

# VERIFICACIÓN DE LA PRECISIÓN DE CUATRO MODELOS DE NAVEGADORES SATELITALES, EN POSICIONAMIENTO ABSOLUTO

VERIFICATION OF THE ACCURACY OF FOUR MODELS OF SATELLITAL NAVIGATORS, IN ABSOLUTE POSITIONING.

Fecha de recepción: 30/09/2016 //Fecha de aceptación: 02/05/2017

## RESUMEN

Actualmente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa son los únicos operativos que forman parte del concepto GNSS. Las aplicaciones de uso civil son numerosas, aumentando últimamente su empleo en la actividad forestal y agropecuaria. El objetivo del presente trabajo fue determinar la precisión de cuatro modelos de Navegadores en base a un punto de coordenadas conocidas de alta precisión, en el Municipio Puerto Iguazú. Los indicadores de precisión utilizados, se corresponden con la norma NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) de EE.UU. En base a los valores de la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RCEMC), y el error circular probable (ECP), de los navegadores evaluados los más precisos fueron el eTrex 20 y el MAP 62s, con una RCEMC comprendido entre 2,26 m y 2,47 m y un ECP 50%, comprendido entre 1,88 m y 2,03 m. Concluyéndose que la precisión descripta en el catálogo de los navegadores es inferior a los valores obtenidos en el presente estudio.

**Palabras clave:** Error circular probable, raíz cuadrada del error medio cuadrático, posicionamiento absoluto, coordenadas geográficas.

## SUMMARY

At present, the Global Positioning System (GPS) of the United States of America and the Global Navigation Satellite System (GLONASS) of the Russian Federation are the unique systems operating which form part of the GNSS concept. The civilian applications are numerous, and lately their uses have increased in the forestry and agricultural areas. The objective of this work was to determine the accuracy of four models of navigators based on a point of high precision known coordinates, in the town of Puerto Iguazú. The accuracy indicators used, correspond to NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) standards of the U.S.A. Based on the values of the Root Mean Square Error (RMSE), and the circular error probable (CEP), the most accurate navigators evaluated were the eTrex 20 and the MAP 62s, with a Root Mean Square Error between 2.26 and 2.47 meters and a circular error probable of 50%, between 1.88 and 2.03 meters. It was determined that the accuracy defined in the catalog of the navigators is less than the values obtained in the present study.

**Keywords:** Circular error probable, root mean square error, absolute positioning, geographic coordinates.

### Martín Orlando Orona

Ing. Ftal. Docente Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional de Misiones – Bertoni 124. 3382 Eldorado, Misiones – Argentina. Email: martinoo\_1988@hotmail.com

### Narda Yani Andrade

Ing. Ftal. Gaboto 675. 3382 Eldorado, Misiones – Argentina. Email: yaniguazu@yahoo.com.ar.

### Luis Alberto Grance

Ing. Ftal. Docente Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional de Misiones – Bertoni 124. 3382 Eldorado, Misiones – Argentina. Email: lgrance@yahoo.com.ar

### Elizabeth Weber

Ing. Ftal. – MSc. Docente Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Nacional de Misiones – Bertoni 124. 3382 Eldorado, Misiones – Argentina. Email: eweber@facfor.unam.edu.ar

### Julio Roberto Fabián Grance

Ing. Agrónomo. 3382 Eldorado, Misiones – Argentina. Email: juliogrance@gmail.com

## INTRODUCCION

Un sistema de navegación global por satélite (GNSS), es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre. Estos permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación. El GNSS proporciona a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas.

Como resultado de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales, se tienen los siguientes fines: de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades afines.

Actualmente, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos de América y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) de la Federación Rusa son los únicos operativos que forman parte del concepto GNSS en los navegadores a evaluar.

Desde el punto de vista teórico, con el sistema de posicionamiento global (GPS) o trabajando con el sistema (GLONASS) se determina en forma precisa, la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra teniendo estas las componentes X, Y, Z, bajo un sistema de referencia establecido a nivel mundial denominado world geodetic system 1984 (WGS 84).

Las componentes X (este-oeste) e Y (norte-sur) se refieren a la longitud y latitud respectivamente, en tanto la componente Z se corresponde con la altitud.

