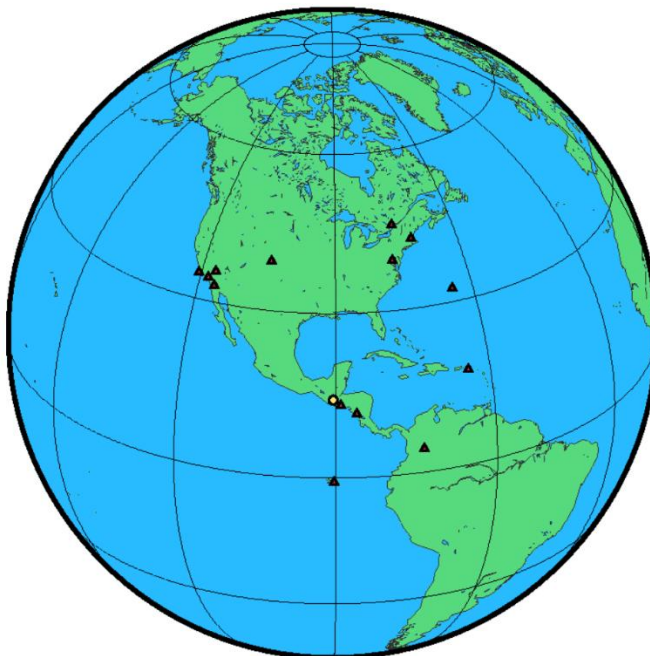


## 1 User Data

All antenna heights refer to the vertical distance from the Ground Mark to the Antenna Reference Point (ARP).

| Station (s) | Submitted File  | Antenna Type    | Antenna Height (m) | Start Time          | End Time            |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| GUAT        | guat0140_2h.15o | LEIAR25.R3 LEIT | 0.000              | 2015/01/14 14:00:00 | 2015/01/14 16:00:00 |

## 2 Processing Summary



| Date                | User Stations | Reference Stations                                                          | Orbit Type |
|---------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2015/01/14 14:00:00 | GUAT          | AMC2 BOGT BRMU CRQ1 GLPS<br>GODE GOLD JPLM MANA MONP<br>NRC1 SSIA VNDP WES2 | IGS final  |



### 3 Computed Coordinates, ITRF2008

All computed coordinates are based on the IGS realisation of the ITRF2008 reference frame. All the given ITRF2008 coordinates refer to a mean epoch of the site observation data. All coordinates refer to the Ground Mark.

#### 3.1 Cartesian, ITRF2008

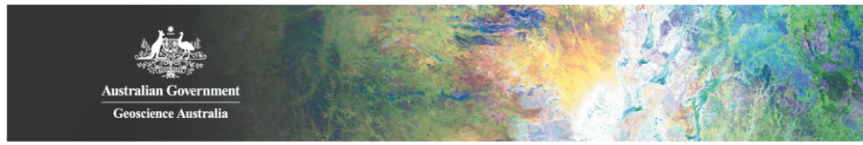
| Station | X (m)        | Y (m)        | Z (m)       | ITRF2008 @ |
|---------|--------------|--------------|-------------|------------|
| GUAT    | -56063.540   | -6174978.612 | 1596665.281 | 14/01/2015 |
| AMC2    | -1248596.336 | -4819428.188 | 3976505.943 | 14/01/2015 |
| BOGT    | 1744398.908  | -6116037.099 | 512731.845  | 14/01/2015 |
| BRMU    | 2304703.339  | -4874817.171 | 3395187.026 | 14/01/2015 |
| CRO1    | 2607771.293  | -5488076.607 | 1932767.916 | 14/01/2015 |
| GLPS    | -33801.148   | -6377516.512 | -82154.278  | 14/01/2015 |
| GODE    | 1130773.594  | -4831253.565 | 3994200.449 | 14/01/2015 |
| GOLD    | -2353614.482 | -4641385.269 | 3676976.397 | 14/01/2015 |
| JPLM    | -2493304.722 | -4655215.013 | 3565497.584 | 14/01/2015 |
| MANA    | 407981.902   | -6222925.656 | 1333529.031 | 14/01/2015 |
| MONP    | -2386247.416 | -4802359.111 | 3444902.388 | 14/01/2015 |
| NRC1    | 1112777.039  | -4341475.877 | 4522955.855 | 14/01/2015 |
| SSIA    | 95567.072    | -6197785.576 | 1500590.591 | 14/01/2015 |
| VNDP    | -2678090.452 | -4525437.040 | 3597431.916 | 14/01/2015 |
| WES2    | 1492233.093  | -4458089.498 | 4296046.084 | 14/01/2015 |

