



INSTITUTO
TECNOLÓGICO
AGRARIO

Junta de Castilla y León
Consejería de Agricultura y Ganadería

Ctra. Burgos Km. 119
FINCA ZAMADUEÑAS
47071 Valladolid
España

T +34 983 414 769
F +34 983 412 040
www.itacyl.es

Validación de receptores GNSS usados en los controles sobre el terreno de las superficies declaradas en la solicitud única de ayudas de la PAC en la Comunidad Autónoma de Castilla y León

Receptores

Trimble Pro XR - standalone

Trimble Pro XR DGPS

HOLUX GPSLim236 + Cartosat

QSTARZ BT-Q818 + Cartosat

Autor de la validación:
Fdo: Modesto Blanco Díaz
Fecha: 29/3/2011

Supervisado:
Fdo: Rafael Saéz González Subdirector de Infraestructuras Agrarias
Fecha:

Número de páginas (incluida esta):27



ÍNDICE

1	Antecedentes	4
2	Diseño y realización del experimento de validación	4
2.1	Receptores GNSS evaluados	4
2.1.1	Trimble Pro XR	4
2.1.2	HOLUX GPSLim236	6
2.1.3	QSTARZ BT-Q818	7
2.2	Parcelas de referencia	8
2.2.1	Elección de parcelas para la validación	8
2.2.2	Medición geodésica de superficie de referencia	9
2.3	Trabajo de campo	11
2.4	Exportación de resultados. Examen visual	11
2.4.1	Trimble Pro XR	12
2.4.2	Holux y Qstarz con Cartosat	12
2.4.3	Examen visual	13
3	Análisis estadísticos	17
3.1	Eliminación de valores atípicos	17
3.1.1	Análisis visual	17
3.1.2	Tests de Cochran y Grubbs	18
3.2	Análisis de la influencia de diferentes factores (ANOVA) ..	20
3.3	Verificación de ausencia de sesgo en el área (T-Student) ..	22
3.4	Cálculo de tolerancia aproximada	24
3.5	Cálculo de Reproducibilidad - Tolerancia final	24
4	Conclusiones	25
5	Contenido del anejo de datos en formato digital	26
6	Bibliografía	27



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tabla resumen de receptores validados.....	4
Figura 2. Detalle del receptor Trimble Pro XR en un momento realizando una medición	6
Figura 3. Detalle del receptor HOLUX GPSLim236.....	7
Figura 4. Detalle del receptor QSTARZ BT-Q818.....	8
Figura 5. Tabla con las referencias SIGPAC de las parcelas observadas	9
Figura 6. Ortofotografía en falso color infrarrojo (IrRG) con las parcelas usadas en la validación	9
Figura 7. Medición de la superficie de referencia con equipo RTK..	10
Figura 8. Resumen del postprocesado de los datos del Trimble Pro XR	12
Figura 9. Detalle del inicio de la aplicación Cartosat.....	13
Figura 10. Mediciones realizadas en la Parcela 1.....	14
Figura 11. Mediciones realizadas en la Parcela 2.....	15
Figura 12. Mediciones realizadas en la Parcela 3.....	16
Figura 13. Mediciones realizadas en la Parcela 4.....	16
Figura 14. Mediciones realizadas en la Parcela 5.....	17
Figura 15. Tabla resumen de resultados del Análisis de Varianza...	21
Figura 16. Gráfico con la regresión lineal para el cálculo del escalado de las observaciones de Trimble Pro XR en modo autónomo	23
Figura 17. Resultados de tolerancia aproximada.....	24
Figura 18. Tabla resumen con las tolerancias calculadas por parcela y la final propuesta (se usa punto como separador decimal)	25
Figura 19. Tolerancia final calculada en la validación.....	26



1 Antecedentes

La Dirección General de Política Agraria Comunitaria de la Consejería de Agricultura solicitó al 2 de septiembre de 2010 a la Subdirección de Infraestructuras Agrarias del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL) la realización de las pruebas de validación de los receptores GNSS empleados en los controles sobre el terreno de las ayudas PAC y la emisión del presente informe.

Para la realización de estas validaciones se ha seguido el método propuesto por el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea remitido a la Comunidad Autónoma por el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA). Además se ha recurrido a otra documentación complementaria relacionada con los métodos estadísticos empleados que se reseña en el apartado de bibliografía.

2 Diseño y realización del experimento de validación

2.1 Receptores GNSS evaluados

Se han validado tres receptores de la constelación NAVSTAR, uno de ellos en dos modalidades de medición, con corrección diferencial (DGPS) y autónomo (standalone). En la siguiente tabla se resumen las características de los receptores empleados.

No	Device	Antenna	Software/Firmware	Measure method	Differential correction	DOP mask	Measure interval	Elevation mask
1	Trimble Pro XR - standalone	External	Asset Surveyor v5	continuous	no	6	2s	10°
2	Trimble Pro XR DGPS	External	Asset Surveyor v.5 + Pathfinder Office 4.0	continuous	post processing	6	2s	10°
3	HOLUX GPSLim236 + Cartosat	Internal	Cartosat	continuous	EGNOS	n/a	2s	n/a
4	QSTARZ BT-Q818 + Cartosat	Internal	Cartosat	continuous	EGNOS	n/a	2s	n/a

Figura 1. Tabla resumen de receptores validados

2.1.1 Trimble Pro XR

La Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León dispone de un parque de 31 receptores Trimble ProXR/ProXRS distribuidos en los Servicios Territoriales. Estos receptores han sido empleados desde el año 2000 entre otras actuaciones para los controles sobre el terreno.



Se trata de equipos receptores GPS de una frecuencia; de precisión submétrica con posibilidad de realizar correcciones diferenciales en postproceso tanto de código como de fase portadora.