Desde el punto de vista geodésico-topográfico, el Sistema GPS/ GLONASS responde a dos requerimientos básicos:

Planteo directo o levantamiento: se tiene en el terreno un punto materializado, un pilar con placa y marca, un mojón, etc., se piden sus coordenadas en un sistema de referencia prefijado.

Planteo inverso o replanteo: se dan las coordenadas de un punto en un sistema de referencia determinado y se pide la localización de dicho punto, que de no estarlo ya, será materializado en el terreno (HUERTA *et al.* 2005).

Los Navegadores se han convertido en una herramienta corriente y de uso frecuente entre personal de diferentes áreas en el medio agropecuario y de uso no exclusivo de ingenieros y agrimensores. Por el contrario forma parte del equipamiento normal entre muchos productores agropecuarios, vendedores de campos, contratistas agrícolas, técnicos agropecuarios, además de técnicos agrimensores y agrónomos.

Frente al uso creciente de los Navegadores en la actividad agropecuaria se hace necesario revisar en detalle los principios y resultados del funcionamiento de estos receptores de bajo precio y analizar los errores

que cometen en el posicionamiento absoluto o sistema de posicionamiento estándar (SPS). De esta forma los profesionales y técnicos pueden tener una justa valoración de hasta qué punto pueden hacer topografía con estos receptores trabajando en SPS (KOOLHAAS, 2005).

Considerando que la meta de todo levantamiento topográfico es la generación de mapas, planos, obtención de datos o corroboración de los mismos, procesamiento o análisis dentro de un sistema de información geográfica (SIG) u otra herramienta informática, resulta necesario conocer la precisión que nos brindan estos instrumentos para determinar en qué tipo de actividad se pueden emplear, sin olvidar que existen errores que no se logran eliminar trabajando en posicionamiento absoluto.

A continuación se mencionan las fuentes de error que en la actualidad afectan de forma significativa a las medidas realizadas con los navegadores y sobre las cuales no se pueden aplicar ningún tipo de corrección: la perturbación ionosférica, fenómenos meteorológicos, imprecisión en los relojes de los satélites y receptores, interferencias eléctricas imprevistas, error multisenda, disponibilidad selectiva (solo para el sistema GPS, no afecta a GLONASS), topología receptor-satélite. Otras causales de error son la geometría de los satélites conocida como dilución de la precisión posicional (PDOP), la elevación de los satélites respecto al horizonte, la reflexión de la señal con objetos cercanos, sincronización de los relojes satelitales y navegador (LÓPEZ, 2011; LÓPEZ *et al.* 2010; HUERTA *et al.* 2005; JAUREGUI, 2011; CORREIA, 2002).

Para el presente trabajo los navegadores utilizados, de código C/A (HUERTA, 2005; LÓPEZ, 2011), dependen en primer lugar de la sensibilidad del chip y del tipo de antena. Estos instrumentos no permiten eliminar o corregir los errores, detallados anteriormente.

En la mayoría de los aparatos de GPS para mapeo, las lecturas de elevación no son exactas, debido a la naturaleza de la constelación de satélites en el firmamento. Como los satélites no son visibles a menos de cero grados bajo el horizonte, los aparatos de GPS no pueden trilaterar debidamente la coordenada Z o de elevación; por lo tanto, los valores de altitud deben usarse con mucha precaución (BOLFOR y ETSFOR. 1999). Entre los antecedentes de comparación de datos relevados con GPS diferencial (DGPS) y navegadores se encuentra el trabajo de LÓPEZ (2011), quien determina para 2 modelos de navegadores un error relativo comprendido entre 0,01 y 0,53% en la determinación de la distancia de los lados de una poligonal relevada con DGPS, con precisión de 10 mm.

A los efectos de determinar la precisión de los modelos de navegadores seleccionados, en el presente trabajo se analizaron los datos relevados con cada uno de ellos a partir del punto geodésico perteneciente a la red POSGAR 2007 (Posiciones Geodésicas Argentina), denominado IGUA.

## Hipotesis

La hipótesis del trabajo es que la precisión descrita en el catálogo de los navegadores no refleja la realidad, por lo que cada modelo debe ser evaluado estadísticamente antes de su uso en la actividad agroforestal.

## Objetivo general

Determinar la precisión a cielo abierto de cuatro modelos de navegadores en base a un punto de coordenadas conocidas de alta precisión, en Puerto Iguazú.

