



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE AGRIMENSURA



# Propuesta de Actualización del Vuelo Fotogramétrico Nacional

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA POR

Paula Caram, Nathalia Centi, Mauricio Goyetche

PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO/A AGRIMENSOR/A.

TUTOR

Ing. Agrim. Prof. Luis Alberto Calderón Ruiz

Montevideo  
Setiembre de 2021

## Página de Aprobación

El Tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba el Proyecto de grado:

“PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO NACIONAL”

Autores: Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche

Tutor: Ing. Agrim. Prof. Luis Alberto Calderón Ruiz

Carrera: Agrimensura

Puntaje: .....

Tribunal:

Profesor ..... (Nombre y firma)

Profesor ..... (Nombre y firma)

Profesor ..... (Nombre y firma)

Fecha: 27 de setiembre, 2021.

## Agradecimientos

Al tutor del presente proyecto, Prof. Ing. Agrim. Luis Alberto Calderón por su invaluable apoyo, disposición, por el humor que siempre aportó a las reuniones en un mundo virtual y por último -pero no menos importante-, por la propuesta del tema. Si nos encontramos en otro proyecto, prometemos mejorar el rubro “alimentación”.

Al docente que tiene un lugar muy especial en nuestros corazones, Ing. Agrim. Hebenor Bermúdez, que siempre fue un referente cuando de educación se trata, y todos sus aportes a este trabajo no fueron la excepción. Gracias por tu tiempo, tu dedicación, la buena onda, la capacidad de organización de lo propio y de lo ajeno y tu compromiso con la enseñanza. Es un gusto poder trabajar contigo.

A nuestras familias, pilares fundamentales en todos estos años de estudio, siendo parte de cada momento.

A Mauri por su calma de siempre, a Nathi y Paula por lo contrario. Haber vivido una de las etapas más importantes juntos/as es inolvidable. ¡Este equipo se queda en el corazón!

Por último, a nuestros amigos/as y compañeros/as, de vida y de estudio; por los mates, las charlas, la contención y el amor. Sin ellos/as, las largas horas de estudio y trabajo no hubieran sido lo mismo.

A todos/as, ¡GRACIAS TOTALES!

# Índice

<b>Página de Aprobación</b>	<b>2</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>3</b>
<b>Palabras clave</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>13</b>
<b>2. Objetivo General</b>	<b>14</b>
<b>3. Objetivo Específico</b>	<b>14</b>
<b>4. Objetivos Operacionales</b>	<b>14</b>
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>15</b>
5.1. Ortofotografía . . . . .	15
5.2. Naturaleza de los Datos Geográficos . . . . .	17
5.3. Modelo Digital de Elevación . . . . .	19
5.4. Calidad . . . . .	20
5.5. Metadatos . . . . .	21
<b>6. Recursos Utilizados</b>	<b>22</b>
<b>7. Metodología Propuesta</b>	<b>23</b>
<b>8. Desarrollo de la Metodología Propuesta</b>	<b>25</b>
8.1. Estudio de Antecedentes . . . . .	25
8.1.1. Sensores . . . . .	27
8.1.2. Sistema Geodésico empleado . . . . .	28
8.1.3. Puntos de Apoyo . . . . .	28
8.1.4. Control de calidad . . . . .	29
8.1.5. Procesamiento Post Vuelo . . . . .	30
8.2. Recopilación de Medidas de Calidad consideradas por IDEuy para el VFN . . .	32
8.3. Selección de Medidas de Calidad Aplicables a los Productos de la Actualización	36
8.4. Descripción detallada de las Medidas de Calidad elegidas . . . . .	39
8.4.1. Índice de instancias de los objetos geográficos distintos . . . . .	39

<i>Proyecto de Grado Agrimensura</i>	5
8.4.2. Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual . . . . .	40
8.4.3. Índice de conflictos en la estructura física . . . . .	44
8.4.4. Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta . . . . .	44
8.4.5. Estándar NSSDA (National Standard for Spatial Accuracy) . . . . .	45
8.5. Validación de la Propuesta en diferentes productos obtenidos mediante vuelos UAV	48
8.6. Ajuste radiométrico de ortoimágenes . . . . .	69
<b>9. Exposición de Resultados</b>	<b>73</b>
9.1. Informe de Calidad . . . . .	73
9.1.1. Unidad de Calidad: Cobertura Nacional . . . . .	73
9.1.2. Unidad de Calidad: Cobertura Urbana . . . . .	88
9.2. Metadatos . . . . .	105
9.3. Recomendaciones para vuelos que cumplan con los estándares de calidad propuestos	119
<b>10. Análisis Crítico e Interpretación</b>	<b>128</b>
<b>11. Conclusiones</b>	<b>144</b>
<b>12. Bibliografía</b>	<b>147</b>
<b>13. Glosario</b>	<b>149</b>
<b>14. Anexos</b>	<b>151</b>
14.1. Scripts empleados para evaluación de calidad . . . . .	151
14.2. Cálculos de estándar NSSDA . . . . .	163

## Palabras clave

- Vuelo Fotogramétrico Nacional (VFN)
- Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEuy)
- Ortoimagen
- Modelo Digital de Superficie (MDS)
- Modelo Digital de Terreno (MDT)
- *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)
- Calidad de datos geográficos

## Índice de figuras

1.	Ortorectificación. . . . .	16
2.	Ejemplo de un Modelo Digital de Terreno, elaborado a partir del vuelo UAV en la zona de Crece Flor de Maroñas. Fuente: elaboración propia. . . . .	19
3.	Ejemplo de un Modelo Digital de Superficie, elaborado a partir del vuelo UAV en la zona de Crece Flor de Maroñas. Fuente: elaboración propia. . . . .	20
4.	Drone Phantom 4 RTK. Fuente: DJI. . . . .	22
5.	Interfaz del visualizador de la IDEuy. . . . .	25
6.	Camara Ultracam Eagle Prime. . . . .	27
7.	Recomendación para la distribución espacial de los puntos de control / Fuente: extraída de “Positional Accuracy Handbook- Minnesota Planning”. . . . .	45
8.	Zona de estudio: Crece Flor de Maroñas. . . . .	49
9.	Zona de estudio: Neptunia, Departamento de Canelones. . . . .	50
10.	Zona de estudio: Neptunia, Departamento de Canelones. . . . .	51
11.	Mauricio, Nathalia y Paula realizando los vuelos UAV en la zona del balneario Neptunia. . . . .	51
12.	Mosaico de Modelos digitales de superficie. . . . .	53
13.	Corte de MDS . . . . .	54
14.	Ajuste de tamaño de píxel . . . . .	54
15.	Ráster diferencia entre MDS actualizado y MDS de VFN. . . . .	55
16.	Ráster valor absoluto de la diferencia entre el MDS del Vuelo 1 Crece Flor de Maroñas y el MDS de IDEuy. . . . .	56
17.	Raster que clasifica los píxeles que superan o no el valor umbral de cambio en la cota. . . . .	57
18.	Remuestreo de ortoimágen. . . . .	59
19.	Resultado control de resolución espacial para ortoimagen. . . . .	60
20.	Ortoimágen con valores nulos . . . . .	63
21.	Puntos homólogos Vuelo 1. . . . .	66
22.	Puntos homólogos Vuelo 2. . . . .	66
23.	Puntos homólogos Vuelo 3. . . . .	67

24.	Ortomosaico en colores originales luego del procesamiento en Pix4D, en contraste con la imagen de IDEuy. . . . .	69
25.	Ortomosaico en colores originales luego del procesamiento en Pix4D cargado en Paint.net. . . . .	70
26.	Ortomosaico en colores corregidos, luego de la aplicación del ajuste de color. . .	71
27.	Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 2 (Neptunia) . . . . .	76
28.	Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 3 (Neptunia) . . . . .	77
29.	Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 2 (Neptunia) .	77
30.	Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 3 (Neptunia) .	78
31.	Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 2 (Neptunia) . . . . .	78
32.	Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 3 (Neptunia) . . . . .	79
33.	Resultado de la Calidad Visual: Temporalidad - Vuelo 2 (Neptunia) . . . . .	79
34.	Resultado de la Calidad Visual: Empalme - Vuelo 3 (Neptunia) . . . . .	80
35.	Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 2 (Neptunia) . . . . .	80
36.	Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 3 (Neptunia) . . . . .	81
37.	Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas”	91
38.	Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas” . . . . .	91
39.	Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas”	92
40.	Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas”	92
41.	Cuantificación de cambios con valor umbral 0.30 m. . . . .	128
42.	Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura para umbral de 0,30 m.	129
43.	Ejemplo de zonas de deformaciones en los bordes del ortomosaico del vuelo Crece Flor de Maroñas. . . . .	130
44.	Cuantificación de cambios en buffer de 70 m del vuelo Crece Flor de Maroñas. .	131
45.	Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, luego de buffer a 70 m.	131
46.	Cuantificación de cambios con valor umbral 1,30 m. . . . .	133
47.	Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, para umbral de 1.30 m.	134
48.	Cuantificación de cambios para valor umbral de 0,50 m. . . . .	137
49.	Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, para umbral de 0,50 m.	137



50.	Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas”	140
51.	Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 2 (Neptunia) . . . . .	141
52.	Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 3 (Neptunia) . . . . .	141
53.	Control de resolución espacial de ortoimagen con OSGeo4W Shell. . . . .	151

## Índice de cuadros

1.	Resumen de información técnica del proyecto. . . . .	26
2.	Resumen de información de cobertura aérea nacional y urbana . . . . .	26
3.	Período de ejecución del proyecto. . . . .	26
4.	Criterios utilizados para la generación del MDT para las coberturas Nacional y Urbana. . . . .	31
5.	Criterios utilizados para la generación de ortoimágenes digitales para las coberturas Nacional y Urbana. . . . .	31
6.	Selección de Medidas de Calidad Aplicables a los Productos de la Actualización entre las utilizadas para el VFN. . . . .	39
7.	Elementos buscados . . . . .	43
8.	Parámetros utilizados para la exactitud posicional planimétrica y altimétrica de los productos generados por el VFN. . . . .	46
9.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	74
10.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Calidad Visual, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	76
11.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	82
12.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	83
13.	Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	84
14.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDT de Cobertura Nacional. . . . .	85
15.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDT de Cobertura Nacional. . . . .	86
16.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDT de Cobertura Nacional. . . . .	87

17.	Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDT de Cobertura Nacional. . . . .	88
18.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para ortoimágenes de Cobertura Urbana. . . . .	89
19.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Calidad Visual, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana. . . . .	90
20.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana. . . . .	93
21.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional. . . . .	94
22.	Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana. . . . .	95
23.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDT de Cobertura Urbana. . . . .	96
24.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDT de Cobertura Urbana. . . . .	97
25.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDT de Cobertura Urbana. . . . .	98
26.	Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDT de Cobertura Urbana. . . . .	99
27.	Resultado de la evaluación de Comisión: Índice de Instancias de Objetos Geográficos Distintos, para MDS de Cobertura Nacional. . . . .	100
28.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDS de Cobertura Nacional. . . . .	101
29.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDS de Cobertura Nacional. . . . .	102
30.	Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDS de Cobertura Nacional. . . . .	103

31. Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDS de Cobertura Nacional. . . . .	104
32. Metadatos para Ortofoto - Cobertura Urbana . . . . .	106
33. Metadatos para Ortofoto - Cobertura Nacional - Neptunia . . . . .	108
34. Metadatos para Ortofoto - Cobertura Nacional - Neptunia . . . . .	110
35. Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Urbana . . . . .	112
36. Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Nacional . . . . .	114
37. Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Nacional . . . . .	116
38. Metadatos para el Modelo Digital de Superficie - Cobertura Urbana . . . . .	118
39. Resultados del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas. . . . .	135
40. Resultado corregido del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas. . . . .	136
41. Comparación de porcentaje de píxeles defectuosos. . . . .	142
42. Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas. . . . .	163
43. Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 2: Neptunia. . . . .	164
44. Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 3: Neptunia. . . . .	165
45. Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.	166
46. Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 2: Neptunia. . . . .	167
47. Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 3: Neptunia. . . . .	168
48. Resultados del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas. . . . .	169

## **1. Introducción**

En octubre del año 2019 se termina de ejecutar en Uruguay el “Proyecto de producción y control de Ortoimágenes, Modelos Digitales de Elevación y Cartografía del territorio nacional”, que fuera llevado a cabo por la Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (en adelante IDEuy), organismo de Presidencia de la República, en conjunto con el Consorcio TopoCart - AT, en el que se produjeron y certificaron Ortoimágenes Digitales de toda la cobertura nacional, Modelos Digitales de Terreno y Superficie y Cartografía Básica a escala 1:10.000. Estos productos se almacenan en los Data Center de la Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC). Una de las principales características es que los productos son datos abiertos y se puede acceder a los mismos sin restricciones.

Las imágenes que cubren todo el territorio nacional son multispectrales con una resolución espacial de 32 cm de píxel. Adicionalmente, en más de 80 centros poblados se tomaron imágenes multispectrales con resolución espacial de 10 cm de píxel y con ortorectificación verdadera, como es el caso de Montevideo. Todos los datos cuentan con estrictos controles de calidad y sus correspondientes metadatos.

Para el presente Proyecto de Grado, se pretende elaborar una propuesta de Protocolo de Actualización de los productos de la IDEuy, a partir de información obtenida con vuelos fotogramétricos de menor escala. Una de las motivaciones para realizar este proyecto, son los constantes cambios en el territorio que llevan a que los productos obtenidos mediante un vuelo fotogramétrico, rápidamente estén desactualizados.

## 2. Objetivo General

El objetivo del proyecto de grado de Agrimensura es que el estudiante próximo a egresar pueda materializar su aprendizaje curricular en el diseño, elaboración y ejecución de un proyecto vinculado a la práctica profesional de la carrera de Ingeniero Agrimensor, o en un proyecto de investigación orientado a los aspectos creativos y de desarrollo metodológico.

Es deseable que el proyecto contemple ambos aspectos, y en esta línea deberla el docente director de Proyecto orientar al estudiante.

El proyecto debe incluir en su formulación temas que lo diferencien de una simple aplicación de conocimientos o técnicas adquiridas durante en el desarrollo de la carrera.

## 3. Objetivo Específico

Establecer un procedimiento para la actualización del ortomosaico, el Modelo Digital de Terreno y el Modelo Digital de Superficie del Vuelo Fotogramétrico Nacional a partir de productos obtenidos con tecnología UAV.