#### 3.2 Geodetic, GRS80 Ellipsoid, ITRF2008

Geoid-ellipsoidal separations, in this section, are computed using a spherical harmonic synthesis of the global EGM2008 geoid. More information on the EGM2008 geoid can be found at <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>

| Station | Latitude (DMS) | Longitude (DMS)  | Ellipsoidal Height (m) | Derived Above Geoid Height (m) |
|---------|----------------|------------------|------------------------|--------------------------------|
| GUAT    | 14 35 25.45576 | -90 31 12.65709  | 1519.821               | 1517.261                       |
| AMC2    | 38 48 11.24637 | -104 31 28.54367 | 1911.372               | 1930.118                       |
| BOGT    | 4 38 24.26738  | -74 04 51.38240  | 2576.310               | 2553.449                       |
| BRMU    | 32 22 13.43863 | -64 41 46.58784  | -11.635                | 20.814                         |
| CRO1    | 17 45 24.83799 | -64 35 03.54757  | -31.959                | 11.720                         |
| GLPS    | -0 44 34.79428 | -90 18 13.20328  | 1.772                  | 5.351                          |
| GODE    | 39 01 18.22085 | -76 49 36.59465  | 14.488                 | 47.753                         |
| GOLD    | 35 25 30.56052 | -116 53 21.30718 | 986.657                | 1017.349                       |
| JPLM    | 34 12 17.35604 | -118 10 23.62786 | 423.985                | 457.473                        |
| MANA    | 12 08 56.18066 | -86 14 56.37596  | 71.004                 | 66.396                         |
| MONP    | 32 53 30.98843 | -116 25 20.46939 | 1842.542               | 1874.701                       |
| NRC1    | 45 27 14.98634 | -75 37 25.78813  | 82.513                 | 116.045                        |
| SSIA    | 13 41 49.50739 | -89 06 59.74128  | 626.638                | 625.210                        |
| VNDP    | 34 33 22.72689 | -120 36 59.23483 | -11.513                | 24.700                         |
| WES2    | 42 36 48.01035 | -71 29 35.98355  | 85.016                 | 113.643                        |





### 3.3 Positional Uncertainty (95% C.L.) - Geodetic, ITRF2008

| Station | Longitude(East) (m) | Latitude(North) (m) | Ellipsoidal Height(Up) (m) |
|---------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| GUAT    | 0.011               | 0.008               | 0.028                      |
| AMC2    | 0.004               | 0.003               | 0.008                      |
| BOGT    | 0.005               | 0.003               | 0.009                      |
| BRMU    | 0.004               | 0.003               | 0.007                      |
| CRO1    | 0.005               | 0.003               | 0.010                      |
| GLPS    | 0.005               | 0.003               | 0.010                      |
| GODE    | 0.004               | 0.003               | 0.008                      |
| GOLD    | 0.004               | 0.003               | 0.007                      |
| JPLM    | 0.005               | 0.003               | 0.008                      |
| MANA    | 0.004               | 0.003               | 0.008                      |
| MONP    | 0.004               | 0.003               | 0.008                      |
| NRC1    | 0.004               | 0.003               | 0.008                      |
| SSIA    | 0.004               | 0.003               | 0.007                      |
| VNDP    | 0.005               | 0.003               | 0.008                      |
| WES2    | 0.004               | 0.003               | 0.007                      |



## 4 Ambiguity Resolution - Per Baseline

| Baseline    | Ambiguities Resolved | Baseline Length (km) |
|-------------|----------------------|----------------------|
| MANA - SSIA | 84.4 %               | 355.168              |
| AMC2 - GOLD | 91.7 %               | 1158.655             |
| GOLD - VNDP | 85.3 %               | 353.633              |
| GUAT - SSIA | 76.9 %               | 180.949              |
| MONP - VNDP | 89.5 %               | 430.260              |
| GOLD - JPLM | 90.0 %               | 179.254              |
| BRMU - CRO1 | 91.2 %               | 1614.499             |
| BOGT - SSIA | 87.1 %               | 1923.849             |
| BRMU - WES2 | 84.6 %               | 1282.699             |
| GODE - WES2 | 100.0 %              | 600.845              |
| AMC2 - SSIA | 90.0 %               | 3136.368             |
| GLPS - SSIA | 88.3 %               | 1598.162             |
| NRC1 - WES2 | 89.7 %               | 457.246              |
| BRMU - SSIA | 41.9 %               | 3196.877             |
| AVERAGE     | 85.0%                | 1176.319             |

Please note for a regional solution, such as used by AUSPOS, ambiguity resolution success rate of **50%** or better for a baseline formed by a user site indicates a reliable solution.