## Objetivos particulares

Determinar la precisión de los navegadores teniendo en cuenta latitud, longitud y altitud.

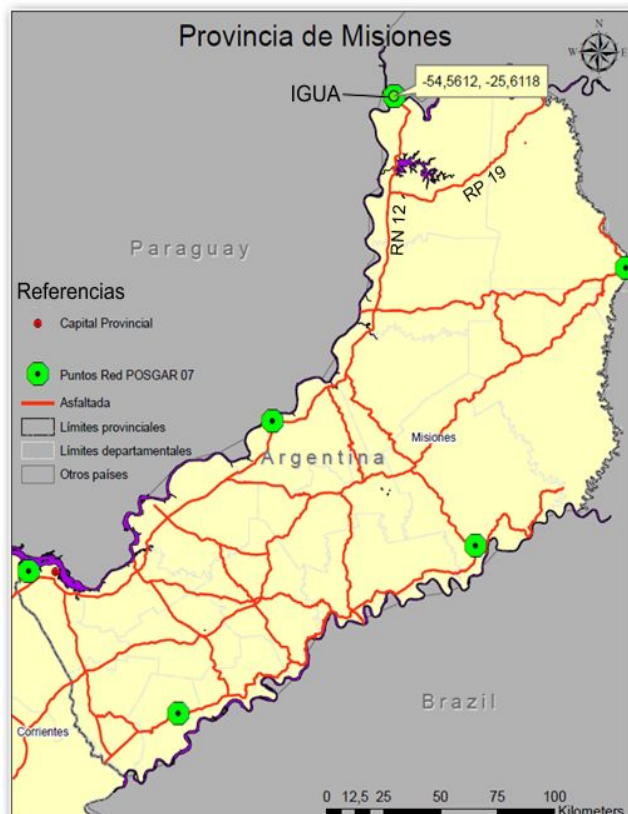
Determinar la mejor banda horaria para disminuir el error en la toma de datos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

## Área de Estudio Puerto Iguazú

El lugar donde se realizó las mediciones para determinar la precisión, se ubica en el municipio Puerto Iguazú, se encuentra materializado por un pilar de hormigón construido por el Instituto Geográfico Militar (IGM) con la denominación IGUA; este se localiza en la rotonda de acceso a la ciudad. Es parte de los seis puntos geodésicos pertenecientes a la Red POSGAR 2007 de la provincia de Misiones (RED POSGAR 2007), distribuidos como se puede apreciar en la figura 1.

Actualmente el punto forma parte del proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), es coincidente con la red PASMA (Proyecto de apoyo al sector minero argentino) en la cual tiene la nomenclatura 04-001, el mismo responde a las siguientes coordenadas (latitud: 25°36'42,48"S; longitud: 54°33'40,32"O) y altura elipsoide 192,2 metros (RED POSGAR, 2007). Para llegar al mojón se transita por la ruta nacional N° 12, hasta alcanzar el lado sur de la rotonda tal como se aprecia en la figura 2, sobre la imagen del año 2014 obtenida de Google Earth.



**Figura 1: Puntos de la Red POSGAR 2007 en la Provincia de Misiones**  
**Figure 1: Points of the POSGAR 2007 Network in the Province of Misiones**



**Figura 2: Ubicación del Punto Geodésico IGUA perteneciente a la Red POSGAR 2007**  
**Figure 2: Location of the Geodetic IGUA Point, belonging to the POSGAR 2007 Network**

**Descripción de los Navegadores**

Los navegadores marca Garmin son los más difundidos en la zona para realizar actividades agroforestales, motivo por el cual fueron elegidos para su evaluación.

Los datos descriptivos de los 4 modelos evaluados, fueron obtenidos de la página oficial de Garmin (<http://www.garmin.com/es-AR>), los mismos cuentan con igual tecnología de procesador (chip), denominado SirfStar III. En la tabla 1 se muestran las características técnicas según fabricante.

**Mediciones a Campo**

Los navegadores estuvieron configurados con datum WGS 84 y formato de posición en coordenadas geográficas con la siguiente característica: latitud/longitud hddd.dddd° (decimal).

Los datos fueron registrados en forma automática por los navegadores utilizando la función track; entendiéndose como tal al registro de una secuencia de puntos en un lapso de tiempo o distancia definida en la configuración. Para este trabajo la configuración para el registro de datos fue cada 5 segundos.