## 4. Objetivos Operacionales

1. Proponer un proceso de control que se adapte a los requerimientos de IDEUy, para la recepción y aceptación de ortoimágenes, Modelos Digitales de Terreno y Modelos Digitales de Superficie producto de vuelos con drones para actualizar los productos del VFN.
2. Validar la propuesta del proceso a partir de su aplicación a productos ya generados con la misma tecnología.
3. Generar recomendaciones para relevamientos con drones que cumplan con los requerimientos de IDEUy.

## 5. Marco Teórico

### 5.1. Ortofotografía

El nombre “ortoimagen” u “ortofotografía”, refiere a imágenes que tienen perspectiva ortogonal. Esta distinción es necesaria, dado que las imágenes adquiridas por cámaras convencionales poseen perspectiva central, lo que significa que los rayos de luz provenientes de los diferentes puntos fotografiados, pasan por un solo punto -llamado centro de perspectiva- ubicado en el sistema óptico de la cámara.

La diferencia principal entre ellas, es que una imagen tomada con perspectiva central no puede ser tomada como fuente de información métrica segura, dado que contiene errores causados por la rotación del sensor y desplazamientos por el relieve del terreno, que son inherentes a la perspectiva cónica.

Sin embargo, en una proyección con perspectiva ortogonal, los rayos se proyectan desde la región fotografiada, paralelos entre sí, generando una imagen final que carece de desviaciones o distorsiones en relación con el relieve y por lo tanto puede tomarse como documento cartográfico.

De todas formas, la perspectiva central está presente en los fenómenos ópticos que rigen el mundo real, dado que el ojo humano, las fuentes de luz y las cámaras pueden tomarse como centros para varios haces que parten de ellas, por lo tanto es posible convertir esta perspectiva a una ortogonal, mediante una transformación denominada ortorrectificación.



**Figura 1:** Ortorectificación.

Si bien se conocen tres modelos para llevar a cabo una ortorrectificación, hoy en día el más difundido y por el cual se obtienen mejores resultados, se denomina *Rectificación Diferencial*. Esta técnica parte de la base de que la imagen digital se compone de una matriz de elementos rectangulares denominados píxeles, de los cuales se conoce su tamaño, su posición en la imagen y el valor que tienen asociado en la escala de grises.

Luego se define otra matriz vacía sobre el terreno cuyos píxeles tienen la dimensión equivalente a un píxel en la realidad del terreno y se determinan las coordenadas tridimensionales del centro de cada uno de ellos, a partir de un Modelo Digital de Elevaciones almacenado en la misma estructura que la imagen (estructura raster de una matriz) y referido a un sistema de coordenadas en el que luego se obtendrá la imagen rectificada.

A partir de las coordenadas obtenidas, por medio de las ecuaciones de colinealidad (parámetros de orientación exterior conocidos), se definen las coordenadas en el espacio imagen de este punto, obteniéndose finalmente el píxel y su nivel de gris, que es remuestreado en la imagen vacía. Es por ello que se dice que para la producción de ortoimágenes se requieren imágenes con perspectiva conocida (orientadas) y un Modelo Digital de Elevaciones.



Los otros modelos que se utilizan son la *Transformación Afín*, que es un método aproximado y simple, que se aplica cuando el centro de perspectiva se encuentra considerablemente lejos del terreno fotografiado (como por ejemplo imágenes orbitales de media o baja resolución) y la *Transformación Proyectiva*, también un método aproximado, que se utiliza en casos en que la región a fotografiar es muy plana.

## 5.2. Naturaleza de los Datos Geográficos

Las fotografías aéreas fueron el primer producto de los sistemas de teledetección y uno de los parámetros principales que definen sus propiedades son las diferentes resoluciones. Éstas establecen el nivel de detalle de los productos que el sistema genera y dependen de las características del sensor y de la plataforma donde opera.

Se pueden distinguir cuatro diferentes resoluciones:

1. La *Resolución Espacial* refiere al nivel de detalles visibles en una imagen e indica la dimensión del objeto más pequeño que puede distinguirse. En líneas generales es el equivalente al tamaño de píxel, es decir, a la dimensión real que un píxel de la imagen tiene sobre el terreno; cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital, mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial. También depende de la capacidad resolutive del sensor y las características de la plataforma, tales como la altura a la que se sitúa.
2. Todo sensor cubre una región particular del espectro y almacena imágenes en determinados rangos de longitudes de onda denominados bandas. De esta forma, la *Resolución Espectral* se define por la región del espectro electromagnético abarcada y el número de bandas espectrales registradas por un sensor. Cuanto más estrechas son estas bandas, mayor es la resolución espectral, ya que cada banda cubre un rango de frecuencias de menor amplitud. De este modo, la información de dos frecuencias cercanas puede separarse, ya que éstas son recogidas en bandas distintas, mientras que si el número de bandas es menor, las frecuencias cercanas pertenecen a la misma banda y no se puede hacer distinciones, por lo tanto la resolución espectral será menor.

En función del número de bandas, se pueden clasificar las imágenes y los sensores que

las generan. Una imagen en blanco y negro contiene una única banda. Las imágenes en color contienen tres bandas, correspondientes a las frecuencias del rojo, el verde y el azul. Existen igualmente sensores con algunas bandas adicionales -como la del infrarrojo-, que en total generan un número de bandas no superior a diez. Todas estas imágenes se conocen como multiespectrales.

3. Para cada una de las bandas que produce un sensor (asociada a una determinada región del espectro según su resolución espectral), el dato recogido, que constituye su Nivel Digital, indica la intensidad correspondiente a esa región. Por lo tanto, la *Resolución Radiométrica* hace referencia al número de niveles digitales utilizados para expresar los datos recogidos por el sensor. El número de niveles digitales distintos que pueden recogerse es la medida de la resolución espacial, y habitualmente es una potencia de dos (de la forma  $2^n$ ).

Tanto las imágenes en blanco y negro como las imágenes en color trabajan con 256 ( $2^8$ ) niveles, ya que este es el valor más cercano al número de diferentes intensidades que el ojo humano puede diferenciar. No obstante, los sensores de teledetección pueden tener una mayor resolución radiométrica (hasta 1024 o 2048 niveles), que si bien no se aprecia en la representación visual, sí suponen una diferencia en el tratamiento analítico de esos niveles digitales.

4. Finalmente, la *Resolución Temporal* indica el tiempo que tarda el sensor en volver a tomar una imagen de una misma zona. Tiene sentido en el caso de sensores orbitales, que funcionan por ciclos, y tras concluirlo vuelven a comenzar la toma de imágenes en el mismo punto. Esta resolución depende de la altura a la que se encuentra la plataforma donde se monta el sensor, así como de la resolución espacial.

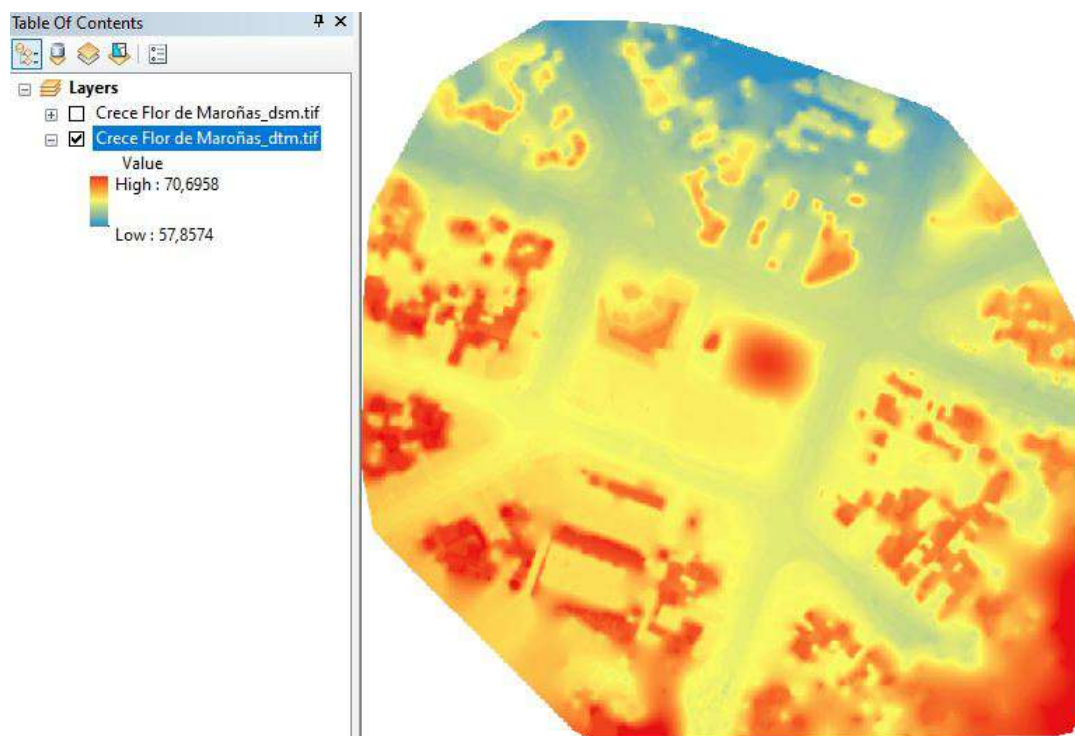
A la hora de utilizar imágenes obtenidas por teledetección, se debe considerar qué tipo de resolución resulta de mayor interés para el proyecto que se lleva a cabo, teniendo en cuenta la escala de trabajo o el objetivo final que se persigue con el análisis a realizar, entre otros factores. En base a esto, se escogerá una u otra resolución por encima de las demás, que ofrezca los valores más adecuados en conjunto.

### 5.3. Modelo Digital de Elevación

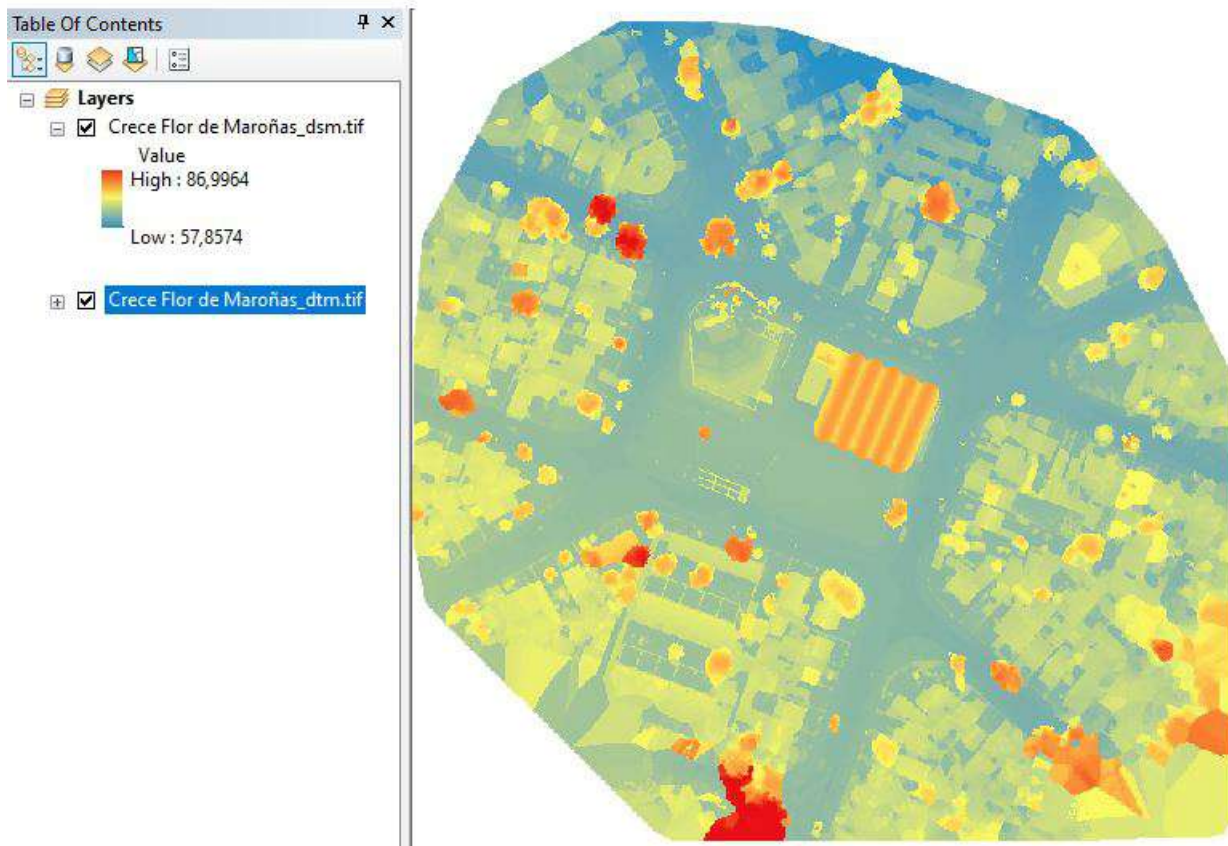
Un modelo digital de elevación (MDE) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Este modelo engloba a los Modelos Digitales de Terreno y a los Modelos Digitales de Superficie.

Mediante la restitución fotogramétrica de las imágenes se pueden obtener dos productos básicos, que son los Modelos Digitales de Superficie y ortomosaicos georreferenciados; sin embargo, a partir de la discretización de la nube de punto se pueden obtener Modelos Digitales de Terreno.

En la actualidad el MDE constituye un medio para lograr la representación del relieve muy versátil y funcional, ya que a partir del mismo no solo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (a través de un MDT), sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (a través de los MDS). Por lo tanto, éste último representa todos y cada uno de los elementos existentes en la superficie de la tierra como ser; vegetación, edificaciones y el terreno propiamente; mientras que el MDT recrea la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos antrópicos, y son muy prácticos en estudios topográficos e hidrológicos.



**Figura 2:** Ejemplo de un Modelo Digital de Terreno, elaborado a partir del vuelo UAV en la zona de Crece Flor de Maroñas. Fuente: elaboración propia.