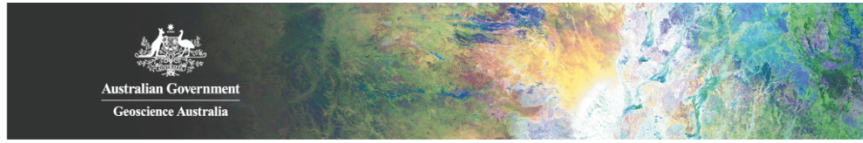
## 5 Computation Standards

### 5.1 Computation System

|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| Software       | Bernese GNSS Software Version 5.2. |
| GNSS system(s) | GPS only.                          |

### 5.2 Data Preprocessing and Measurement Modelling

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Data preprocessing                       | Phase preprocessing is undertaken in a baseline by baseline mode using triple-differences. In most cases, cycle slips are fixed by the simultaneous analysis of different linear combinations of L1 and L2. If a cycle slip cannot be fixed reliably, bad data points are removed or new ambiguities are set up. A data screening step on the basis of weighted postfit residuals is also performed, and outliers are removed. |
| Basic observable                         | Carrier phase with an elevation angle cutoff of $7^\circ$ and a sampling rate of 3 minutes. However, data cleaning is performed a sampling rate of 30 seconds. Elevation dependent weighting is applied according to $1/\sin(e)^2$ where $e$ is the satellite elevation.                                                                                                                                                       |
| Modelled observable                      | Double differences of the ionosphere-free linear combination.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Ground antenna phase centre calibrations | IGS08 absolute phase-centre variation model is applied.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Tropospheric Model                       | A priori model is the GMF mapped with the DRY-GMF.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tropospheric Estimation                  | Zenith delay corrections are estimated relying on the WET-GMF mapping function in intervals of 2 hour. N-S and E-W horizontal delay parameters are solved for every 24 hours.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Tropospheric Mapping Function            | GMF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Ionosphere                               | First-order effect eliminated by forming the ionosphere-free linear combination of L1 and L2. Second and third effect applied.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Tidal displacements                      | Solid earth tidal displacements are derived from the complete model from the IERS Conventions 2010, but ocean tide loading is not applied.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Atmospheric loading                      | Applied                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Satellite centre of mass correction      | IGS08 phase-centre variation model applied                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Satellite phase centre calibration       | IGS08 phase-centre variation model applied                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Satellite trajectories                   | Best available IGS products.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Earth Orientation                        | Best available IGS products.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



### 5.3 Estimation Process

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adjustment             | Weighted least-squares algorithm.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Station coordinates    | Coordinate constraints are applied at the Reference sites with standard deviation of 1mm and 2mm for horizontal and vertical components respectively.                                                                                                                                       |
| Troposphere            | Zenith delay parameters and pairs of horizontal delay gradient parameters are estimated for each station in intervals of 2 hours and 24 hours.                                                                                                                                              |
| Ionospheric correction | An ionospheric map derived from the contributing reference stations is used to aid ambiguity resolution.                                                                                                                                                                                    |
| Ambiguity              | Ambiguities are resolved in a baseline-by-baseline mode using the Code-Based strategy for 180-6000km baselines, the Phase-Based L5/L3 strategy for 18-200km baselines, the Quasi-Ionosphere-Free (QIF) strategy for 18-2000km baselines and the Direct L1/L2 strategy for 0-20km baselines. |

### 5.4 Reference Frame and Coordinate Uncertainty

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Terrestrial reference frame | IGS08 station coordinates and velocities mapped to the mean epoch of observation.                                                                                                                                                                                                                                            |
| Australian datum            | GDA94 coordinates determined via Helmert transformation from ITRF using the Dawson and Woods (2010) parameters.                                                                                                                                                                                                              |
| Derived AHD                 | For stations within Australia, AUSGeoid09 is used to compute AHD. AUSGeoid09 is the Australia-wide gravimetric quasigeoid model that has been a posteriori fitted to the Australian Height Datum.                                                                                                                            |
| Above-geoid heights         | Earth Gravitational Model EGM2008 released by the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) EGM Development Team is used to compute above-geoid heights. This gravitational model is complete to spherical harmonic degree and order 2159, and contains additional coefficients extending to degree 2190 and order 2159. |
| Coordinate uncertainty      | Coordinate uncertainty is expressed in terms of the 95% confidence level for both GDA94 and ITRF2008. Uncertainties are scaled using an empirically derived model which is a function of data span, quality and geographical location.                                                                                       |