La toma de datos se realizó en simultáneo con los 4 navegadores, ubicados sobre una plataforma de madera de un metro de altura (posicionamiento absoluto en modo estático), presentando una distribución coincidente con los puntos cardinales a una distancia de 5 cm respecto al centro del punto seleccionado; los datos fueron registrados con cada receptor sobre el punto IGUA en dos jornadas de 9 horas los días 21 y 22 de agosto de 9 a 18 hora.

El análisis del comportamiento de los navegadores, se realizó en base a los criterios establecidos por las NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*), de los EE.UU (GAMBOA, 2007; QUINTANA, 2004).

**Determinación de la mejor banda Horaria**

Para seleccionar la mejor banda horaria, a partir de la evaluación de los datos del punto IGUA se calculó la RCEMC y el ECP, por hora para cada navegador, sometiéndose estos resultados a la prueba de rangos múltiples de los valores medios, a los efectos de determinar los horarios en los cuales no existen diferencias significativas entre las medias de la longitud y latitud de cada navegador, siendo el testigo el valor verdadero (IGUA). Aplicando distintos test de análisis, a un nivel de confianza del 95,0%, LSD, Tukey HSD, Scheffe, Bonferroni, Student-Newman-Keuls y Duncan (PULIDO y SALAZAR 2008).

**Tabla 1: Características técnicas de los cuatro modelos de navegadores satelitales de la marca Garmin, según manual del fabricante.**

**Table 1: Technical characteristics of the four models of satellite navigators of the Garmin brand, according to the manufacturer's manual.**

Navegador	Precisión Garmin (m)	Tipo de Antena	Pantalla	Tarjeta MicroSD	Memoria Interna (GB)	Sistema
LegendHcx	(+/-10)	Plana	color	SI		GPS
MAP 62s	(+/-7)	Helicoidal	Color	SI	1,7	GPS
Montana 650	(+/-3,65)	Plana	Color, Táctil	SI	3	GPS
eTrex 20	(+/-3,6)	Plana	Color	SI	1,7	GPS Y GLONASS

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Puerto Iguazú, Punto IGUA.

Las condiciones meteorológicas presentes en las dos jornadas fueron las siguientes: la primera jornada transcurrió con cielo despejado durante la toma de datos; en tanto en la segunda jornada, si bien las dos primeras horas carecieron de nubes, el resto del día estuvo totalmente nublado.

La tabla 2 sintetiza los resultados del comportamiento de los cuatro navegadores durante los dos días en el punto IGUA, tomando como indicadores de precisión el valor del error circular probable (ECP) a distintos porcentajes y la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RCEMC). Se brindan también los valores medios de desfasajes de cada navegador respecto a la latitud y longitud.

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior podemos decir que el eTrex 20 presentó el mejor comportamiento el día 1 mostrando los menores valores

de la RCEMC y el ECP a distintos porcentajes, excepto al 95 % donde existe una pequeña diferencia (0,1 %) a favor del MAP 62s que se encuentra en segundo lugar. En tercer lugar se ubica el Legend Hcx y por último el Montana 650.

En el día 2, los valores de ECP para los distintos porcentajes y la RCEMC son similares para los modelos MAP 62s y eTrex 20, siendo el primero el que exhibe menor valor para todos los casos.

En cambio al promediar los valores de las dos jornadas, teniendo en cuenta los ECP a distintos porcentajes y los valores de la RCEMC, los navegadores se ordenarían, en base a estos indicadores de precisión de la siguiente manera, eTrex 20, MAP 62s, Legend Hcx y Montana 650, existiendo una diferencia muy pequeña entre los 2 primeros modelos, lo que coincide con el análisis de la RCEMC, presentado en la tabla 3 para los cuatro modelos de navegadores.