**Figura 3:** Ejemplo de un Modelo Digital de Superficie, elaborado a partir del vuelo UAV en la zona de Crece Flor de Maroñas. Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Calidad

Según la Norma ISO 9000, la calidad es el grado con el que un conjunto de características inherentes cumple ciertos requisitos, entendiéndose por requisito la necesidad o expectativa establecida inicialmente, generalmente implícita u obligatoria.

En el ámbito de la información geográfica, su importancia radica en el uso que se le dé a los datos y la confiabilidad de las fuentes de información, entre otras. Por ende, la calidad en la información geográfica es el grado en el cual las propiedades de un producto geográfico, cumplen con los requisitos establecidos en la especificación técnica. Esta última es la descripción detallada de una serie de datos o conjunto de datos con información adicional que permite crearlos, proveerlos y usarlos.

Uno de los principios básicos de la calidad es que existen dos perspectivas: la del productor y la del usuario o cliente. El productor valida los resultados con los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas, mientras que el usuario selecciona los datos que mejor se ajusten a su

necesidad.

Se debe tener en cuenta que la elección de un cierto producto depende principalmente de los diferentes usuarios y las diferentes exigencias sobre la calidad; por esto, tener información sobre la misma es un factor decisivo para su utilización.

El procedimiento de evaluación de la calidad parte de un conjunto de datos del cual se identifica un elemento de calidad aplicable, el subelemento y el ámbito o alcance. Posterior a esto, se identifica una medida de calidad de los datos y luego se selecciona y aplica un método de evaluación de la calidad, determinando así un resultado de la misma.

Teniendo en cuenta las especificaciones del producto -requisitos del usuario-, las cuales brindan la información del nivel de conformidad de la calidad, se puede determinar la misma.

Por último se genera un informe del resultado de la evaluación de calidad, que establece su conformidad o no conformidad.

## **5.5. Metadatos**

Los metadatos son fichas técnicas que proporcionan mecanismos de descripción, selección y análisis del uso de la información, a partir de diversos criterios. Un registro de metadatos es un archivo que contiene la información mínima necesaria para identificar un recurso; describe los atributos y contenidos de un producto principal.

Una de las principales ventajas de los metadatos es que proporciona información que permite la rápida y confiable ubicación del producto para su posterior manejo.

Para determinar la procedencia de un conjunto de datos geográficos en un campo de aplicación específico, los usuarios necesitan conocer quién lo creó, quién lo mantiene, y su escala y exactitud, entre otros. Dicho conocimiento contribuye en última instancia a determinar la interoperabilidad de los datos y su capacidad de compartirse e integrarse en diversos sistemas.

En este sentido, el uso de los metadatos reduce considerablemente la producción de datos duplicados y permite mantener actualizada la información referente a dichos datos; gracias a ellos, los datos se encuentran disponibles para cualquier tipo de aplicación.

## 6. Recursos Utilizados

Para la realización del presente proyecto se utiliza un vehículo aéreo no tripulado (UAV) DJI Phantom 4 rtk que posee el Instituto de Agrimensura de Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.



**Figura 4:** Drone Phantom 4 RTK. Fuente: DJI.

Este dispositivo cuenta con un sensor de tipo CMOS -debido a su forma de detectar la luz con tecnología de “semiconductor complementario de óxido metálico” o por sus siglas en inglés, *complementary metal-oxide-semiconductor-*, de 1 pulgada, con píxeles efectivos de 20 Mega píxeles y un sensor gran angular de 24 mm, con un campo de visión de 84°.

Está equipado con un filtro de vidrio azul para ofrecer una calidad de imagen mejorada, además de contar con una lente con protección contra rayos ultravioletas.

Tiene un rango de sensibilidad que varía desde ISO 100 hasta 6400 para la captura de imágenes y hasta 12800 para la captura de videos.

Puede tomar fotografías a velocidades desde 1/8000 hasta 8 segundos con un tamaño máximo de 4864 x 3648 píxeles para formato 4:3 y 5472 x 3648 para formato 3:2. Tiene una apertura de diafragma que oscila entre f/2.8 hasta f/11 mm.

Cuenta con un gimbal de 3 ejes, que proporciona una plataforma estable para la cámara adjunta, lo que le permite capturar imágenes y videos claros y estables. El rango controlable del ángulo de inclinación es de -90° a +30°.

Tiene dos modos de operación, el Modo de Seguimiento, donde el ángulo entre la orientación del gimbal y el frente de la aeronave permanece constante en todo momento; y el Modo FPV, por sus siglas en inglés *First Person View*, donde el gimbal se sincroniza con el movimiento de la aeronave para proporcionar una experiencia de vuelo con perspectiva en primera persona.

## 7. Metodología Propuesta

A continuación, se resumen las tareas a llevar a cabo para cumplir tanto con el objetivo general, como con los objetivos específicos citados al inicio del presente documento.

1. Atendiendo al objetivo general de este trabajo, de “establecer un procedimiento para la actualización del ortomosaico, el MDT y el MDS del Vuelo Fotogramétrico Nacional a partir de productos obtenidos con tecnología UAV”, inicialmente se realizará una búsqueda bibliográfica del tema, específicamente haciendo foco en el estudio de las características intrínsecas del VFN, sus requisitos iniciales, el procedimiento llevado a cabo y ciertos estándares que se deberían cumplir si se quiere proponer una actualización del mismo.
2. En línea con el objetivo de “proponer un proceso de control que se adapte a los requerimientos de la IDEuy”, se hace una recopilación de las diferentes medidas de calidad utilizadas para evaluar los productos finales del VFN, a partir del documento de la IDEuy “Calidad de la Información Geográfica”.

En dicho documento, se establece un listado exhaustivo de las medidas de calidad más utilizadas, además del Modelo de Calidad de Datos Geográficos, que se enmarca dentro del Modelo de Calidad de Datos de Gobierno elaborado por la Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC), donde se definen distintos niveles para agrupar las características de la calidad.

Considerando que los productos generados en una posible actualización difieren de los obtenidos por la IDEuy, tanto en su concepción como en sus objetivos, se eligen, entre los controles utilizados por el organismo, los más apropiados para evaluar los nuevos productos que se pretenden incorporar.

3. Posteriormente, para cumplir con el objetivo de validar la propuesta del proceso, se toman diferentes vuelos fotogramétricos realizados con tecnología UAV, los que se someten a los controles de calidad seleccionados, con la finalidad de obtener conclusiones de lo propuesto.
4. Habiendo realizado la evaluación anterior, se está en condiciones de generar recomendaciones para que las organizaciones y personas interesadas en poner a disposición sus vuelos realizados con tecnología UAV, puedan cumplir con las características propuestas y por lo

tanto con estándares de calidad que se ajustan a los de la IDEuy, pudiendo ser potenciales proveedores de información.

5. Luego, atendiendo a la presentación visual de los datos generados, se propone la opción de un ajuste radiométrico de la imagen actualizada, con el fin de que se ajuste visualmente al ortomosaico de la IDEuy.
6. Finalmente se confecciona un Informe de Calidad, que reúne todas las evaluaciones realizadas y los resultados obtenidos en las mismas, con el objetivo de poner la información a disposición de los potenciales usuarios, permitiendo la evaluación caso a caso de si el producto generado se adapta o no a sus requerimientos.



## 8. Desarrollo de la Metodología Propuesta

### 8.1. Estudio de Antecedentes

Entre enero del año 2017 y junio del año 2018, la Infraestructura de Datos Espaciales del Uruguay (IDEuy), organismo de Presidencia de la República Oriental del Uruguay que se encarga de facilitar el acceso a la información geográfica en el país, a través de un consorcio entre la empresa brasileña Topocart y la uruguaya AT, llevo a cabo un proyecto para la adquisición, procesamiento y distribución de imágenes digitales y productos derivados de éstas, de toda la cobertura nacional.



**Figura 5:** Interfaz del visualizador de la IDEuy.

A partir del análisis de las especificaciones exigidas al proveedor de los datos, especialmente los requerimientos de calidad, diferentes coberturas solicitadas y especificaciones para los productos generados, se logra conocer en profundidad todas las etapas en las que consistió el proceso, el resultado final de los productos y los estándares utilizados. A continuación, se listan sus principales características:

Información Técnica	Cobertura Nacional	Cobertura Urbana
Área	178.290 $km^2$	1.235 $km^2$
Escala Mapeamiento	1:10.000	1:1.000
Resolución Espacial Ortomosaico	0,32 m	0,10 m
Resolución Espacial MDE	0,32 m	0,10 m
Resolución Espacial MDS	No Aplica	0,10 m
Exactitud (x,y) - 95 % de confiabilidad	1,00 m	0,20 m
Exactitud (z) - 95 % de confiabilidad	1,50 m	0,30 m

**Cuadro 1:** Resumen de información técnica del proyecto.

Información Cobertura Aérea	Planeada		Ejecutada	
	Nacional	Urbana	Nacional	Urbana
Resolución Espacial	0,32 m	0,10 m	0,32 m	0,10 m
Superposición Lateral	30 %	60 %	30 %	60 %
Superposición Longitudinal	60 %	80 %	60 %	80 %
Número de Fajas	424	263	424	263
Longitud Total	40.327 km	2.594 km	49.748 km	2.833 km
Ancho de la Faja	7367 m	2302 m	7367 m	2302 m
Número de Fotos	21.729	9033	26.542	9.866
Número de Modelos	21.305	8770	26118	9603

**Cuadro 2:** Resumen de información de cobertura aérea nacional y urbana

Información Cobertura Aérea	Nacional	Urbana
Fecha de Inicio	21/01/2017	10/06/2017
Fecha de Conclusión	22/06/2018	20/06/2018
Horas Totales (de vuelo)	365,40 hs	131.20 hs

**Cuadro 3:** Período de ejecución del proyecto.

### 8.1.1. Sensores

Para el recubrimiento aerofotogramétrico, la empresa ejecutora del proyecto empleó la cámara digital de gran formato *UltraCam-Eagle Prime*, cuyas características se mencionan a continuación:

Fabricada por Vexcel Imaging, está equipada con tecnología *Flight Management System (FMS)* denominado *X-Track*, que asiste a la tripulación en todas las tareas durante la cobertura aérea.

Utiliza un conjunto de 13 sensores *Charge Coupled Device (CCD)* que captura imágenes de 23.010 x 14.790 píxeles (340 mega píxeles), con una resolución geométrica de 4.6 micrómetros. Esto le permite capturar imágenes aéreas con una resolución real de hasta 2 cm.



**Figura 6:** Camara Ultracam Eagle Prime.

La cámara se acompaña de dos unidades de almacenamiento con redundancia de grabación de datos y capaz de almacenar hasta 7.500 imágenes.

Los sensores de la cámara permiten capturar imágenes en cinco bandas; Pancromática, Rojo, Verde, Azul e Infrarrojo Cercano de 16 bits.

El sistema de compensación de arrastre se lleva a cabo íntegramente por medios electrónicos, a través de dispositivos *Time Delayed Integration (TDI)*.

La plataforma giro-estabilizadora en la que se montaron las cámaras es fabricada por la empresa Leica (modelo PAV-80). Esta plataforma se utiliza para compensar los movimientos de la aeronave durante el vuelo fotogramétrico hasta una velocidad de  $10m/seg$  y una aceleración de hasta  $300m/seg^2$ .

Por otra parte, la plataforma permite la corrección de la desviación de la información de datos del sistema inercial causado por los vientos laterales, la reducción de los efectos del vuelo y, de

esta manera logra garantizar una mejor estabilidad de las fajas de vuelo.

La cámara utilizada durante la adquisición de las fotografías fue gestionada por el software X-Track y el método adoptado para la colecta de datos fue el de Orientación Integrada de Sensores (*Integrated Sensor Orientation - ISO*).

### **8.1.2. Sistema Geodésico empleado**

Los sistemas de referencia empleados se distinguen entre:

1. Planimétrico: Sirgas-Rou 98, elipsoide de referencia GRS80, con proyección UTM 21S y 22S.
2. Altimétrico: Modelo geoidal EGM2008. La determinación de las altitudes Geométricas de los vértices, fue hecha a través de posicionamiento geodésico por receptores GNSS de doble frecuencia, L1 y L2.

En ambos casos, se utilizaron las estaciones permanentes REGNA-ROU del Instituto Geográfico Militar y además se implementaron 37 nuevas, siendo 5 de ellas físicas y 32 virtuales.

### **8.1.3. Puntos de Apoyo**

El sistema de apoyo se compone de los puntos utilizados en la etapa de aerotriangulación en conjunto con los puntos de control de calidad de campo, utilizados para el análisis posicional de los datos cartográficos.

Con una técnica de vuelo apoyada en receptores GNSS, se consigue determinar las coordenadas tridimensionales precisas de los centros perspectivos de cada fotografía, realizando el ajuste de los modelos durante el proceso de aerotriangulación, lo que permite reducir el número de puntos de apoyo, aumentando la eficiencia y la calidad del proceso.

Para la cobertura nacional fueron tomados 115 puntos de apoyo en campo y para la cobertura urbana un total de 431, de cada uno de los cuales fue generada una monografía detallada conteniendo sus datos relevantes.

#### 8.1.4. Control de calidad

Todo conjunto de datos que contenga algún tipo de información, como es el caso de la información geográfica, debe tener asociado un control de calidad para chequear que se cumpla con los estándares requeridos. El conjunto de datos entregados por Topocart a la IDEuy no es la excepción, por lo que el organismo elaboró controles a través de procesos automatizados como manuales.

Se llevaron a cabo controles de calidad internos a partir del levantamiento, procesamiento y ajuste de los productos generados, utilizando los puntos de apoyo de campo. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Verificación de los equipamientos:
  - Control de tipo, marca, modelo, modelo de antena y código del equipamiento utilizado.
  - Control del perfecto funcionamiento de los equipos.
- Ejecución de los trabajos de campo:
  - Evaluación de la localización de las estaciones permanentes de la Red Geodésica Nacional utilizadas como referencia.
  - Evaluación de la localización de los vértices a ser implementados en el apoyo terrestre.
- Datos obtenidos en la colecta de los puntos:
  - Verificación de los archivos recibidos (fotos de campo, croquis, archivo GNSS).
  - Control de la conversión de los archivos RINEX.
  - Control de los archivos organizados en los escritorios.
  - Verificación de los cuadernos de campo.
- Reprocesamiento y ajuste:
  - Validación de los vectores a través de un informe de procesamiento y ajuste.
  - Verificación de los resultados obtenidos para el cumplimiento de las normas técnicas.
  - Validación a través del informe de ajuste.