Para la realización de la validación se ha empleado el siguiente equipo y configuración (usada en los controles sobre el terreno):

- Receptor: Trimble Pathfinder Pro XR SN:0220223676 - Manufactured 26-10-2000.
- Colector de datos: Trimble TSC1 firmware 1.4.11
- Antena: Trimble Compact Dome antenna SN: 0220222783
- Software de medición: Trimble Asset Surveyor version 5.0
- Correcciones diferenciales: El equipo ha sido utilizado con dos configuraciones distintas.
 - o Ninguna, equipo autónomo (standalone)
 - o Diferencial de código (DGPS) sin fase en postproceso con Trimble GPS Pathfinde Office 4.00
- Máscara de elevación: 10°
- Máscara de precisión: PDOP 6
- Intervalo de registro: 2 segundos
- Altura de antena: 1,7m
- Entidad de medición: Area-generic.
- Software de cálculo del área: Trimble GPS Pathfinder Office 4.00



Figura 2. Detalle del receptor Trimble Pro XR en un momento realizando una medición

2.1.2 HOLUX GPSLim236

La Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León dispone de un parque de 25 receptores Holux GPS LIM 236 que complementan al sistema de inspección Cartosat desarrollado en el Instituto a partir de librerías ESRI ArcGIS Engine.

Se trata de un receptor de código con procesador SIRF III que envía mensajes NMEA a través de un puerto Bluetooth a un Tablet-PC que ejecuta la aplicación Cartosat. El receptor se ubica sobre la cabeza del inspector para permitir una óptima visibilidad de satélites libre de obstáculos.

Para la realización de la validación se ha empleado el siguiente equipo y configuración (usada en los controles sobre el terreno):

- Receptor: HOLUX GPSLim236 SN: 236-72300767
- Antena: Interna
- Software de medición y cálculo de áreas: CartoSAT v2.1.229
- Correcciones diferenciales: SBAS (EGNOS) activada.
- Máscara de elevación: No configurable
- Máscara de precisión: No configurable



- Intervalo de registro: 2 segundos
- Altura de antena: No configurable
- Software de cálculo del área: CartoSAT **v2.1.229**.



Figura 3. Detalle del receptor HOLUX GPSLim236

2.1.3 QSTARZ BT-Q818

La Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla y León dispone de un parque de 27 receptores QSTARZ BT-Q818 que complementan al sistema de inspección Cartosat desarrollado en el Instituto a partir de librerías ESRI ArcGIS Engine.

Se trata de un receptor de código de una frecuencia con procesador MTK que envía mensajes NMEA a través de un puerto Bluetooth a un Tablet-PC que ejecuta la aplicación Cartosat. El receptor se ubica sobre la cabeza del inspector para permitir una óptima visibilidad de satélites libre de obstáculos.

Para la realización de la validación se ha empleado el siguiente equipo y configuración (usada en los controles sobre el terreno):

- Receptor: QSTARZ BT-Q818 SN: FCC ID-OUP940760101
- Antena: Interna
- Software de medición y cálculo de áreas: CartoSAT **v2.1.229**
- Correcciones diferenciales: SBAS (EGNOS) activada



- Máscara de elevación: No configurable
- Máscara de precisión: No configurable
- Intervalo de registro: 2 segundos
- Altura de antena: No configurable
- Software de cálculo del área: CartoSAT **v2.1.229**



Figura 4. Detalle del receptor QSTARZ BT-Q818

2.2 Parcelas de referencia

2.2.1 Elección de parcelas para la validación

Conforme al paso 1 de las instrucciones de validación se eligieron cuatro parcelas de referencia de entre 0,2 y 4 ha situadas en el término municipal de Cigales (Valladolid). Todas las superficies a validar constituyen recintos del SIGPAC.



PROVINCIA	MUNICIPIO	AGREGADO	ZONA	POLÍGONO	PARCELA	RECINTO	SUPERFICIE SIGPAC (ha)	PARCELA EXPERIMENTO
47	51	0	0	6	415	1	1,5850	1
47	51	0	0	7	470	3	3,6403	3
47	51	0	0	7	472	1	2,6317	2
47	51	0	0	7	5235	2	1,1145	5
47	51	0	0	7	5239	1	0,4860	4

Figura 5. Tabla con las referencias SIGPAC de las parcelas observadas



Figura 6. Ortofotografía en falso color infrarrojo (IrRG) con las parcelas usadas en la validación

2.2.2 Medición geodésica de superficie de referencia

Previamente a la medición continua de cada parcela se marcaron con estacas y piedras coloreadas los linderos de cada parcela, para que no hubiese duda en el recorrido a realizar por cada operario. La medición de referencia se realizó con un equipo topográfico de doble frecuencia Leica



GRX1230 en modo RTK, utilizando las correcciones VRS (Virtual Referente Station) de la Red GNSS de Castilla y León. Dicha configuración ofrece una precisión de ± 2 cm en planimetría, precisión muy superior a 3 veces la precisión estimada de los aparatos GPS a verificar.

La medición de las superficies de referencia se realizó en modo vértice, registrando los puntos marcados previamente como linderos.

Parcela	4	5	1	2	3
Perimetro_ref (m)	296,27	463,99	780,59	720,44	764,86
Area_ref (m2)	4.608,18	12.221,66	15.700,15	25.538,45	33.990,11
factor_forma	1/2	1/2	1/7	1/3	1/2
horizonte	bueno	bueno	bueno	bueno	bueno

Factor forma = relación anchura/longitud.

Horizonte = es bueno si es terreno despejado, sin árboles sin elementos que dificulten el seguimiento de satélites.

En el directorio /Parcelas_Referencia/ de la información aneja a este informe se encuentran 5 archivos con las coordenadas y precisiones en la medición de cada punto de cada parcela.



Figura 7. Medición de la superficie de referencia con equipo RTK



2.3 Trabajo de campo

Las mediciones de validación fueron realizadas por tres técnicos de la Subdirección de Infraestructuras del ITACyL: José Carlos Iglesias (Operario A) Rubén Negro (Operario B) y Modesto Blanco (Operario C). Las cinco parcelas fueron observadas en cuatro repeticiones, dos en cada sentido de giro (horario y antihorario), en cada conjunto.

Se realizaron 8 conjuntos de mediciones, también llamados Sets o Recorridos. En total se realizaron 460 mediciones de validación entre todos los operadores, lo que supuso recorrer unos 290 km a pie.