**Tabla 2: Valores medios de los indicadores de precisión de los cuatro modelos de navegadores en el punto IGUA, 21 y 22 de agosto de 2015.**

**Table 2: Mean values of the precision indicators of the four navigator models in the IGUA point, August 21 and 22, 2015.**

Día	Navegador	Desfasaje (m)		RCEMC (m)	ECP (m)			
		Latitud	Longitud		50 %	70 %	90 %	95 %
1	eTrex 20	1,87	-1,38	2,68	2,20	3,40	4,30	5,10
2	eTrex 20	0,71	-0,30	1,83	1,60	1,90	2,90	3,50
Promedio		1,29	-0,84	2,26	1,88	2,65	3,58	4,30
1	MAP 62s	2,27	-0,64	3,32	2,80	3,60	4,50	5,00
2	MAP 62s	-0,63	-0,54	1,61	1,30	1,80	2,80	3,30
Promedio		0,82	-0,59	2,47	2,03	2,70	3,65	4,15
1	LegendHcx	3,60	-0,71	4,45	3,80	4,30	5,80	6,40
2	LegendHcx	1,09	-0,29	2,10	1,80	2,00	3,80	4,10
Promedio		2,35	-0,50	3,28	2,79	3,15	4,80	5,25
1	Montana 650	4,10	-1,85	5,58	4,60	6,00	8,30	9,40
2	Montana 650	1,90	-1,01	3,54	2,30	3,50	5,50	6,60
Promedio		3,00	-1,43	4,56	3,46	4,75	6,90	8,00

RCEMC: Raíz cuadrada del error medio cuadrático; ECP: Error circular probable.

**Tabla 3: Promedio y valores extremos de la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RCEMC), para cada navegador.**

**Table 3: Average and extreme values of the root mean square error (RMSE) for each navigator.**

	eTrex 20	MAP 62s	Legend Hcx	Montana 650
<b>RCEMC (m)</b>	2,26	2,47	3,28	4,56
<b>Máximo (m)</b>	7,39	6,17	7,24	18,22
<b>Mínimo (m)</b>	0,62	0,18	0,62	0,62

**Análisis de las Coordenadas**

**1- Longitud**

En el gráfico 1, se observa la distribución de los datos de longitud tomados en los dos días, donde se visualiza que los navegadores proporcionan valores cuya dispersión presentan una tendencia hacia el este con respecto al valor verdadero (IGUA).

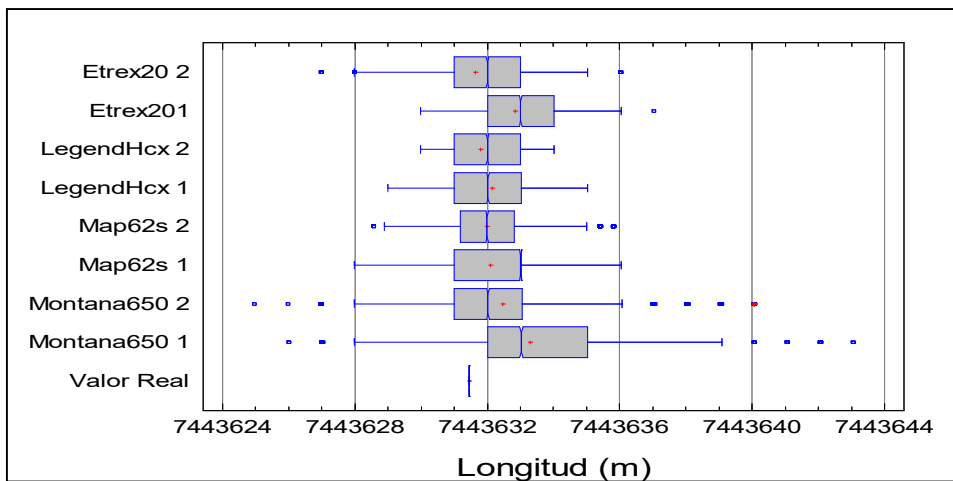
**2- Latitud**

En el gráfico 2, podemos ver la distribución de los datos de latitud tomados en los dos días, donde se

visualiza que la media y la mediana de los navegadores se ubican hacia el Sur con respecto al valor verdadero, a excepción del MAP 62s en el día 2.