- Verificación a través de test condicionales, de las precisiones de todas las coordenadas.
- Datos técnicos:
  - Análisis de los procedimientos metodológicos seguidos, en cumplimiento de las normas técnicas.
  - Validación de los productos generados.
- Monografías:
  - Verificación de los itinerarios utilizando Google Earth.
  - Verificación de la coherencia de los textos generados.
  - Verificación de las fotos de campo y localización.
- Informe técnico de Apoyo Terrestre:
  - Análisis de los procedimientos metodológicos realizados, en cumplimiento de las normas técnicas y el plan de trabajo.

#### 8.1.5. Procesamiento Post Vuelo

Los datos grabados durante el vuelo fueron extraídos y procesados en el software POSPAC, que posee una solución integrada GNSS/IMU. Utilizando la solución GNSS y el filtro de Kalman, al final del proceso, fueron obtenidos los elementos de orientación exterior  $(X, Y, Z)$  de los centros perspectivos y los ángulos  $(\omega, \Phi, \kappa)$  para cada imagen, con alta precisión.

Para el procesamiento de las imágenes, se dividen los archivos que componen una imagen de alta resolución en; 9 imágenes pancromáticas obtenidas por cada sensor CCD, 3 imágenes RGB, 1 infrarroja y 7 archivos de información de las imágenes. Para este proceso, se utiliza el software específico de Microsoft Vexcel denominado UltraMap.

Luego del tratamiento de imágenes, fueron producidos los índices de fotografías por bloque (foto índice), a través de la composición de fotografías aéreas que fueron numeradas secuencialmente y montadas conforme a superposiciones longitudinales y laterales en dirección a la línea de vuelo.

Posteriormente, el Modelo Digital de Terreno fue generado a través del software Match-T de Inpho, destinado a la elaboración de modelos digitales automáticos por intermedio de algoritmos

de correlación. Sus características son las siguientes:

Información Técnica	Cobertura Nacional	Cobertura Urbana
Área	178.290 $km^2$	1.235 $km^2$
Escala Mapeamiento	1:10.000	1:10.000
Resolución Espacial de las imágenes	0,32 m	0,10 m
Intervalo Malla Regular de Puntos	2,50 m	1,00 m
Exactitud (z) - 95 % de confiabilidad	1,50 m	0,30 m

**Cuadro 4:** Criterios utilizados para la generación del MDT para las coberturas Nacional y Urbana.

El Modelo Digital de Superficie se confecciona solamente para áreas urbanas, a partir de la correlación de píxeles que utilizan el software UltraMap con referencia de 1 punto/píxel para generar True Ortofotos. Tienen las siguientes características:

- La nube de puntos MDS tiene una densidad horizontal de 100 puntos/ $m^2$  y se genera automáticamente a partir del algoritmo de correlación de software UltraMap.
- Se proporciona el MDS en formato vectorial \*.LAS y en formato ráster \*.GeoTiff.

Las ortoimágenes fueron obtenidas a partir de la corrección de las distorsiones presentes en las fotografías aéreas, incluido el que surge de las variaciones del relieve, teniendo como objetivo re-proyectar la escena de una fotografía que se encuentra en la proyección cónica, en una nueva imagen, ahora en proyección ortogonal. Para la generación de ortofotos fueron necesarias tres fuentes de datos esenciales: imágenes, elementos de orientación exterior (aerotriangulación) y Modelo Digital de Terreno. Sus características son las siguientes:

Información Técnica	Cobertura Nacional	Cobertura Urbana
Área	178.290 $km^2$	1.235 $km^2$
Escala Mapeamiento	1:10.000	1:10.000
Resolución Espacial	0,32 m	0,10 m
Exactitud (z) - 95 % de confiabilidad	1,00 m	0,20 m

**Cuadro 5:** Criterios utilizados para la generación de ortoimágenes digitales para las coberturas Nacional y Urbana.

## 8.2. Recopilación de Medidas de Calidad consideradas por IDEuy para el VFN

En línea con el objetivo de “proponer un proceso de control que se adapte a los requerimientos de la IDEuy”, se hace una recopilación de las diferentes medidas de calidad que fueron utilizadas para evaluar los productos finales del VFN, a partir del documento de la IDEuy “Calidad de la Información Geográfica”.

Con el objetivo de facilitar el proceso de evaluación de la calidad de datos geográficos por diferentes actores, en el documento se establecen:

- El Modelo de Calidad de Datos Geográficos, que proviene del Modelo de Calidad de Datos de Gobierno de la Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC) y definen niveles para agrupar las características de la calidad:
  - Dimensión: conjunto de características de calidad que refieren a una misma propiedad de alto nivel del dato. Por ejemplo, Exactitud de la Información Geográfica.
  - Subdimensión: subconjunto de características de la calidad que pertenecen a una Dimensión determinada. Por ejemplo, la exactitud temática es una subdimensión de la exactitud de la Información Geográfica. Solo se utiliza cuando la cantidad de factores amerita un nuevo agrupamiento.
  - Factor: característica de calidad de una propiedad específica del dato. Por ejemplo, Corrección de la clasificación es un Factor comprendido en la Subdimensión “Exactitud Temática” de la Dimensión “Exactitud de la Información Geográfica”.
- Un listado de las medidas de la calidad más utilizadas para dichos elementos.

A continuación, se enumeran las dimensiones existentes junto a las medidas de calidad dadas para cada una de ellas, según el documento mencionado.

1. Completitud de la Información Geográfica: dimensión de la calidad que define la presencia o ausencia de instancias de objetos geográficos. Sus factores asociados son:
  - a) Comisión: define el grado en que las instancias de los Objetos Geográficos presentes



en el conjunto de datos, no se encuentran en el universo de discurso. Sus medidas son las siguientes:

- 1) Índice de instancias de los objetos geográficos excedentes.
  - 2) Número de instancias de los objetos geográficos repetidas.
2. Omisión: define el grado en que las instancias de los objetos geográficos del universo de discurso no están en el conjunto de datos, considerando sus atributos y relaciones. Para el control de calidad llevado a cabo por la IDEuy se evalúa este elemento y la medida utilizada es la siguiente:
- a) Índice de instancias de los objetos geográficos omitidas.
3. Consistencia de la Información Geográfica: define el grado en que los objetos geográficos, atributos o relaciones están libres de contradicción y son coherentes en un contexto específico de uso.

Para este conjunto de datos, se define la Subdimensión Consistencia Lógica, como el grado de incumplimiento del conjunto de datos con las reglas lógicas de las estructuras de datos, atributos y relaciones. Los factores son:

- a) Consistencia Conceptual: define el grado de incumplimiento del conjunto de datos con las reglas del esquema conceptual correspondiente. Se mide mediante:
  - 1) Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual.
- b) Consistencia de Formato: define el grado en que los datos se almacenan de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos. La medida utilizada es:
  - 1) Índice de conflictos en la estructura física.
- c) Consistencia Topológica: define el grado en que las características topológicas codificadas explícitamente son correctas. Las medidas utilizadas son:
  - 1) Índice de fallos en conexiones de nodos de enlace.
  - 2) Índice de conexiones omitidas por subtrazos.
  - 3) Índice de conexiones omitidas por sobretazos.

- 4) Número de polígonos ficticios no válidos.
  - 5) Índice de errores por autointersecciones no válidas.
  - 6) Índice de errores por auto superposiciones no válidas.
- d) Consistencia Temporal: define el grado en que es correcto ordenar los eventos. La medida que se utiliza es:
- 1) Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta.
4. Exactitud de la Información Geográfica: dimensión que define el grado en que los atributos de las instancias de los objetos geográficos representan correctamente el valor verdadero o considerado como tal en un contexto específico. Se definen las siguientes subdimensiones:
- a) Exactitud Posicional: define el grado de exactitud de la posición de los objetos geográficos en un determinado sistema de referencia espacial. Sus factores son:
- 1) Exactitud Absoluta o externa: Define el grado de proximidad de los valores de las coordenadas reportados con los valores verdaderos o aceptados como tales. Sus medidas se clasifican en tres tipos:
    - a' Medidas generales de errores posicionales:
      - Valor medio de los errores posicionales
      - Sesgo de las posiciones
      - Índice de errores posicionales mayores a un umbral
    - b' Medidas de errores posicionales verticales:
      - Medidas básicas aplicables a las medidas de Exactitud circular con distintos niveles de significación
      - Medidas básicas aplicables: Exactitud circular: Estándar, probable, al 90
      - Error cuadrático medio de la planimetría
      - Error circular absoluto al 90 % de nivel de significación de datos con sesgo.
      - Elipse de incertidumbre

- 2) Exactitud relativa o interna: define el grado de proximidad de las posiciones relativas de objetos geográficos de un conjunto de datos con sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como tales. Sus medidas son:
  - $a'$  Error posicional vertical relativo o interno
  - $b'$  Error posicional horizontal relativo o interno
- b) Exactitud Temática: define el grado de exactitud de los atributos cuantitativos y la corrección tanto de los atributos no cuantitativos como de las clasificaciones de los objetos geográficos y sus relaciones. Sus factores son:
  - 1) Corrección de la clasificación: define si son correctas las clasificaciones realizadas comparando las clases asignadas al objeto geográfico o a sus atributos con el universo de discurso. Las medidas son:
    - $a'$  Índice de clasificaciones correctas
    - $b'$  Matriz de confusión
    - $c'$  Matriz de confusión relativa
    - $d'$  Coeficiente Kappa
  - 2) Corrección de atributos no cuantitativos: define si son correctos los valores de los atributos no cuantitativos de un objeto geográfico. La medida utilizada es:
    - $a'$  Índice de valores de atributos no cuantitativos correctos.
  - 3) Exactitud de atributos cuantitativos: define que tan correctos son los valores de los atributos cuantitativos de un objeto geográfico. La medida que se utiliza es:
    - $a'$  Medidas básicas aplicables a las medidas de incertidumbre del valor del atributo con distintos niveles de significación; 50
- c) Exactitud Temporal: define el grado de exactitud de las mediciones de tiempo.
  - 1) Se utilizan medidas básicas aplicables a las medidas de exactitud temporal con distintos niveles de significación; 50

### 8.3. Selección de Medidas de Calidad Aplicables a los Productos de la Actualización

Dado que uno de los objetivos de este trabajo es la propuesta de un proceso de control que se adapte a los requerimientos de la IDEuy, tanto para la recepción y aceptación de ortoimágenes, Modelos Digitales de Terreno y Superficie, y considerando que los productos generados en una posible actualización difieren de los obtenidos por la IDEuy -tanto en su concepción como en sus objetivos-, a continuación se eligen los elementos y las medidas para evaluar los nuevos productos que se pretenden incorporar.

1. **Completitud de la Información Geográfica:** esta dimensión de la calidad, que define la presencia o ausencia de instancias de objetos geográficos, se asocia con la *Comisión* y *Omisión* de objetos geográficos del conjunto de datos.

- **Comisión:** se define como el grado en que las instancias de los objetos geográficos que forman parte del conjunto de datos, no se encuentran en el universo de discurso.

Sus medidas son el “Índice de instancias de los objetos geográficos excedentes” y el “Número de instancias de los objetos geográficos repetidas”.

**Omisión:** se define como el grado en que las instancias de los objetos geográficos del universo de discurso no están presentes en el conjunto de datos, considerando sus atributos y relaciones.

Sus medidas de calidad son: “Índice de ítems omitidos” y “Número de ítems omitidos”.

Se elige adaptar las medidas de Comisión y Omisión a una nueva medida de calidad, que cuantifique las diferencias entre el producto existente y el producto de la actualización, sin importar si en este último se agrega o falta información que ya existía.

Por lo tanto se utiliza como medida para evaluarla, el “Índice de instancias de los objetos geográficos distintos”.

Este proceso de cuantificación de cambios se considera de gran utilidad ya que permite aceptar o rechazar un producto ofrecido; por ejemplo si éste no supera cierto valor de

porcentaje de cambios, no será de utilidad si se trata de una actualización cartográfica; en caso contrario se acepta y se pone a disposición de los usuarios.

2. **Consistencia de la Información Geográfica:** para esta dimensión se define una subdimensión llamada Consistencia Lógica, que es el grado de incumplimiento del conjunto de datos con las reglas lógicas de las estructuras de datos, atributos y relaciones. A continuación se listan sus medidas y se justifica su uso

a) Consistencia Conceptual: define el grado de incumplimiento del conjunto de datos con las reglas del esquema conceptual correspondiente. Se mide mediante el "Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual".

Dentro de esta medida, se encuentra la posibilidad de evaluar características como la resolución espacial, la resolución espectral, balance radiométrico, el sistema de referencia, la calidad visual, presencia de píxeles defectuosos o los niveles digitales, por lo tanto se selecciona dentro de los factores a evaluar. Estas características fueron evaluadas por la IDEuy y se entiende que es pertinente evaluarlas para los productos que van a actualizar los generados por el VFN.

b) Consistencia de Formato: define el grado en que los datos se almacenan de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos y la medida utilizada es el "Índice de conflictos en la estructura física".

Este es uno de los factores que se utiliza para evaluar el nuevo conjunto de datos, porque sirve para detectar -en la recepción del producto- los conjuntos que tengan una extensión de formato adecuado para el manejo de los datos y ciertas especificaciones que sirven a los posibles proveedores a la hora de poner a disposición sus vuelos, como por ejemplo los metadatos.

c) Consistencia Temporal: define el grado en que es correcto ordenar los eventos. Este factor también se utiliza dentro de la evaluación de los nuevos productos, a partir del "Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta".

Como en este caso se trabaja con la idea de actualizar los productos hoy en día disponibles, es deseable que los mismos sean de fechas posteriores a la captura de

información realizada durante el VFN.

3. **Exactitud de la Información Geográfica:** esta dimensión define el grado en que los atributos de las instancias de los objetos geográficos representan correctamente el valor verdadero o considerado como tal.

a) **Exactitud Posicional:** define el grado de exactitud de la posición de los objetos geográficos en un determinado sistema de referencia espacial.

Este es uno de los factores que se decide evaluar, dado que los productos de la IDEuy pasan por rigurosos procesos de control de su calidad posicional y se cree que cualquier producto que se genere, debe tener, como mínimo, un nivel de calidad similar al mencionado.