Los operarios A y B, expertos en el manejo del sistema de inspección Cartosat realizaron las mediciones de los equipos Holux GPSlim236 y QSTARZ BT-818, por lo que se diseñó un experimento balanceado con 8 conjuntos, 4 por operador. Sin embargo el operario C realizó exclusivamente mediciones con el equipo Trimble Pro XR.

Las mediciones se realizaron entre el día 28 de febrero y el día 8 de marzo de 2011, en total 7 días de trabajo, 4 de ellos mañana y tarde, recorriendo cada día un mínimo de 1 conjunto completo para todas las parcelas, con la separación mínima de 2 horas entre cada conjunto para cada parcela. En las mediciones trabajaron los 3 operarios a la vez en cada parcela, separados por unos metros de distancia. Los 5 primeros días fueron nublados y con viento, y los 2 días finales soleados.

Los datos de mediciones para cada configuración se encuentran en el directorio /Mediciones_Estadisticas/, separados en 4 ficheros (ej: Mediciones_Estadisticas_ProXR_postpro.xls). Cada fichero tiene 2 hojas de cálculo, una con las mediciones de campo, y otra con los análisis estadísticos detallados.

Los principales problemas encontrados en el trabajo de campo fueron un rendimiento inferior al previsto en el diseño del experimento lo que obligó a alargar las sesiones de trabajo y algunos fallos del equipo de inspección Cartosat al estar orientado hacia una gestión completa de los controles sobre el terreno y no estrictamente hacia la medición repetida de áreas superpuestas. El equipo Trimble Pro XR demostró su robustez dada su especialización para la realización estricta de este tipo de trabajo.

2.4 Exportación de resultados. Examen visual

La gestión de los datos es significativamente diferente entre los receptores Bluetooth (Holux y Qstarz) que funcionan con Cartosat y el Trimble Pro XR.



2.4.1 Trimble Pro XR

Los datos medidos con el Trimble Pro XR fueron procesados con el software GPS Pathfinder Office v 4.0. En primer lugar se realizó una corrección diferencial de código usando la estación de referencia VALA, situada a 7 km y perteneciente a la Red GNSS de Castilla y León y a Red de Estaciones Permanentes de EUREF. La corrección diferencial afectó a 34.853 posiciones que suponen un 98.8% de todas las observadas. Las precisiones estimadas en RMS2D para las posiciones corregidas son las siguientes:

Rango	Porcentaje
0-15cm	-
15-30cm	77.4%
30-50cm	20.5%
0.5-1m	2.1%
1-2m	-
2-5m	-
>5m	-

Figura 8. Resumen del postprocesado de los datos del Trimble Pro XR

Los datos del Trimble ProXR, en sus dos modalidades, se encuentran en:
Datos brutos: \ProXR_Pathfinder\Raw_data\
Datos postprocesados: \ProXR_Pathfinder\Postprocessed_data\
Datos exportados sin postprocesar (standalone):
\ProXR_Pathfinder\Export_standalone\
Datos exportados postprocesados:
\ProXR_Pathfinder\Export_postpro\

Una vez realizada la corrección diferencial los datos son exportados a formato ESRI Shapefile con la misma herramienta de software en dos versiones: Una sin la corrección diferencial aplicada y otra con la corrección aplicada.

2.4.2 Holux y Qstarz con Cartosat

Ambos receptores emiten mensajes NMEA que son capturados en campo por la aplicación Cartosat-SatPAC.

Cartosat es un producto SIG genérico desarrollado en el ITACyL que permite visualizar y editar información geográfica en combinación con otras bases de datos. Tiene una marcada orientación hacia su uso en campo permitiendo al usuario manejar potentes herramientas y grandes conjuntos de datos (capas raster de ortofotos de cobertura autonómica y vectores con toda la base de datos SIGPAC de forma simultánea) sobre el terreno con equipos Tablet-PC.

Cartosat se complementa por la extensión SatPAC, también de desarrollo propio, que presta servicios de asistencia a la localización de



las parcelas agrícolas, y ayudas a las tareas de control sobre el terreno que se realizan sobre ellas, tanto para la comprobación de cultivos y superficies dedicadas a ellos, como para la verificación del cumplimiento de otros diversos requisitos de la normativa PAC que deben ser revisados sobre el terreno (Condicionalidad, ayudas agroambientales,...).

El conjunto de software y hardware junto con el receptor GPS hacen de Cartosat una completa herramienta de inspección de campo que facilita la toma de decisiones sobre el terreno y propicia una gestión ágil y homogénea de los controles sobre el terreno en un flujo totalmente digital.



Figura 9. Detalle del inicio de la aplicación Cartosat

A la hora de realizar mediciones GPS, la aplicación Cartosat lee del puerto serie Bluetooth las sentencias NMEA, utiliza las funciones de proyección cartográfica de ArcObjects y va dibujando sobre la pantalla la entidad geográfica. Al terminar la medición, el gráfico en pantalla es guardado en una Geodatabase Personal de ESRI. El sistema se ha demostrado robusto al detectar errores procedentes del receptor GPS (outlier visuales) ya que el usuario visualiza en todo momento otra información complementaria de referencia como la ortofotografía aérea, permitiéndole detectar problemas in situ.

Una vez que los datos fueron grabados en campo en la Geodatabase de Cartosat se procedió en gabinete a exportarlos a formato Esri Shapefile con ArcGIS 9.3.

2.4.3 Examen visual

Una vez realizadas las mediciones con los diferentes receptores y herramientas de software mencionadas, son exportadas en formato Shape para ser analizadas con herramientas de información geográfica (ArcGIS desktop 9.3, Autocad Map 2007 y GvSIG 1.10). Es importante destacar que las superficies nunca fueron recalculadas en los ficheros SHP, por lo que



siempre se ha trabajado con las superficies originales calculadas por cada receptor y su software.

A continuación se muestran en conjunto las mediciones realizadas para todos los receptores en cada parcela. Pueden observarse algunas "excursiones" significativamente fuera del trazado real de la parcela. En su mayor parte estas excursiones pertenecen al receptor Qstarz, en color naranja.