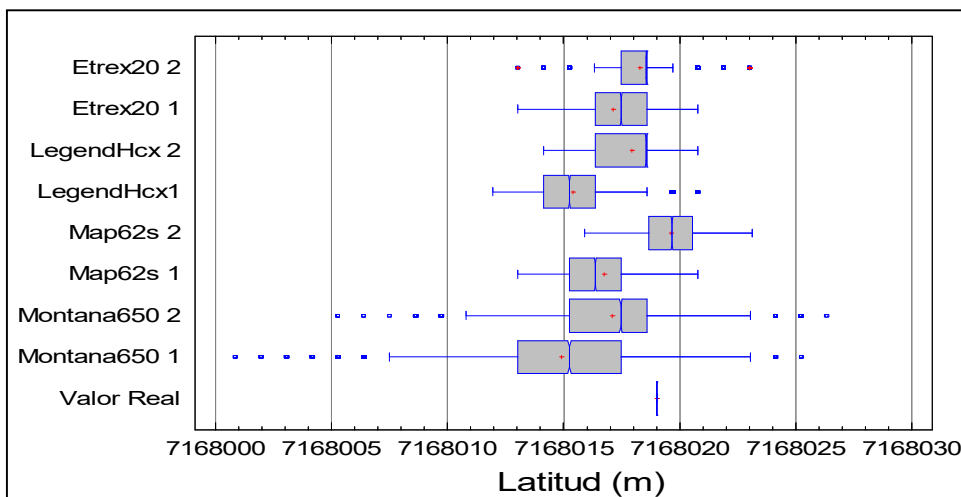
**3- Altura:**

En el gráfico 3 se ve la distribución de los datos de altura tomados en los dos días. Coincidiendo con KOOLHAAS, (2005); BOLFOR y ETSFOR, (1999), estos navegadores no deberían ser usados en trabajos de nivelación o levantamiento de perfiles precisos.



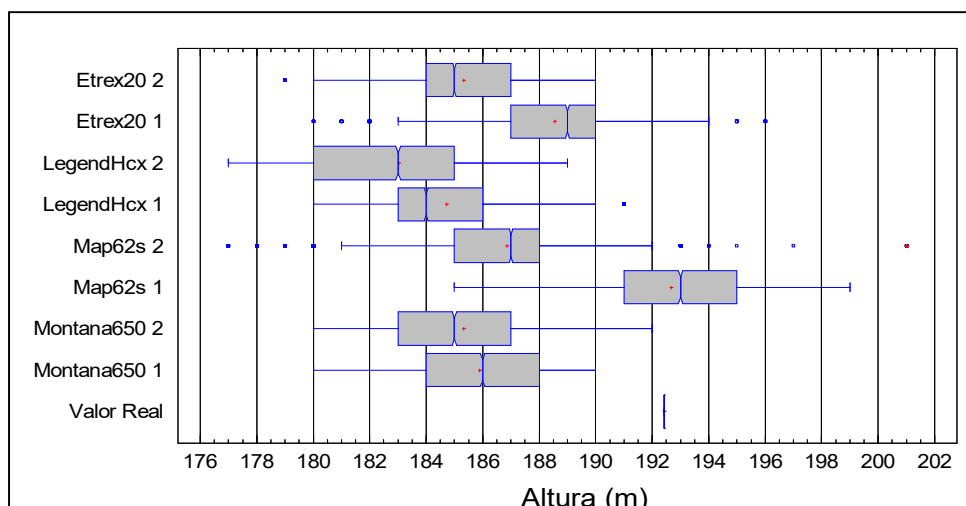
**Gráfico 1: Comportamiento de los registros de longitud para los cuatro navegadores en los dos días, con respecto al valor verdadero. (Los números 1 y 2 se refieren a los días).**

**Graph 1: Behavior of longitude records for the four navigators in the two days, with respect to the true value. (Numbers 1 and 2 refer to days).**



**Gráfico 2: Comportamiento de los registros de latitud de los cuatro navegadores en los dos días, con respecto al valor verdadero (los números 1 y 2 se refieren a los días).**

**Graph 2: Behavior of latitude records for the four navigators in the two days, with respect to the true value. (Numbers 1 and 2 refer to days).**



**Gráfico 3: Comportamiento de los registros de altitud de los cuatro navegadores en los dos días, con respecto al valor verdadero. (Los números 1 y 2 se refieren a los días).**  
**Graph 3: Behavior of altitude records for the four navigators in the two days, with respect to the true value. (Numbers 1 and 2 refer to days).**

**Determinación de la mejor banda Horaria**

Aplicando la prueba de rangos múltiples a los valores medios de la latitud, longitud y altitud, a los efectos de determinar los horarios en los cuales no existen diferencias significativas entre los valores medios de estas variables obtenidas en cada navegador, con respecto al valor verdadero, empleando distintos test de análisis estadístico, a un nivel de confianza del 95,0 %, se determinó que no existen diferencias significativas entre las medias para el rango horario comprendido entre las 9 y 12 horas.