Haciendo referencia a la definición citada para la exactitud de la información geográfica, “grado en que los atributos de las instancias de los objetos geográficos representan correctamente el valor verdadero o considerado como tal”, se toma como “verdad” todos los productos que se tienen disponibles en la IDEuy, y la calidad posicional se evalúa a partir de ésta.

Teniendo en cuenta que la exactitud va a ser evaluada contra una fuente de datos que se va a considerar como absoluta decimos que ésta es una evaluación de la exactitud posicional absoluta.

Para evaluar este elemento se utiliza como medida el National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), aplicado tanto para la calidad posicional planimétrica como altimétrica, el cual es uno de los estándares de control más utilizados, que además no acepta o rechaza sino que determina la calidad posicional.

A los efectos de resumir toda la información, se adjunta la siguiente tabla, donde se resumen todas las dimensiones, factores y medidas de calidad a evaluar en los productos de la actualización:

Selección de Medidas de Calidad Aplicables a los Productos de la Actualización		
Dimensión	Factor	Medida
Consistencia de la Información Geográfica	Comisión y Omisión	Índice de instancias de los objetos geográficos distintos
	Consistencia Conceptual	Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual
	Consistencia de Formato	Índice de conflictos en la estructura física
Exactitud de la Información Geográfica	Consistencia Temporal	Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta
	Exactitud Posicional	Estándar NSSDA (National Standard for Spatial Accuracy)

**Cuadro 6:** Selección de Medidas de Calidad Aplicables a los Productos de la Actualización entre las utilizadas para el VFN.

## 8.4. Descripción detallada de las Medidas de Calidad elegidas

A continuación se describen detalladamente cómo se evalúan las medidas de calidad seleccionadas.

En particular para algunos controles se utilizan como insumo los procesos automatizados creados por la IDEuy y la empresa Topocart, que funcionan en base a scripts (secuencia de comandos) en el lenguaje informático Python, en el cual se establecen todos los parámetros a calcular del objeto de entrada -en este caso las imágenes-, y se recibe como resultado de conformidad un archivo en formato CSV y TXT.

### 8.4.1. Índice de instancias de los objetos geográficos distintos

Si bien existen diferentes formas de evaluar, detectar y cuantificar cambios, el procedimiento que se plantea, dada la precisión que se necesita y que no es el objeto principal de este trabajo, es realizar una resta entre los valores que contiene el raster de un MDS de referencia y otro raster del que se pretende obtener cuánto cambió.

Este proceso se realiza exclusivamente para vuelos de cobertura urbana, en primer lugar porque es la cobertura para la cual la IDEuy elaboro modelos de superficie, y en segundo lugar porque,

atendiendo a las aplicaciones futuras, este tipo de análisis resultan mucho más provechosos en zonas urbanas, donde la dinámica territorial es más cambiante que en zonas rurales.

#### 8.4.2. Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual

En esta sección se evalúan las siguientes características:

- **Resolución Espacial:** Se define una resolución espacial que sea igual a la que tiene el producto generado del VFN, con el objetivo de recibir material que tenga un tamaño píxel similar a lo que ya ofrece la IDEuy con una tolerancia de 10% . Este control se lleva a cabo a través de un Script desarrollado por IDEuy de forma automática. Se tendrán dos valores de conformidad dependiendo el tipo de cobertura. El procedimiento puede ser utilizado tanto para ortoimágenes como para los modelos digitales de elevaciones.

El control automático consiste en revisar los archivos de las imágenes corregidas o los modelos de elevaciones recibidos en formato *tif* y constatar que el tamaño del píxel está dentro del valor de conformidad.

Los parámetros de entrada del programa son:

- Directorio de archivos *tiff* o *twf* (requerido),
- Directorio de salida (requerido),
- Valor conforme (opcional, por defecto 0.1)
- Desviación del rango conforme (opcional, por defecto 0.1)
- Formato de archivos (opcional, por defecto *tif*)
- Librería a utilizar si formato es *tif* (opcional, por defecto *gdal*),
- Nombre del archivo de salida con los detalles (opcional, por defecto *detalle.csv*),
- Nombre del archivo de salida con el resumen (opcional, por defecto *resumen.txt*),
- Si se debe incluir o no subdirectorios (opcional, por defecto *false*).

El formato de salida del archivo *CSV* es: *nombre del archivo, es conforme, dimensión del píxel, dimensión mínima de conformidad del píxel, dimensión máxima de conformidad del píxel*.



A estos resultados se llega mediante iterar y leer los archivos en formato *.tif* de la carpeta de entrada, verificando si cumplen con el rango de conformidad.

El valor de conformidad es 0.32 metros para las imágenes de la cobertura nacional y 0.10 metros para las imágenes de la cobertura urbana, ambas con una tolerancia del 10%. Para los modelos digitales de elevaciones los valores de conformidad son 2.5 metros para la cobertura nacional y de 1 metro para la cobertura urbana.

- **Resolución espectral:** se verifica que la resolución espectral de los ortomosaicos sea RGB (Rojo, Verde, Azul), mediante una revisión total.

Este control es exclusivo para las imágenes.

Para realizar este control también se utiliza un script automatizado que tiene como insumo de entrada las imágenes corregidas y los parámetros de entrada son:

- Directorio de archivos tif (requerido),
- Directorio de salida (requerido),
- Cantidad de bandas (opcional, valor por defecto 4),
- Nombre del archivo de salida con los detalles (opcional, por defecto *detalle.csv*),
- Nombre del archivo de salida con el resumen (opcional, por defecto *resumen.txt*),
- Si se debe incluir o no subdirectorios (opcional, por defecto *false*).

El formato de salida del archivo CSV es: *nombre del archivo, es conforme, cantidad de bandas*.

- **Sistema de referencia:** se realiza una revisión total de los productos para verificar que el sistema de referencia coincida con el utilizado por la IDEuy; debe ser *EPSG: 5382 UTM 21* o *EPSG:5383 UTM 22*, dependiendo de la zona en que se esté trabajando.

Este control puede ser utilizado para evaluar tanto si las imágenes como los modelos digitales de elevaciones tienen como sistema de referencia los antes mencionados.

Se realiza mediante el control automático, la revisión por muestreo para verificar el sistema de referencia de los raster. A la solución se llega iterando y leyendo las imágenes corregidas

o los modelos de elevaciones cuya extensión son *.tif* y los metadatos con extensión de formato *.xml* de la carpeta de entrada, verificando si es conforme.

Los parámetros de entrada son:

- Directorio de archivos *tif* o *xml* (requerido),
- Directorio de salida (requerido),
- Formato (opcional, valor por defecto *tif*),
- Nombre del archivo de salida con los detalles (opcional, por defecto *detalle.csv*),
- Nombre del archivo de salida con el resumen (opcional, por defecto *resumen.txt*),
- Y, si se debe incluir o no subdirectorios (opcional, por defecto *false*).

El formato de salida del archivo CSV es: *nombre del archivo, es conforme, epsg si formato es tif o valores geogc y projgc si formato es xml*.

- **Niveles digitales:** Se realiza la revisión para verificar los niveles digitales de las imágenes y el parámetro es 8 bits tanto para la cobertura nacional como para la urbana. También se realiza para verificar los niveles digitales de los modelos de elevaciones, utilizando como parámetro 32 bits.

Este control se lleva a cabo utilizando el script desarrollado por IDEuy y a la solución se llega iterando los archivos de las imágenes corregidas o los modelos de elevaciones en formato *tif* de la carpeta de entrada y verificando el tipo de cada banda.

Los parámetros de entrada son:

- Directorio de archivos *tif* (requerido),
- Archivo de salida (requerido),
- Tipo de banda (opcional, valor por defecto 2<sup>1</sup>),
- Nombre del archivo de salida con los detalles (opcional, por defecto *detalle.csv*),
- Nombre del archivo de salida con el resumen (opcional, por defecto *resumen.txt*),

---

<sup>1</sup>Los posibles valores para el tipo de banda son los valores de GDALDataType

- Máxima cantidad de bandas a verificar (opcional, por defecto 4),
- y, si se debe incluir o no subdirectorios (opcional, por defecto *false*).

El formato de salida del archivo CSV es: *nombre del archivo, es conforme, tipo de banda 0, tipo de banda 1, tipo de banda 2, tipo de banda 3.*

- **Calidad visual:** Se desea evaluar la homogeneidad visual entre la ortoimagen de la IDEuy y la generada la actualización. Para ello se realiza una inspección visual para verificar que los productos estén libres de distorsiones o inconsistencias que hayan sido causadas por deficiencias en el MDT o el MDS, a partir de la carga de las imágenes en software GIS. Para evaluar este elemento se realiza la revisión visual por parte de un operario buscando en la imagen los siguientes elementos:

**Cuadro 7:** Elementos buscados

Indentificador	Descripción
N	Nube
B, N, C	Bruma, Niebla, Calima
SA	Sombra de avión
SN	Sombra de nube
PC	Punto Caliente
SE	Sobre exposición
H	Humo
DD	Diferencia de Definición
D	Deformación
T	Temporalidad
LC	Línea de corte
E	Empalme
Fe	Fusión excesiva
O	Otros

Esta revisión se lleva a cabo, para no dejar espacios sin controlar, comenzando por el extremo superior izquierdo, yendo de izquierda a derecha y luego descendiendo, a una escala de 1:600 a 1:800 para la cobertura urbana y de 1:8000 a 1:2200 para la nacional.

- **Radiometría:**

- Píxeles defectuosos.

Se realiza una revisión por muestreo para verificar la presencia de píxeles defectuosos en las imágenes. Se analiza mediante un script propio desarrollado en Python para este fin,

en el cual se busca encontrar el porcentaje de píxeles que la suma de los valores de las tres bandas de la imagen (Rojo, Verde y Azul) sea igual a 0 .

Se establece como medida de conformidad un máximo de 0.5 % píxeles defectuosos por imagen.

### 8.4.3. Índice de conflictos en la estructura física

Este índice se utiliza para evaluar la consistencia de formato, en el cual se establece si la extensión del formato de imagen es correcta.

La evaluación se efectúa con un operario que constata si los archivos cumplen con los requisitos. Se realiza el despliegue del directorio que contiene el conjunto de datos con su estructura de subcarpetas y archivos verificando lo siguiente:

- La extensión del formato sea correcta. Las imágenes deberán tener alguna de las siguientes extensiones de formato: *.tif* / *.jpg*, mientras que los modelos digitales de elevaciones deberán tener la siguiente extensión de formato: *.tif* .
- Cada imagen o modelo digital de elevación tiene su archivo *.tfw*.
- Cada imagen o modelo digital de elevación tiene su archivo asociado de metadatos *.xml*.
- El nombre de cada archivo corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.

Este control se utilizará para evaluar tanto las ortoimágenes como los modelos digitales de terreno y superficie.

### 8.4.4. Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta

Dado que el principal objetivo de este proyecto es trabajar en la actualización de los productos de la IDEuy, es deseable que los que se generen sean de fechas posteriores a la realización del VFN; por lo tanto se toman como válidos los datos que hubiesen sido recabados a partir de junio del 2018, fecha en que se finalizó el relevamiento del VFN.

Para evaluar este elemento se utiliza la medida orden cronológico, el cual indica si un evento está ordenado incorrectamente en relación al resto de los eventos. Para esto se exigirá al productor

de datos la fecha en que fue realizado el vuelo fotogramétrico.

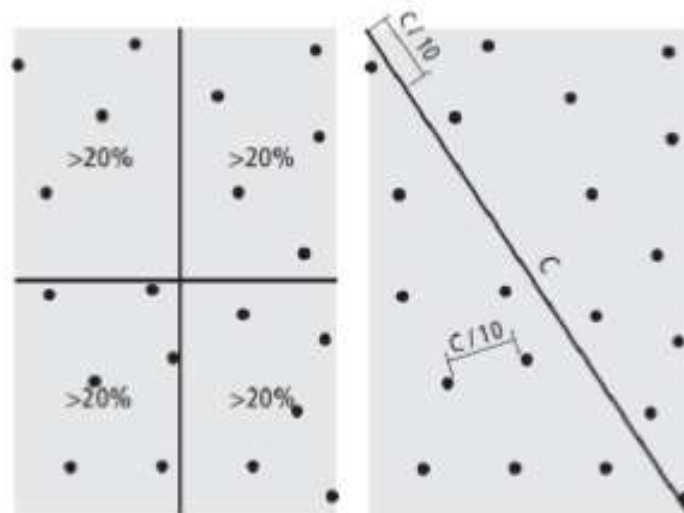
Este control se utilizará para evaluar tanto las ortoimágenes como los modelos digitales de terreno y superficie.

#### 8.4.5. Estándar NSSDA (National Standard for Spatial Accuracy)

El National Standard for spatial Data Accuracy fue desarrollado por *Federal Geographic Data Committee (FGDC)* de EEUU, tomando como base el trabajo realizado por la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)* del mismo país.

Este estándar establece una metodología de evaluación estadística para la exactitud posicional de mapas y datos espaciales. Esta consiste en comparar coordenadas de una muestra de puntos de un cierto conjunto de datos, con coordenadas que provienen de una fuente de mayor exactitud. Para esto se establece que se logra un resultado eficiente utilizando un mínimo de 20 puntos.

Si bien no es un requisito excluyente, se recomienda que la distribución espacial de la muestra en el área de interés, sea tal que la distancia entre los puntos sea igual o mayor a  $1/10$  de la longitud de la diagonal y que se logre al menos un 20% en cada cuadrante.



**Figura 7:** Recomendación para la distribución espacial de los puntos de control / Fuente: extraída de “Positional Accuracy Handbook- Minnesota Planning”.

Para poder aplicar el estándar NSSDA, es necesario que la muestra cumpla determinados requerimientos:

- No deben existir outliers. En caso de hallarse, estos deberán ser eliminados.

- Las variables  $E_x$ ,  $E_y$  deben seguir una distribución normal y ser independientes entre sí.
- El cociente entre la raíz del error cuadrático medio (RMSE) máxima y mínima no podrá ser menor a 0.6 ni mayor a 1.0.