Los archivos SHP medidos y la ortofotografía se encuentran almacenados en los directorios /SHP, y /Ortofotos de la documentación digital anexa

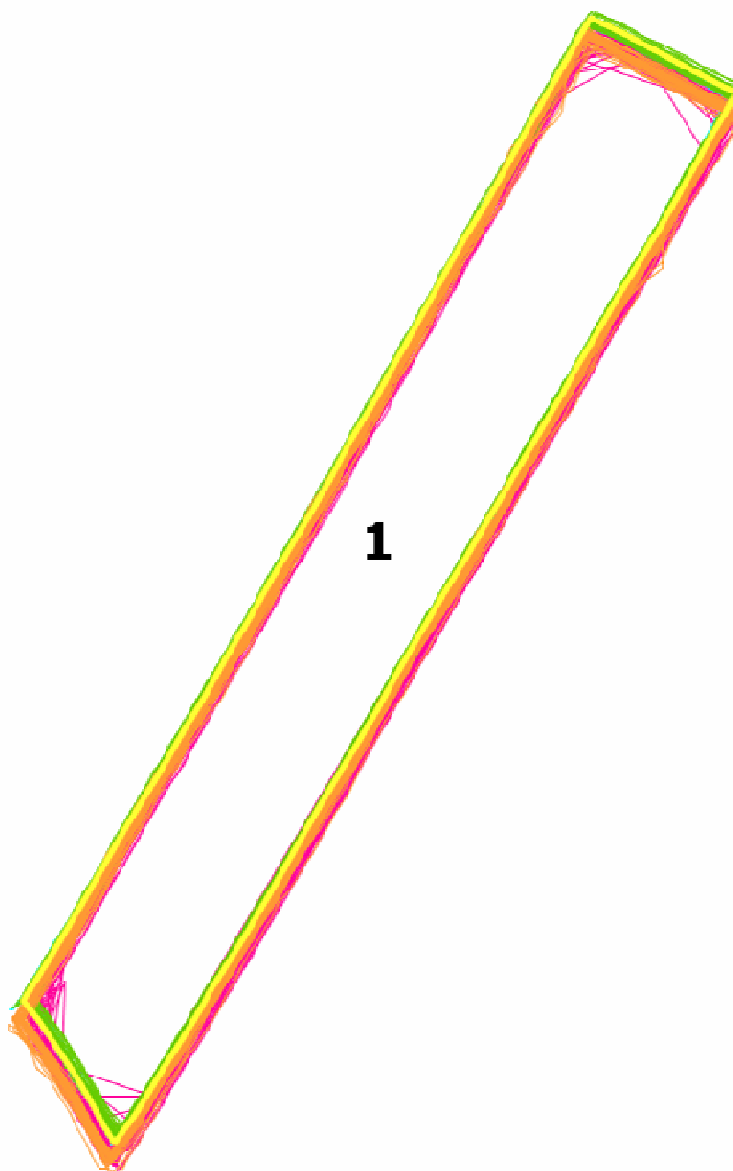


Figura 10. Mediciones realizadas en la Parcela 1



—



Figura 11. Mediciones realizadas en la Parcela 2



—

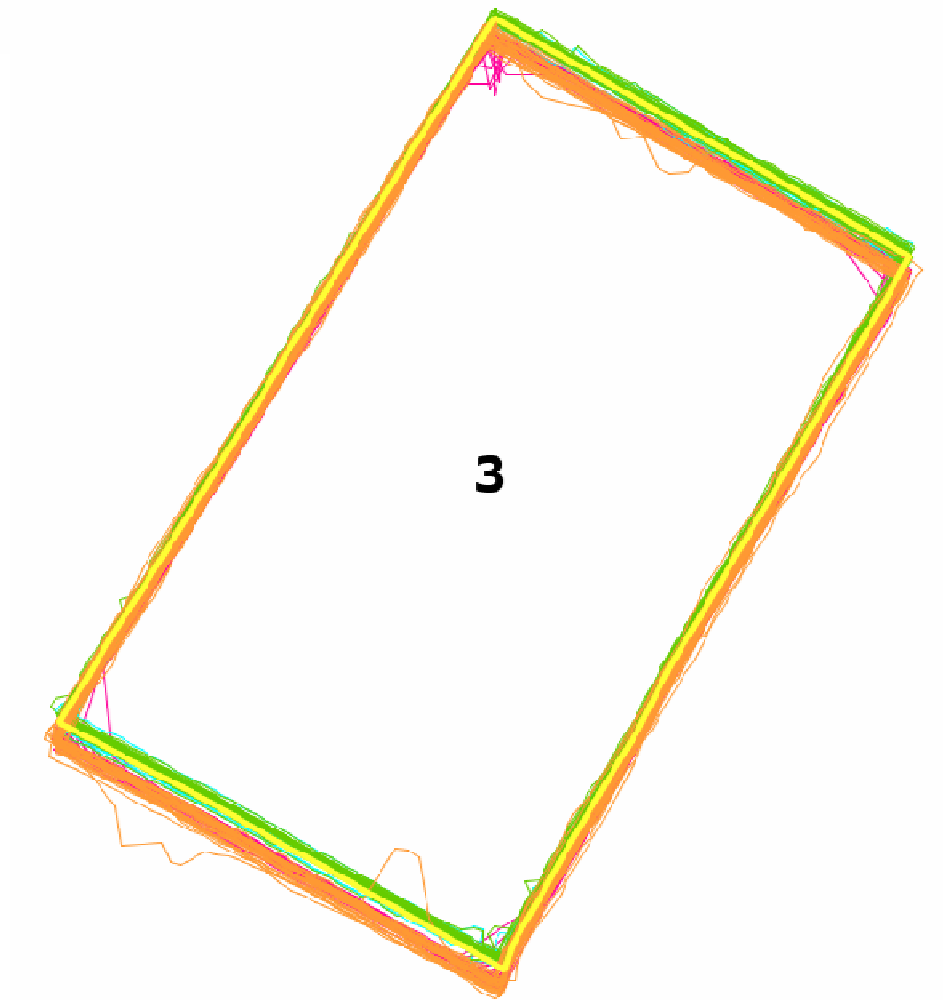


Figura 12. Mediciones realizadas en la Parcela 3

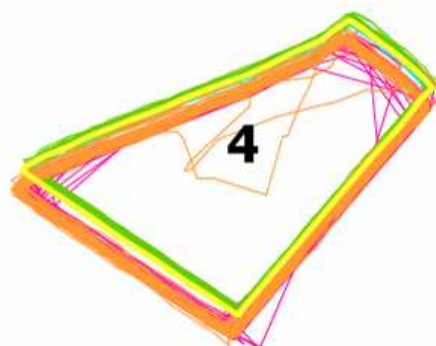


Figura 13. Mediciones realizadas en la Parcela 4

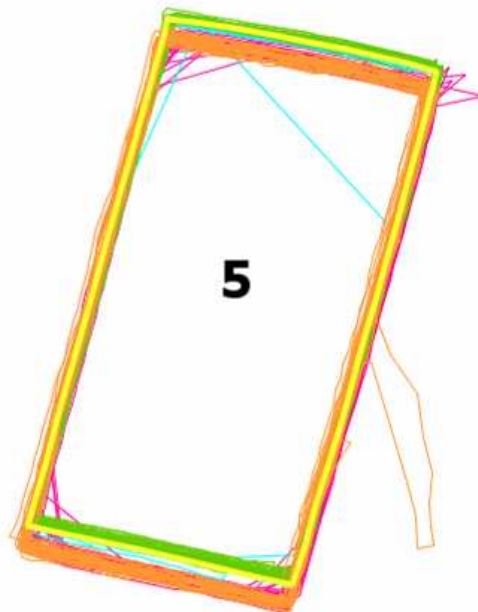


Figura 14. Mediciones realizadas en la Parcela 5

3 Análisis estadísticos

En el análisis estadístico se siguió el esquema propuesto por el JRC, para su realización se usó hoja de cálculo Microsoft Excel y el software específico SPSS v.15.

*Los análisis estadísticos para cada configuración se encuentran detallados en la hoja "estadísticas" de cada fichero (ej: Mediciones_Estadisticas_ProXR_postpro.xls) en el directorio /Mediciones_Estadisticas/. Además se adjuntan ficheros *.sav con las mediciones en formato del software SPSS que se utilizó para realizar diversos test como el del ANOVA.*

3.1 Eliminación de valores atípicos

3.1.1 Análisis visual

A partir de los ficheros SHP de las parcelas de referencia y las mediciones de los distintos equipos, junto con las ortofotos se realiza una inspección visual de los conjuntos de datos de cada receptor.

-Trimble ProXR, con o sin posproceso, no presenta desviaciones o valores anómalos visualmente.



-Holux: se aprecia que el equipo en muchos casos recorta las esquinas de las parcelas, a pesar de que ambos operarios paraban o ralentizaban la marcha al menos 2 segundos en dichas posiciones. Además los puntos capturados no siguen el intervalo preconfigurado de 2 segundos, sino que en muchos casos la distancia entre vértices capturados corresponde a muchos segundos. Todo esto parece indicar que internamente el equipo parece tener configurado algún tipo de filtro de dirección/velocidad que no es posible eliminar manualmente.

-Qstarz: captura bien las esquinas y el intervalo de captura es constante, sin embargo presenta en casos muy esporádicos "excursiones" que se alejan mucho de la forma de la parcela. El motivo de dichas excursiones no está claro, pues el terreno está despejado, sin árboles ni obstrucciones, pero puede estar hipotéticamente relacionado con la corrección diferencial de EGNOS, activada tanto en el Qstarz como en el Holux, ya que se ha reportado que en algunos casos puede provocar inestabilidades.