**Comparación de resultados respecto a la especificación técnica de los navegadores**

En la tabla 4 se detallan las características técnicas según el fabricante en cuanto a la precisión de los receptores, comparándolo con los indicadores de precisión obtenidos por cada modelo en el punto de referencia IGUA.

De los resultados obtenidos, se observa que los valores de precisión logrados para los modelos eTrex 20, MAP 62s y Legend Hcx se encuentran dentro de las especificaciones técnicas. El modelo Montana 650 que en catálogo es uno de los mejores, arroja valores inferiores de precisión respecto a su especificación técnica.

**Tabla 4: Comparación del error circular probable (ECP), por modelo de navegador, a diferentes porcentajes de probabilidad, en el punto geodésico IGUA.**

**Table 4: Comparison of circular error probable (CEP), by navigator model to different probability percentages, at the geodetic point IGUA.**

Navegador	Precisión Fabricante (m)	ECP (m)			
		50 (%)	70 (%)	90 (%)	95 (%)
eTrex 20	(+/-3,6)	1,38	2,46	3,90	4,3
MAP 62s	(+/-7)	2,00	2,80	4,10	4,75
Legend Hcx	±(4-10)	2,60	3,80	5,10	5,8
Montana 650	(+/-3,65)	3,25	4,75	7,25	8,5

**CONCLUSIONES**

En el momento de decidir que navegador usar, de los navegadores evaluados, los resultados indican que el eTrex 20 y el Map 62s nos brindan la mejor precisión.

Entre los que presentan antena plana, el navegador que cuenta con integración de sistemas GPS+GLONASS, es el que proporciona valores más confiables, ocupando el primer lugar en precisión.

En mediciones a cielo abierto (punto geodésico IGUA) podemos concluir en base al ECP al 50 % y la RCEMC que la mayor precisión de los navegadores se da de mayor a menor en el siguiente orden: eTrex 20, seguido por el MAP 62s, Legend Hcx y Montana 650.

La mejor banda horaria para tomar puntos con la precisión detallada por el fabricante, sería entre las 9 y 12 horas.

Los resultados de precisión obtenidos no son definitivos, requiere de repetitividad, en distintas épocas del año, con una variabilidad de situaciones.

La precisión descrita en el catálogo de los navegadores es inferior a los valores obtenidos en el presente estudio.

QUINTANA, M. S. 2004. Análisis de precisión y eficiencia de receptores GPS bajo cobertura arbórea (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, España. 186 pp.

## BIBLIOGRAFIA

BOLFOR; ETSFOR. 1999. Cartografía y Uso de la Tecnología GPS. Santa cruz Bolivia. 61 pp.

CORREIA P. 2002. Guía práctica del GPS. MARCOMBO S.A. Barcelona – España. 202 pp.

GAMBOA J. F. 2007. Normas y estándares para datos geospaciales en Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia. 21, 22 noviembre 2007. San José, Costa Rica. 74 pp.

GARMIN. Características técnicas de los receptores GPS. Consultado el 15 de abril de 2015. <http://www.garmin.com/esAR>.

GOOGLE HEART software online, versión libre, imágenes 2014.

HUERTA, E.; Mangiaterra, A.; Noguera, G. 2005. GPS: Posicionamiento satelital. Primera Edición. UNR Editora - Universidad Nacional de Rosario. Argentina. 148 pp.

JAUREGUI, L. 2011. Curso básico GPS. Consultado 27 de abril de 2015, <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/>

KOOLHAAS, M. 2005. El GPS y sus aplicaciones agronómicas. Uruguay: Universidad de la República, Área Ingeniería Agrícola. 148 pp.

Red POSGAR 2007. Listado de puntos. Geodésicos, Misiones, Instituto Geográfico Nacional, República Argentina, consultado el 20 de abril de 2015 <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Posgar/RedPosgar07>.

LÓPEZ VALDÉS, E.; Núñez A. A.; Gracia Gómez, C. 2010. Test de análisis de la precisión en determinación de trayectorias con GPS. Ingeniería Técnica en Topografía. 58 pp.

LÓPEZ, H. H. 2011. Geociencias. Tercera Edición. Misiones, Argentina. 250 pp.

PULIDO H. G. y Salazar R. 2008. ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS Segunda edición editorial MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V., Mexico. 545 pp.