El resultado de la aplicación de este estándar se calcula multiplicando el RMSE (Error Cuadrático Medio) por un valor, que representa la desviación estándar de la media, para un nivel de confianza del 95 %, que será de 1,7038 para la precisión horizontal y 1,9600 en el caso de la precisión vertical.

Con el estándar se desea evaluar la exactitud posicional planimétrica y altimétrica, de las ortoimágenes y los Modelos Digitales de Elevación generados a partir de los vuelos realizados con UAV en las zonas de interés. Tal como se estableció anteriormente, los productos generados son utilizados para la actualización de los producidos por la IDEuy por lo que resulta de interés establecer métodos comparativos entre ellos y la exactitud posicional no es la excepción. Para este caso se toma como fuente de mayor información, a la ortoimagen generada del VFN, tomando como ciertas las coordenadas que de allí surgen.

Para los umbrales de aceptación, se toman como referencia los solicitados por la IDEuy para los mismos productos:

Exactitud Posicional		
	Altimetría	Planimetría
Cobertura Nacional	Exactitud Posicional $\leq 1,5m$	RMSE $\leq 1,0m$
Cobertura Urbana	Exactitud Posicional $\leq 0,3m$	RMSE $\leq 0,20m$

**Cuadro 8:** Parámetros utilizados para la exactitud posicional planimétrica y altimétrica de los productos generados por el VFN.

En el caso de la exactitud posicional planimétrica, dado que el valor se define a partir del estadístico obtenido mediante el estándar NSSDA y la IDEuy define un umbral a partir del RMSE, los parámetros que se exigen son los siguientes:

Cobertura Nacional:

$$\Rightarrow RMSE = \frac{NSSDA}{1,7038} \leq 1$$

$$\Rightarrow NSSDA \leq 1,7038$$

Cobertura Urbana:

$$\Rightarrow RMSE = \frac{NSSDA}{1,7038} \leq 0,20$$

$$\Rightarrow NSSDA \leq 0,3407$$

En el caso de la exactitud posicional altimétrica, se realiza similar procedimiento que para la planimetría pero se modifica el factor multiplicador del RMSE para obtener el valor del Índice NSSDA. Como valor umbral para el RMSE se utiliza el valor de la exactitud posicional que establece la IDEuy para su control.

Cobertura Nacional:

$$\Rightarrow RMSE = \frac{NSSDA}{1,96} \leq 1,5$$

$$\Rightarrow NSSDA \leq 2,94$$

Cobertura Urbana:

$$\Rightarrow RMSE = \frac{NSSDA}{1,96} \leq 0,30$$

$$\Rightarrow NSSDA \leq 0,588$$

## 8.5. Validación de la Propuesta en diferentes productos obtenidos mediante vuelos UAV

Para realizar la validación se utilizan diferentes vuelos fotogramétricos obtenidos a partir de tecnología UAV, cuya principal condición es haber sido realizados en zonas que han sufrido cambios notorios en la actualidad, en comparación con las imágenes que se poseen del vuelo de la IDEuy. Estos vuelos, además, se utilizan como base para el planteo de una metodología final, a emplear en el protocolo de actualización del Vuelo Fotogramétrico Nacional.

Cumpliendo con la característica antes mencionada, se definen dos zonas de interés en las que se realizan un total de tres vuelos, empleando el drone Phantom 4 RTK, que posee el Instituto de Agrimensura:

1. **Complejo cultural y deportivo “Crece Flor de Maroñas”**, ubicado en la ciudad de Montevideo, en el barrio Flor de Maroñas, en la manzana definida por las calles Itazurubí, Ruben Darío, Del Fuerte y Manuel Acuña. En adelante, “Vuelo 1”.

Este proyecto comienza a concebirse en el año 2015 y fue inaugurado el 18 de setiembre del año 2020. Se trata de un complejo de un total de 2650  $m^2$  edificios techados y 1390  $m^2$  de obra exterior.



**ZONA DE ESTUDIO** COMPLEJO CULTURAL Y DEPORTIVO "CRECE FLOR DE MAROÑAS"


ORTOMOSAICO GENERADO POR IDEUY



ORTOMOSAICO GENERADO POR VUELO UAV



**REFERENCIAS**

-  Zona de estudio: "Crece Flor de Maroñas"
- Ortomosaico - Vuelo UAV (Noviembre 2020)
- Mosaico Urbano - IDEUY

**Figura 8:** Zona de estudio: Crece Flor de Maroñas.

2. **Zona ubicada en la localidad de Neptunia**, departamento de Canelones, comprendida por las manzanas catastrales N<sup>o</sup> 316 y 317 de dicha localidad, actualmente ubicadas entre las calles Rambla Brisas del Mar, Rambla del Sauce, Rambla Costanera, y Orillas del plata, al Noreste del Arroyo Pando y al Sureste de la Ruta Interbalnearia. En adelante, "Vuelo 2".

**ZONA DE ESTUDIO** NEPTUNIA - CANELONES


ORTOMOSAICO GENERADO POR IDEUy



ORTOMOSAICO GENERADO POR VUELO UAV



## REFERENCIAS

 Zona de estudio: Neptunia

Ortomosaico - Vuelo UAV (Noviembre 2020)

Mosaico Urbano - IDEUy

**Figura 9:** Zona de estudio: Neptunia, Departamento de Canelones.

- Zona ubicada en la localidad de Neptunia**, departamento de Canelones, comprendida por las manzanas catastrales N<sup>o</sup> 300, 302, 303, 311, 312 y 313 de dicha localidad, actualmente ubicadas entre el Arroyo Pando al Suroeste y las calles Héctor Zunino y Rambla Brisas del Mar. En adelante, "Vuelo 3".



### ZONA DE ESTUDIO NEPTUNIA - CANELONES


ORTOMOSAICO GENERADO POR IDEUy



ORTOMOSAICO GENERADO POR VUELO UAV



#### REFERENCIAS

-  Zona de estudio: Neptunia
- Ortomosaico - Vuelo UAV (Noviembre 2020)
- Mosaico Urbano - IDEUy

**Figura 10:** Zona de estudio: Neptunia, Departamento de Canelones.



**Figura 11:** Mauricio, Nathalia y Paula realizando los vuelos UAV en la zona del balneario Neptunia.

Para estudiar si los productos generados por los vuelos fotogramétricos antes mencionados cumplen con los estándares que estableció la IDEuy para sus productos, se evaluaron las distintas medidas de calidad. Previo a la ejecutar los controles de calidad, puede ser necesario realizar algunas modificaciones a los raster. Los parámetros con los que fueron realizados los vuelos fotogramétricos con el dispositivo UAV no son los mismos que los que utilizó la empresa Topocart en consorcio con AT para el VFN. Por ser de características distintas los dispositivos con los que se recabaron los datos, estos parámetros varían, como son la altura de vuelo, el sensor, los compensadores de vuelo, etc. Los vuelos fotogramétricos realizados con el dispositivo UAV se realizaron a alturas aproximadas entre 70 y 90 metros, sumado al sensor de 20 mega píxeles, resultaron imágenes con una resolución espacial del orden de los 10 centímetros. Como el objetivo del presente trabajo es la actualización de los productos que cuenta la IDEuy, se busca producir datos que sean comparables y fácilmente ensamblables. Es por esto que al tener archivos raster con una resolución espacial distinta a la de los productos del VFN, se debe modificar el tamaño del píxel de estos. Para los ortomosaicos de cobertura urbana el tamaño de píxel deberá ser de 0.10 metros y para los que se pretenda actualizar la cobertura rural de 0.32 metros. Por otra parte los modelos digitales de terreno de la cobertura urbana serán de 1 metro el píxel y para cobertura rural de 2.5 metros. Este procedimiento se realizó con el software Arcmap en su versión 10.8 con la herramienta *Resample*. Los controles a utilizar fueron diseñados por programadores de forma tal que se busque que los valores de conformidad estén dentro de un rango del tamaño del píxel  $\pm 10\%$ . Para la realización de los controles de calidad, por las características de los vuelos realizados con UAV, se decidió considerar el Vuelo 1 como de cobertura urbana y los vuelos 2 y 3 como cobertura nacional dadas las características de la zona, permitiendo abarcar ambas coberturas para el análisis.

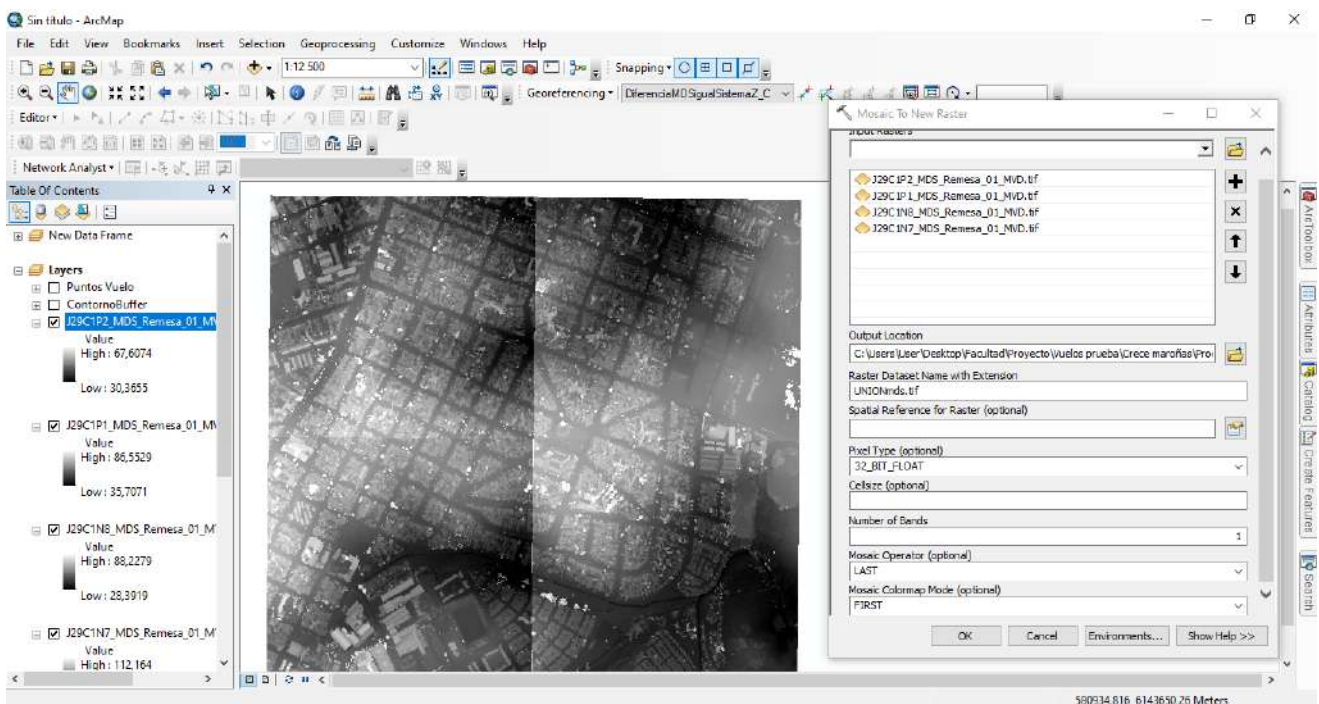
Algunos de los controles de calidad a desarrollarse, se realizan con sistemas automatizados creados en Python. Previamente a ejecutar los script, debe configurarse el ambiente, abriendo y ejecutando el archivo proporcionado por la IDE *set\_env\_cmd.bat* en la Consola.

- **Índice de instancias de los objetos geográficos distintos.**

Para evaluar este elemento se busca comparar los modelos digitales de superficie generados por el VFN y el generado por el vuelo del dispositivo UAV. Para ello los dos raster de los modelos deben ser comparables por lo que en primera instancia deben realizarse algunos

ajustes previo a poder realizar la comparación ya que la herramienta a utilizar es *Raster calculator* del software ArcMap, la cual no funciona a menos que los dos raster que se pretenden cotejar sean de iguales características.

La zona de Flor de Maroñas donde se realizó el vuelo fotogramétrico, está comprendida en más de una imagen de la grilla de imágenes realizada por el VFN, más específicamente en 4, por lo que es necesario crear un solo raster del mosaico de los modelos digitales y para esto se utiliza la herramienta de ArcMap *Mosaic to New Raster* que unifica los modelos digitales, obteniendo un raster con la extensión total de los raster de entrada.



**Figura 12:** Mosaico de Modelos digitales de superficie.

Posteriormente al modelo digital de superficie generado en el VFN se le debe realizar un recorte debiendo obtenerse una extensión igual a la del modelo generado con el vuelo del UAV que es de menor tamaño. Para ello se utiliza la herramienta *Raster Domain* la cual crea una capa shapefile con el polígono exterior del raster. Una vez creado este polígono se realiza el corte del MDS del VFN con la herramienta de ArcMap *Clip*, resultando un raster con exactamente la misma extensión que el que se pretende comparar.