Se ha optado por presentar dos variantes para el Qstarz en los análisis estadísticos subsiguientes, una sin eliminar previamente las "excursiones", y otra en la que previamente a los test de Cochran y Grubbs se eliminan estas "excursiones" al considerarlas errores groseros (=valores atípicos = outliers) y teniendo en cuenta que en un caso real el usuario de Cartosat en campo visualiza dicha medición y reconoce que con mucha diferencia no sigue la forma de la ortofoto.

En el fichero Mediciones_Estadisticas_Qstarz.xls existe una hoja denominada "estadisticas" en la que no se ha rechazado visualmente ninguna observación y otra hoja denominada "estadisticas_visual_outliers" en la que previamente a los test de Cochran y Grubbs se eliminan estas "excursiones" al considerarlas errores groseros (=valores atípicos = outliers). Las observaciones rechazadas se indican en la columna "Rejected".

Se han eliminado con criterios visuales 9 observaciones del receptor Qstarz:

Parcela 2, Set 1, Repet 1 - Parcela 3, Set 1, Repet 2 - Parcela 4, Set 1, Repet 4
Parcela 2, Set 1, Repet 3 - Parcela 3, Set 2, Repet 2 - Parcela 4, Set 2, Repet 2
Parcela 2, Set 3, Repet 3 - Parcela 3, Set 2, Repet 3 - Parcela 5, Set 1, Repet 1

3.1.2 Tests de Cochran y Grubbs

Estos tests para la detección y rechazo de valores atípicos se realizan de forma encadenada siguiendo el procedimiento publicado por el



JRC. Se han identificado como errores groseros las siguientes observaciones:

- **Trimble ProXR_standalone:**

Parcela 2, Set 5 → Grubbs en medias de Set → Set 5 es outlier, rechazado (4 observaciones).

Parcela 3, Set 4 → Cochran → straggler → Grubbs en observaciones individuales → No hay outliers, no se rechaza.

- **Trimble ProXR_postproceso**

Parcela 5, Set 6 → Cochran → outlier → Grubbs en observaciones individuales → Se rechaza Repet 2.

- **Holux:**

Parcela 1, Sets 6 y 8 → Grubbs for 2 outlying means → straggler → según el esquema, solo se rechazan si son outliers, por tanto se mantienen.

Parcela 2, Set 1 → Cochran → outlier → Grubbs en observaciones individuales → Ninguna observación individual es outlier, por lo tanto se rechaza todo el Set 1.