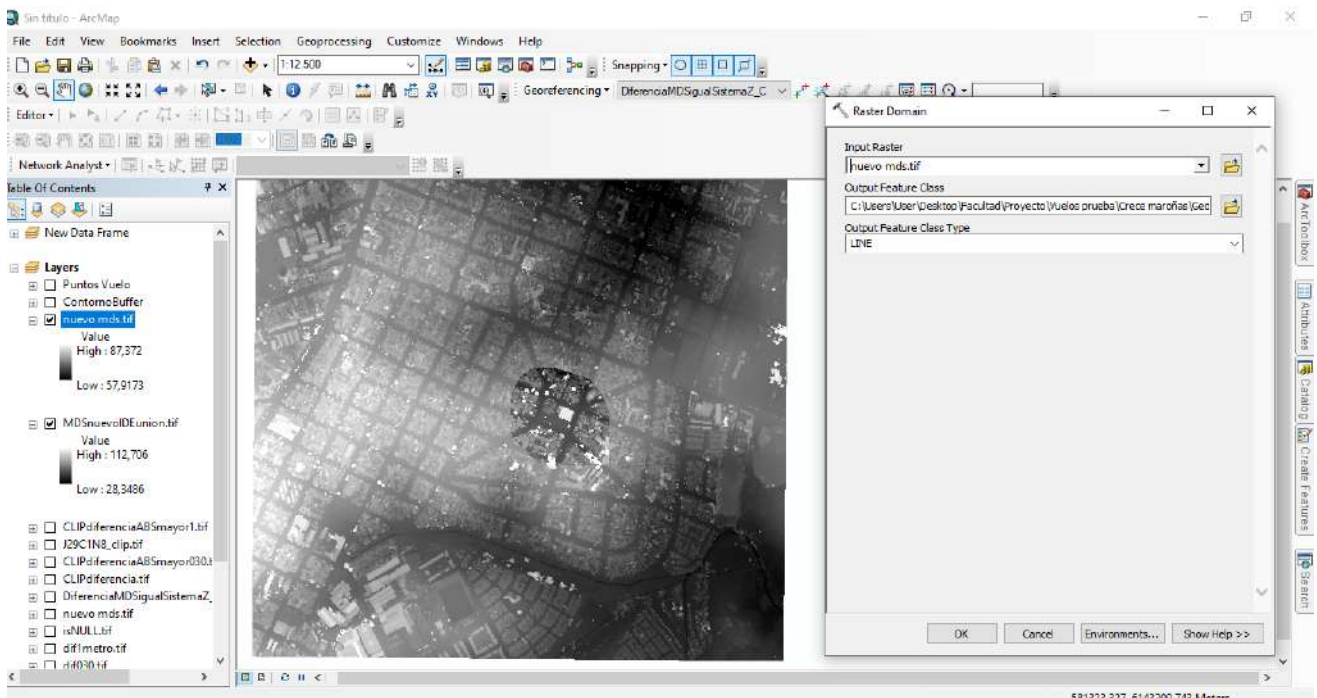


Figura 13: Corte de MDS

Luego, se realiza un remuestreo para modificar el tamaño de los píxeles del MDS del vuelo 1 realizado en la zona de flor de Maroñas, desando obtener un tamaño de pixel de 0,10 metros. Para esto se utiliza la herramienta *Resample* del software ArcMap.

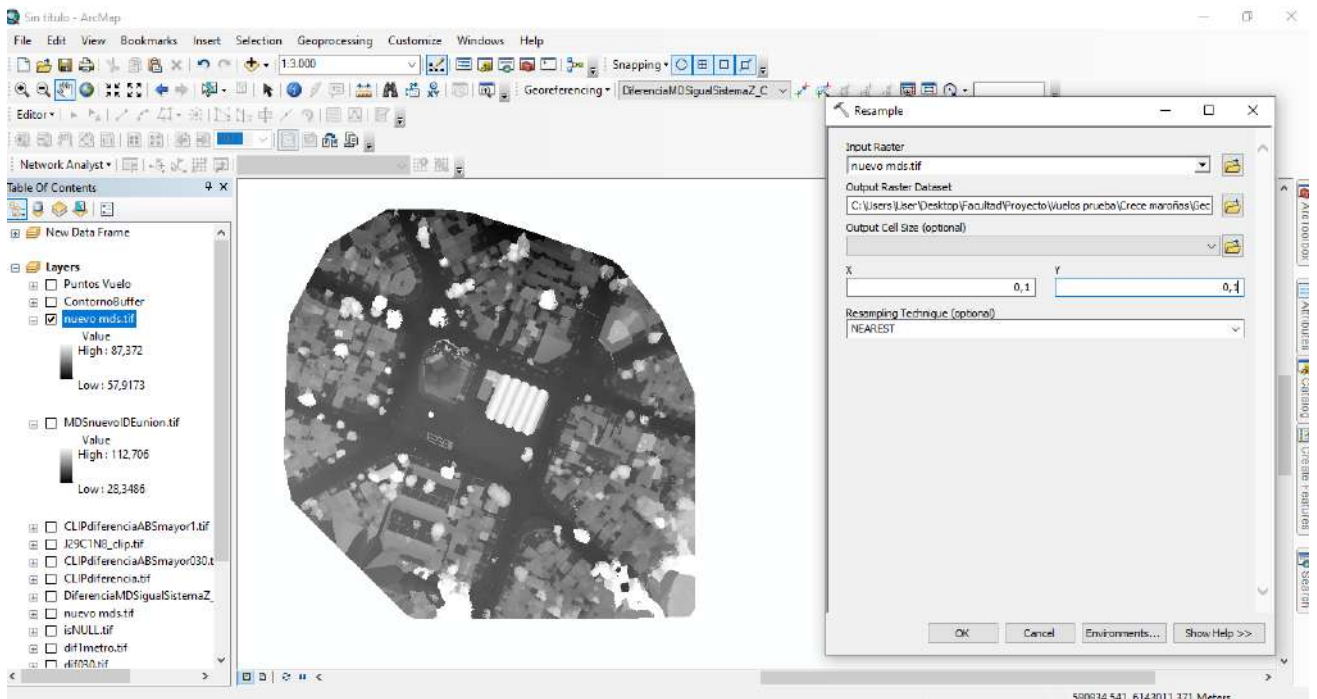
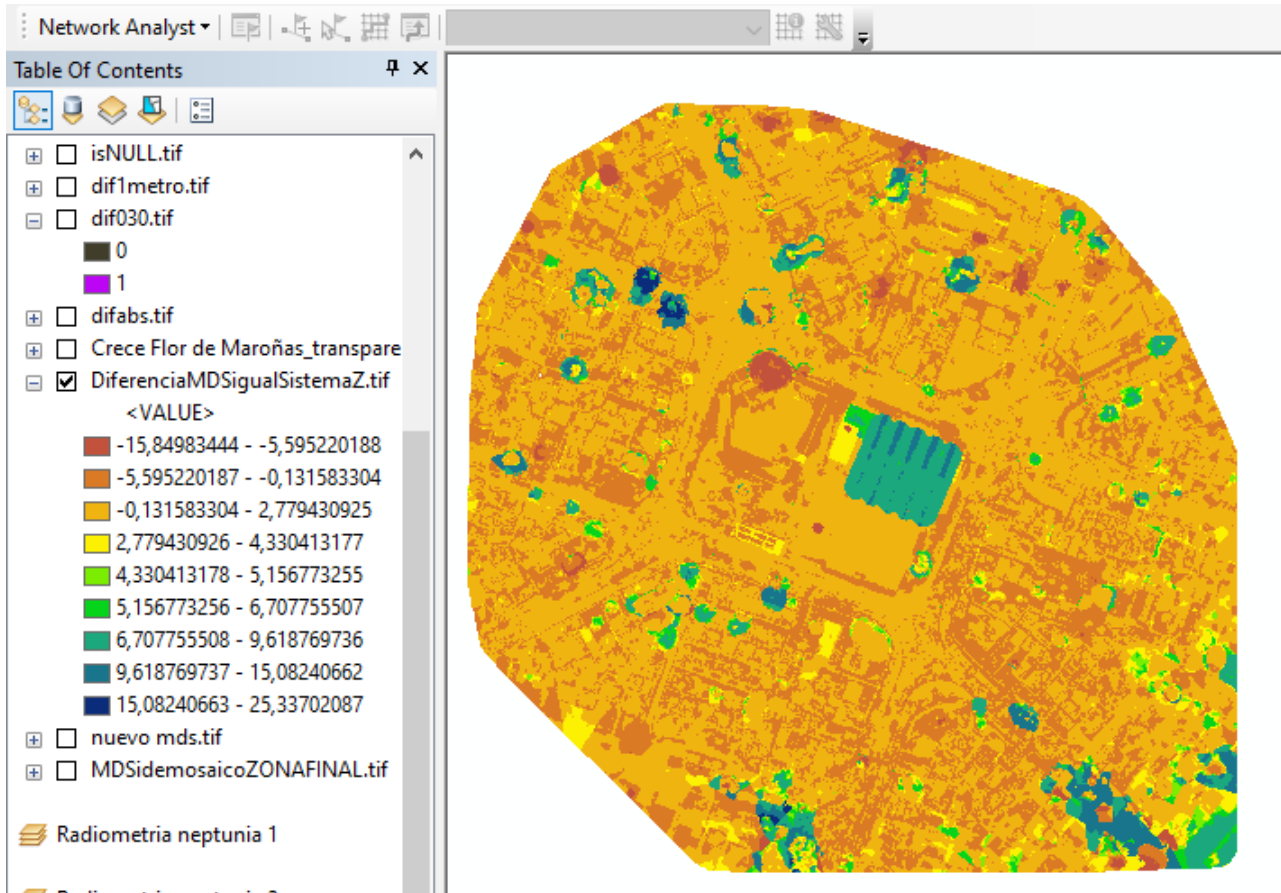


Figura 14: Ajuste de tamaño de píxel

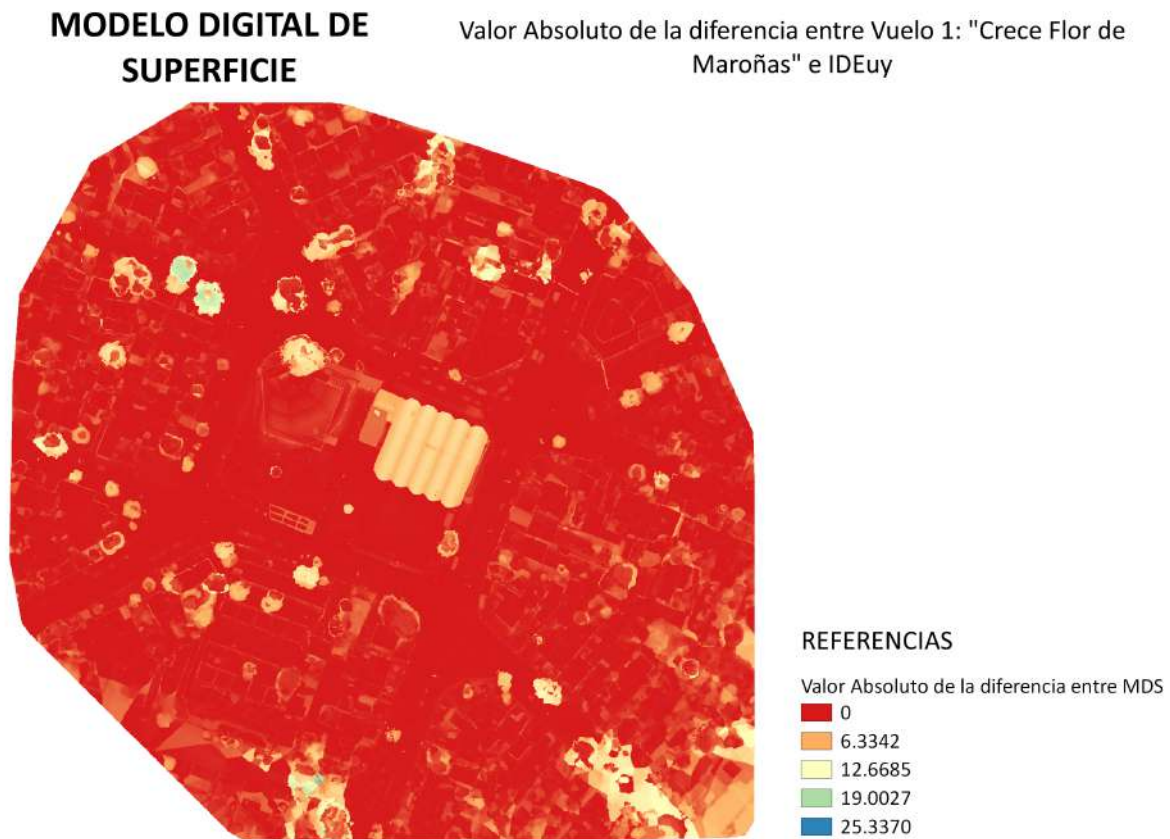
Una vez que se tienen los dos rásters de MDS en la misma resolución espacial, se procede a restarlos con la herramienta *Raster Calculator*. Para obtener los objetos geográficos distintos, al MDS actualizado se le resta el del VFN de IDEuy.



**Figura 15:** Ráster diferencia entre MDS actualizado y MDS de VFN.

Los valores positivos representan los casos en que en el MDS de la actualización hubieron cambios positivos en la altura, ya sea porque se agregan edificaciones o vegetación, y los valores negativos son aquellos en que en el MDS de IDEuy existían objetos que en la actualidad ya no se encuentran.

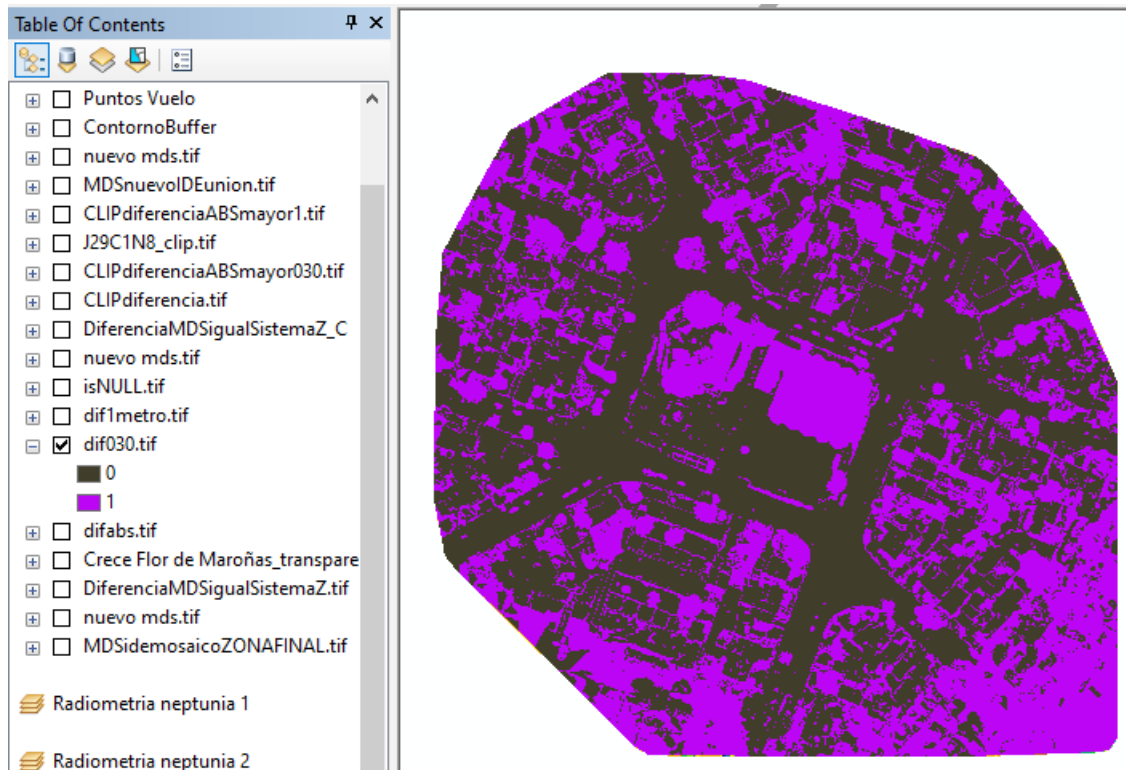
Dado que el interés es de cuantificar los cambios, sin importar si responden a nuevos objetos sobre la superficie u objetos que ya no se encuentran, se realiza un valor absoluto del raster del resultado, a partir de la función *abs* utilizando la herramienta *raster calculator*.