Parcela 5, Set 6 → Grubbs en medias de Set → Set 6 es outlier, rechazado (4 observaciones).

- **Qstarz:**

Parcela 2, Set 3 → Cochran → outlier → Grubbs en observaciones individuales → Repet 1 outlier, se rechaza.

Parcela 4, Set 1 → Cochran → straggler → Grubbs en observaciones individuales → No hay outliers, no se rechaza.

Parcela 4, Set 1 → Grubbs en medias de Set → Set 1 es outlier, rechazado (4 observaciones).

Parcela 5, Set 4 → Cochran → straggler → Grubbs en observaciones individuales → No hay outliers, no se rechaza.

- **Qstarz_visual_outliers:**

Parcela 4, Set 2 → Grubbs en medias de Set → straggler → no se rechaza.

Parcela 5, Sets 3 y 6 → Grubbs for 2 outlying means → straggler → según el esquema, solo se rechazan si son outliers, por tanto se mantienen.



Parcela 5, Set 4 → Cochran → outlier → Grubbs en observaciones individuales → Ninguna observación individual es outlier, por lo tanto se rechaza todo el Set 4.

*Las observaciones rechazadas y el motivo se indican en la columna "Rejected" de la tabla "estadísticas", para cada equipo. También se almacenan las observaciones rechazadas en la variable "outliers" de los archivos *.sav de SPSS.*

3.2 Análisis de la influencia de diferentes factores (ANOVA).

Todos los cálculos de ANOVA (Análisis de Varianza) se realizaron con SPSS v.15, teniendo en cuenta que la **variable dependiente** escogida es la siguiente relación $(\text{Area_medida} - \text{Area_referencia}) / \text{perímetro_referencia}$, equivalente a una tolerancia aproximada. Se calcula esta variable pues así se permite la agrupación de todas las observaciones posibles y la comparación entre distintas parcelas.

Al efectuar el ANOVA, se verifica el supuesto de homocedasticidad (igualdad de varianzas) con el test de Levene. El ANOVA es robusto frente a pequeñas desviaciones respecto a la normalidad, pero es muy sensible respecto a la falta de homocedasticidad. En caso de no pasar el test de Levene se evalúa la significación del ANOVA utilizando el Test de Welch, que es robusto frente a la falta de homocedasticidad.

Para cada equipo se evaluaron 4 factores: Parcela, Operador (excepto para Trimble Pro XR puesto que solo existe un operador), Conjunto (Set) y Dirección o sentido (horario, antihorario). Si un factor es significativo (valor $p < 0.05$) indica que alguno de los niveles o tratamientos de dicho factor difiere significativamente del resto. Esto implica que deberían calcularse por separado para cada nivel de dicho factor el límite de reproducibilidad R y tolerancia final. En cualquier caso, por practicidad y porque el objetivo final del trabajo es asignar una tolerancia única al receptor independientemente de las características de la parcela a controlar, se opta por agrupar todos los datos en el cálculo de la tolerancia final.



ANOVA Test		Dependent variable = (Area meas -Area ref)/ Perimeter ref			
Equipo	Factor	Levene Test Homocedasticity (p value)	Rejected	ANOVA Significance (p value)	Observations
ProXR_standalone	Parcel	0.049	NO (Welch)	0.001 (Welch)	Significant
	Operator			not evaluated	Only 1 operator
	Set	0.083	NO	0.689	No significant
	Direction	0.262	NO	0.001	Significant
ProXR_postproceso	Parcel	0.098	NO	0.000	Significant
	Operator			not evaluated	Only 1 operator
	Set	0.775	NO	0.738	No significant
	Direction	0.184	NO	0.091	No significant
Holux	Parcel	0.187	NO	0.130	No significant
	Operator	0.141	NO	0.000	Significant
	Set	0.467	NO	0.000	Significant
	Direction	0.118	NO	0.008	Significant
Qstarz	Parcel	0.184	NO	0.046	Significant
	Operator	0.012	YES	0.595	not evaluated
	Set	0.046	NO	0.981 (Welch)	Not Significant
	Direction	0.663	NO	0.000	Significant
Qstarz_visual_outliers	Parcel	0.106	NO	0.020	Significant
	Operator	0.282	NO	0.066	No significant
	Set	0.461	NO	0.509	No significant
	Direction	0.715	NO	0.000	Significant

Figura 15. Tabla resumen de resultados del Análisis de Varianza

A la vista de los resultados, podemos resumir que en general se cumple el supuesto de igualdad de varianzas (Test de Levene), en casi todos los casos, siendo significativos los siguientes factores:

- Trimble ProXR_standalone: El factor Parcela y el factor Dirección son significativos.
- Trimble ProXR_postproceso: El factor Parcela es significativo.
- Holux: Los factores Operador, Conjunto y Dirección son significativos.
- Qstarz: Los factores Parcela y Dirección son significativos, el factor Operador no se evalúa pues no pasa el test de Levene y tampoco se puede utilizar el Test de Welch.
- Qstarz_visual_outliers: Los factores Parcela y Dirección son significativos.

En resumen, en casi todos los equipos el factor **Parcela** es significativo, lo cual obligaría a hacer estimaciones de límite de Reproducibilidad y tolerancia separadas para cada tipo de parcela (basadas



por ejemplo en una función dependiente del tamaño y forma). Otro factor que también es significativo en casi todos los equipos es la **Dirección**, lo cual indica que sería conveniente a la hora de realizar un control hacer al menos 2 mediciones de cada parcela en sentidos contrarios para corregir este sesgo.

3.3 Verificación de ausencia de sesgo en el área (T-Student)

Se ha verificado la ausencia de sesgos significativos con una comparación de la media de las observaciones y la superficie de referencia usando la distribución T de Student para cada receptor.

• Holux y Qstarz:

Aplicando el test T de Student la diferencia entre la media del área medida y el área de referencia no es significativa para ninguna parcela en estos 2 equipos. Por lo tanto se asume que la media es equivalente al área de referencia y los cálculos subsiguientes de tolerancia son válidos.

Solo en una parcela para el equipo Holux es significativa al 95% de valor crítico, pero no significativa al 99%, con lo que se considera válida.

• Trimble ProXR standalone y postproceso:

Para el caso de ambos equipos, aplicando el test T de Student, las 5 parcelas presentan diferencias significativas en la media respecto al área de referencia (medida con GPS doble frecuencia en RTK-VRS, con precisión de ± 2 cm), siendo el sesgo en todos los casos muy parecido y siempre por debajo del valor de referencia.

Esto implica que no se puede hacer la asunción de que $\text{Area_referencia} = \text{Area_medida}$, con lo que los cálculos de la reproducibilidad R y tolerancia (basados en el Area_medida) no serían válidos y debería de corregirse el modelo. Aun así, se ha calculado dicha tolerancia.

Se revisaron todos los posibles factores que pueden afectar a este sesgo sin encontrar una explicación:

- La configuración de la libreta Asset Surveyor v5 no tiene activado ningún desfase de eje para la medición de áreas, ni ningún factor de escala en el sistema de coordenadas.
- Exportando las mediciones (shape) desde Pathfinder Office 4.0 en distintos sistemas de coordenadas (WGS84, ETRS89, ED50) no hay cambios en el área medida.



- Exportando con la versión de Pathfinder 2.9 no hay cambios en el área medida.
- Se han recalculado las superficies de los shapefiles con ArcGIS, obteniendo resultados muy semejantes a los obtenidos con GPS Pathfinder Office.
- No existen dudas sobre el área de referencia debido el rigor de la medición, la precisión del equipamiento empleado y la falta de sesgo en las observaciones de los equipos Holux y Qstarz.

En el caso de validar la tolerancia final propuesta para Trimble ProXR standalone y postproceso, la solución propuesta sería aplicar una corrección que corrija dicho sesgo, basada en la alta correlación entre el tamaño de la parcela y dicho sesgo, como se aprecia en el gráfico para el Trimble ProXR standalone. La corrección al área medida sería:

- Para ProXR standalone:
$$\text{Area(m)} = 62.053 + 1.007 * \text{Area_medida}$$
- Para ProXR postproceso:
$$\text{Area(m)} = 64.767 + 1.007 * \text{Area_medida}$$

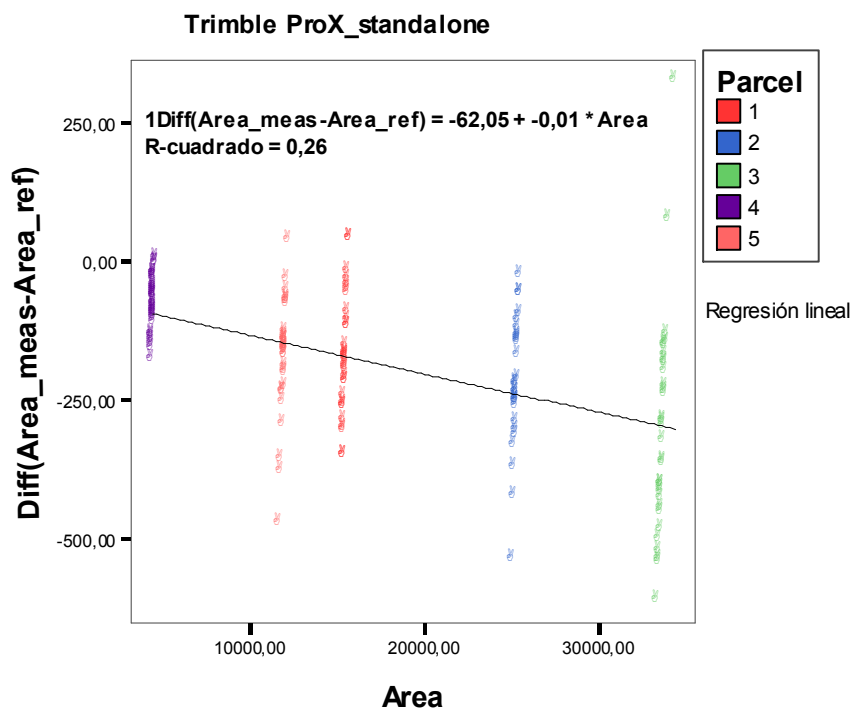


Figura 16. Gráfico con la regresión lineal para el cálculo del escalado de las observaciones de Trimble Pro XR en modo autónomo



Todos los análisis estadísticos para cada configuración se encuentran detallados en la pestaña "estadísticas" de cada fichero (ej: Mediciones_Estadisticas_ProXR_postpro.xls), incluyendo los test de ausencia de sesgo.

3.4 Cálculo de tolerancia aproximada

Se ha calculado una tolerancia media aproximada aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Tolerancia aproximada} = 2.8 \times \sqrt{(\sum V^2 / n)}$$

Donde $V = (\text{SUPmedida} - \text{SUPpreferencia}) / \text{PERIMETROreferencia}$

Los valores para el caso de Holux y Qstarz coinciden como era de esperar con la tolerancia final, no así los de Trimble ProXR en sus dos variantes, debido a las diferencias significativas en la media respecto al área de referencia, como se ha comentado en el apartado anterior.

Equipo	Parcela (por tamaño)	4	5	1	2	3	Desv típica	Media
	Area_referencia(m2)	4608.2	12221.7	15700.1	25538.5	33990.1		
	Perimetro_referencia(m)	296.3	464.0	780.6	720.4	764.9		
	Forma	normal	normal	elongada	normal	normal		
ProXR_standalone	Tolerancia_aprox	0.84	1.21	0.71	0.97	1.31	0.25	1.01
ProXR_postproceso	Tolerancia_aprox	0.88	1.37	0.73	1.02	1.39	0.29	1.08
Holux	Tolerancia_aprox	1.18	0.74	1.11	0.94	0.68	0.22	0.93
Qstarz	Tolerancia_aprox	1.34	1.04	0.85	1.46	1.09	0.24	1.16
Qstarz_visual_outliers	Tolerancia_aprox	1.02	0.69	0.85	1.28	0.98	0.22	0.96

Figura 17. Resultados de tolerancia aproximada

3.5 Cálculo de Reproducibilidad - Tolerancia final

Se ha calculado una tolerancia final única para cada receptor siguiendo el anexo de cálculo de límite de reproducibilidad publicado por el JRC. Como se ha mencionado en el ANOVA, hay factores significativos, como la forma o la superficie de la parcela, que deberían ser considerados para aplicar diferentes tolerancias. Pero puesto que el objetivo de la validación es asignar una tolerancia final única para ser aplicada a las mediciones realizadas con cada modelo de equipo en los procedimientos de controles sobre el terreno, se proponen los siguientes valores:



	Parcelas					Desv típica	Media	Tolerancia Final propuesta
	4	5	1	2	3			
Area_referencia(m2)	4608.2	12221.7	15700.1	25538.5	33990.1			
Perimetro_referen(m)	296.3	464.0	780.6	720.4	764.9			
Forma	normal	normal	elongada	normal	normal			
R / Perimetro_ref ProXR_standalone	0.45	0.62	0.38	0.49	0.71	0.13	0.53	0.75
R / Perimetro_ref ProXR_postproceso	0.51	0.76	0.40	0.59	0.75	0.16	0.60	0.75
R / Perimetro_ref Holux	1.18	0.78	1.09	1.00	0.70	0.20	0.95	1.25
R / Perimetro_ref Qstarz	1.50	1.06	0.90	1.39	1.12	0.24	1.19	1.50
R / Perimetro_ref Qstarz_visual_outliers	0.98	0.75	0.90	1.25	0.96	0.18	0.97	1.25

Figura 18. Tabla resumen con las tolerancias calculadas por parcela y la final propuesta (se usa punto como separador decimal)

4 Conclusiones

- El postproceso de código para el Trimble ProXR no mejora la tolerancia por lo que a priori no tiene sentido realizar corrección diferencial de sus datos.
- El equipo Qstarz con los valores atípicos eliminados en la fase previa de examen visual (Qstarz_visual_outliers) mejora considerablemente la tolerancia puesto que en los tests de Cochran y Grubbs estos valores atípicos pueden quedar enmascarados. En cualquier caso el receptor cumple las especificaciones de tolerancia final menor de 1,50m aún sin eliminar estos outliers visuales.
- Debe de realizarse un escalado de las mediciones de áreas realizadas con el equipo Trimble Pro XR para eliminar los sesgos encontrados. El cálculo de la tolerancia final para estos equipos arroja unos resultados mejores que la tolerancia aproximada, lo cual era lo esperado, ya que en los cálculos del límite de reproducibilidad (R) no interviene el área de referencia.
- Todos los equipos cumplen con la tolerancia exigida en los reglamentos, mejor de 1,50 m, por lo que pueden ser empleados en los controles sobre el terreno:



Media	Tolerancia Final propuesta
ProXR_standalone	0,75
ProXR_postproceso	0,75
Holux	1,25
Qstarz	1,50
Qstarz_visual_outliers	1,25

Figura 19. Tolerancia final calculada en la validación

5 Contenido del anejo de datos en formato digital

- *Memoria_Validacion_ProXR_Qstarz_Holux_ITACyL_2011.pdf* Versión digital de este informe.
- \Fotos\ Fotografías que documentan las parcelas y el proceso de medición.
- \Mediciones_Estadísticas\ Directorio con mediciones, estadísticas y cuadros resumen:
 - *Mediciones_estadísticas_*.xls* Ficheros de Microsoft Excel con las mediciones y estadísticas detalladas de cada equipo.
 - **.sav* Datos estadísticos en formato SPSS de cada equipo.
 - *Resumen_tolerancia.xls* Fichero resumen de los test del ANOVA, tolerancia aproximada y tolerancia final.
 - *Resumen_caracteristicas_equipos.xls* Fichero resumen con las características de cada equipo.
- \Ortofotos\ Ortofotografía en formato .tif georreferenciada, incluye todas las parcelas.
- \Parcelas_referencia\ Directorio con coordenadas, precisiones y gráficos parcelas de referencia.
 - *Coords_*.txt* Ficheros de coordenadas y precisiones de los puntos de cada parcela referencia.
 - *Parcelas_*.dwg* Fcheros Autocad con las parcelas de referencia.
 - *shp_todas_mediciones_acad2000.dwg*, Fchero en formato Autocad2000 con todas las mediciones de todos los equipos, más las parcelas de referencia, con atributos.
- \ProXR_Pathfinder\ Directorio con las mediciones y cálculos en Pathfinder Office 4.0 para el del Trimble ProXR:



- \Raw_data\ Directorio con los datos brutos importados de la libreta.
- \Postprocessed_data\ Directorio con los datos postprocesados de código.
- \Export_standalone\ Directorio con los datos exportados sin postprocesar.
- \Export_postpro\ directorio con los datos exportados de postproceso.
- \SHP\ Directorio con ficheros *.shp de parcelas de referencia y mediciones de todos los equipos.

6 Bibliografía

- GNSS equipment - validation protocol - Wikicap [WWW Document], 2011. . URL http://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/index.php/GNSS_equipment_validation
- Hejmanowska, B., Oszczak, S., Ciećko, A., 2005. Validation of methods for measurement of land parcel areas FINAL REPORT.
- ISO TC 69/SC 6/WG 8, 2003. Practical guide to ISO 5725-2:1994 – Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2 : Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method (Technical Report No. ISO/TR 22971).
- Kay, S., Sima, A., 2009. Area measurement validation scheme, JRC Technical Notes. JRC- IPSC, European Commission.
- Kerdiles, H., Ganisheva, K., 2010. GPS validation: statistical analysis according to ISO 5725-2. Presented at the GPS workshop 2010, JRC, European Commission, Montpellier.
- Sima, A., 2008. Poster: Validation of GNSS receivers: step by step. Presented at the 14th Mars Annual Conference: "Geomatics in support of the CAP," JRC, IPSC, Ljubljana, Slovenia.
- Sima, A., 2009. Validation of GNSS receivers: step by step. Presented at the Control Methods Workshop 2009 campaign, JRC, European Commission.