**Figura 16:** Ráster valor absoluto de la diferencia entre el MDS del Vuelo 1 Crece Flor de Maroñas y el MDS de IDEuy.

Finalmente, entre los valores absolutos de cambio, se seleccionan aquellos que superan un cierto valor umbral con la herramienta *raster calculator*, obteniéndose como resultado un ráster que clasifica con valor 1 aquellos píxeles cuyo valor supera el umbral, y con valor 0 los demás píxeles.





**Figura 17:** Raster que clasifica los píxeles que superan o no el valor umbral de cambio en la cota.

Visualizando las estadísticas de este ráster, se puede obtener un valor numérico de la cantidad de píxeles que cumplen o no con el valor de cambios propuesto.

Luego de realizado el procedimiento en el software ArcMap, conociendo las herramientas que se deben utilizar para llevar a cabo el control, se crea un código de Python que automatiza este control, logrando optimizar, facilitar y minimizar el tiempo que lleva realizarlo.

El script tiene como elementos de entrada únicamente los archivos raster de los dos MDS que se pretenden comparar en formato *.tif* y como resultado se obtiene un raster, que representa con valor 1 los píxeles cuya diferencia entre ambos MDS supera el valor umbral, y con valor 0 aquellos cuya diferencia es menor al valor umbral. Además se obtiene un archivo de texto donde se indica los archivos que fueron utilizados y el porcentaje de cambios que hay entre los MDS.<sup>2</sup>

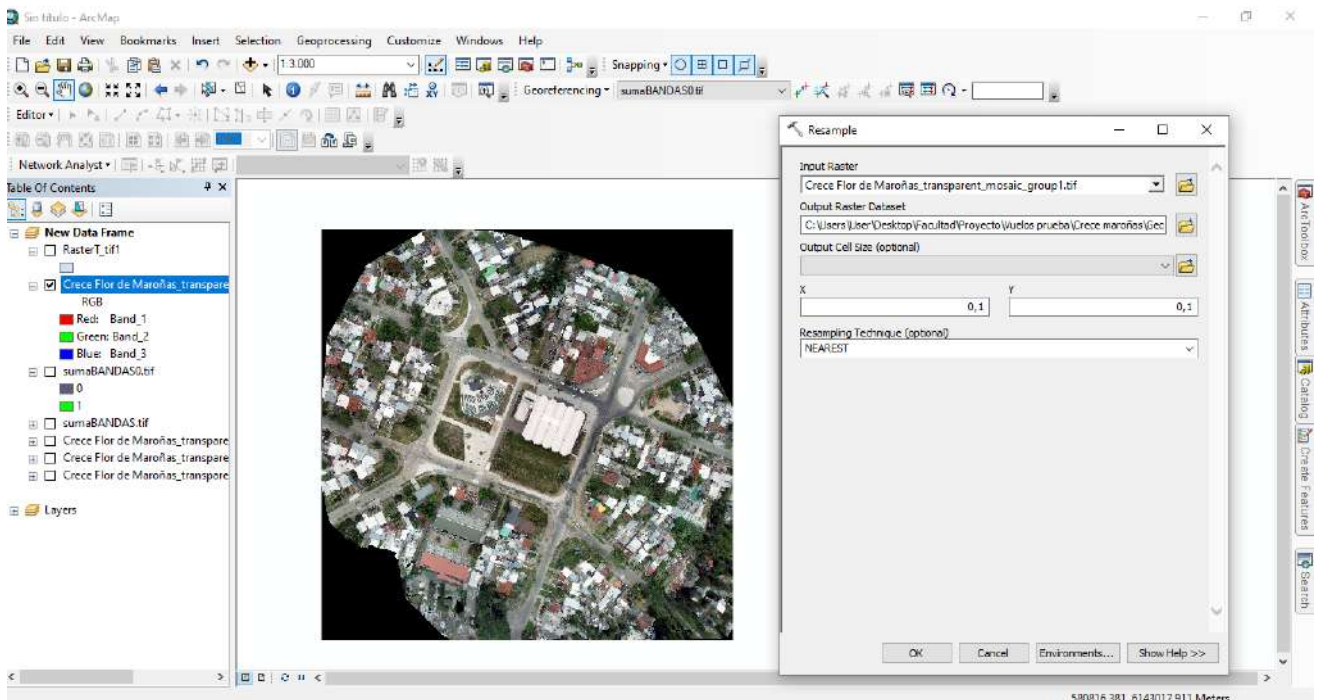
<sup>2</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.

### ■ Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual

- Resolución espacial: Para evaluar esta característica se utiliza como base el script que generó y dispuso para la libre utilización la IDEuy. Para realizar el control es necesario contar con los software Python en su versión 3.0 o posterior y OSGEO4W. Con el mismo procedimiento es posible evaluar la resolución espacial de las ortoimágenes y modelos digitales de terreno de los tres vuelos fotogramétricos.

Para el vuelo 1 que fue el realizado en el Complejo Cultural y Deportivo “Crece Flor de Maroñas” se obtuvo una resolución espacial de 0.08 metros tanto para la ortoimagen como para el modelo digital de elevación. Por otra parte para los vuelos 2 y 3 realizados en Neptunia se obtuvo una resolución espacial de 0.14 metros tanto para la ortoimagen como para el modelo de elevaciones.

Tal como se estableció anteriormente, para la realización del control automático, es necesario que la resolución espacial de las ortoimágenes sea igual (con una tolerancia del 10 %) a 0.10 m o 0.32 m y para el modelo digital de terreno sea igual a 1 m o 2.5 m para la cobertura urbana y cobertura nacional respectivamente. Por lo tanto, previo a desarrollar el control de calidad, se realizó un remuestreo para modificar esta característica de los raster, obteniendo los tamaño de pixel adecuados: Para la ortoimagen y el MDS del vuelo 1 píxel de 0.10 metro, ortoimagen de vuelos 2 y 3 píxel de 0.32 metros, MDT del vuelo 1 píxel de 1 metro, MDT de vuelos 2 y 3 píxel de 2.5 metros. Para este procedimiento, se utilizó como técnica de remuestreo del vecino más cercano, mediante la cual el valor de cada celda de un raster de salida se calcula utilizando el valor de la celda más cercana en un raster de entrada.

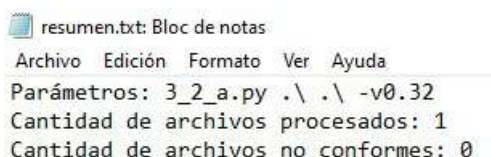


**Figura 18:** Remuestreo de ortoimágen.

Luego de tener los raster con los tamaños de píxel adecuados, deben guardarse archivos del raster de extensión *.tif*, en una carpeta en conjunto con el archivo proporcionado por la IDEuy para configurar el ambiente y el script de extensión *.py* a utilizar. En la consola de OSGeo4W de trabajo debe ingresarse la carpeta contenedora de los archivos, luego dentro de esa carpeta buscar el archivo para configurar el ambiente e ingresar *set* para que quede establecido el entorno. El siguiente paso será llamar al script, ingresando la palabra PYTHON, luego el nombre del archivo del código, posteriormente el directorio de entrada, el directorio de salida y el parámetro a calcular. Para ingresar el parámetro a calcular debe escribirse *-v* antes del número. Este número será la resolución espacial en metros que se desea comprobar para el raster.

Se obtiene como salida un archivo de texto en el que se describe los parámetros que se utilizaron, la cantidad de archivos raster que fueron procesados y la cantidad de archivos que no fueron conformes con el control establecido.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.



```
resumen.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Parámetros: 3_2_a.py .\ .\ -v0.32
Cantidad de archivos procesados: 1
Cantidad de archivos no conformes: 0
```

**Figura 19:** Resultado control de resolución espacial para ortoimagen.

- Resolución espectral: La resolución espectral de las ortoimágenes se evalúa con un procedimiento similar al que se emplea para la resolución espacial. Mediante un script desarrollado por IDEuy, se utiliza OSGEO4W y de forma automática.

Deben guardarse archivos del raster de extensión *.tif* en una carpeta en conjunto con el archivo proporcionado por la IDEuy para configurar el ambiente y el script de extensión *.py* a utilizar. En la consola de trabajo de OSGeo4W de trabajo debe ingresarse la carpeta contenedora de los archivos, luego dentro de esa carpeta buscar el archivo para configurar el ambiente e ingresar *set* para que quede establecido el entorno. El siguiente paso será llamar al script, ingresando la palabra PYTHON, luego el nombre del archivo del código, posteriormente el directorio de entrada y el directorio de salida.<sup>4</sup>

- Sistema de referencia: Este elemento se evalúa mediante el script creado por la IDEuy mediante su utilización en el software OSGEO4W. A diferencia de los demás script que únicamente tiene como insumo de entrada el archivo raster, para este control es necesario contar también con el archivo de metadatos asociados para el raster a evaluar.

Para la utilización de este control, tras varios intentos de utilizar el control automatizado sin tener los resultados esperados, fue modificado el script proporcionado por la IDEuy, ya que se encontró que podía ser optimizado. El mismo funcionaba buscando en el archivo de los metadatos del raster que coincidiera exactamente el nombre del sistema de referencia con “*GCS-SIRGAS-ROU98*”. Se constató que la nomenclatura utilizada regularmente para este sistema de referencia es “*SIRGAS-ROU98*”, por lo que no funcionaba correctamente con los comandos suministrados por IDEuy y al hacer esa modificación se soluciona el error. De no modificarse este comando, al correr

---

<sup>4</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.

el script en los raster que tengan el sistema de referencia correcto coincidente con *EPSG: 5382 UTM 21* o *EPSG:5383 UTM 22*, daría como resultado que no coincide por más que si fuera correcto.

Para realizar el control del sistema de referencia deben guardarse archivos del raster de extensión *.tif* en una carpeta en conjunto con el archivo de metadatos de extensión *.xml*, el archivo proporcionado por la IDEuy para configurar el ambiente y el script de extensión *.py* a utilizar. En la consola de trabajo de OSGeo4W de trabajo debe ingresarse la carpeta contenedora de los archivos, luego dentro de esa carpeta buscar el archivo para configurar el ambiente e ingresar *set* para que quede establecido el entorno. El siguiente paso será llamar al script, ingresando la palabra PYTHON, luego el nombre del archivo del código, posteriormente el directorio de entrada y el directorio de salida.<sup>5</sup>

- Niveles digitales: Este elemento se evalúa de forma similar a los controles realizados para la resolución espacial y espectral, en los que se utiliza un script desarrollado por la IDEuy, debiendo ingresar únicamente como parámetros de entrada el directorio donde se encuentra el archivo raster de la ortoimagen o el modelo digital de terreno y el directorio de salida donde se quiere que se guarden los archivos de texto donde se establece la conformidad o no con los valores establecidos, que son 8 bits para ortoimágenes y 32 bits para modelos digitales de terreno.

Para la utilización de este control, fue modificado el script proporcionado por la IDEuy para evaluar las imágenes, ya que el control realizado por dicha institución evaluaba si los niveles digitales de las imágenes eran 16 bits, mientras que el control que se plantea es para 8 bits. Esto se motiva en que la utilización de sensores que produzcan productos con niveles digitales de 8 bits es más extendido que los que elaboran productos de 16 bits.<sup>6</sup>

- Calidad visual: Este elemento se evalúa realizando una revisión total para verificar que las ortoimágenes estén libres de distorsiones.

Se carga la ortoimagen en un software GIS y se realiza la inspección visual por el

---

<sup>5</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.

<sup>6</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.

operario iniciando desde el extremo superior izquierdo y luego descendiendo buscando los elementos descritos en Cuadro 7. Esta búsqueda se debe realizar a una escala de 1/600 a 1/800 para la cobertura urbana y de 1/8000 a 1/2200 para la cobertura nacional. Se crea un shapefile de polígonos y a medida que se van hallando distorsiones o errores, se crean polígonos y se ingresa como atributo el identificador del elemento para una fácil interpretación posterior. Una vez finalizada la revisión, se crea una tabla con todos los elementos encontrados.

- Radiometría
  - Píxeles defectuosos: Para evaluar este elemento se deben buscar en un raster de ortoimagen todos los píxeles que no contengan información. Por la forma que se crean las imágenes en formato GeoTIFF, todos los píxeles que su información es nula no se expresa como *NULL* sino que las bandas Rojo, Verde y Azul del espectro electromagnético que componen la imagen, se les asigna valor 0.

Muchos de los casos que presentan un gran número de valores nulos en imágenes, viene dado porque son generadas por el procesamiento de vuelos fotogramétricos cuya extensión no es cuadrada, tal como las ortoimágenes que se crearon a partir de los vuelos realizados en Maroñas y Neptunia para el presente trabajo.





**Figura 20:** Ortoimagen con valores nulos

Para la realización de este control se utilizó el software ArcMap. El primer paso a realizar es cargar las tres bandas de la imagen Rojo, Verde y Azul por separado, para trabajar de forma independiente y así obtener los valores de cada raster. Cada raster tiene valores que van desde el 0 hasta el 255 y lo que interesa hacer para este control es obtener todos los píxeles que en las tres capas a la vez sus valores sean cero. Por lo tanto se utiliza la herramienta *raster calculator* y se realiza la suma de los tres raster, obteniendo una nueva imagen cuyos valores oscilan entre el 0 y el 765. Los píxeles que tienen valor 0 son aquellos que interesan, por lo que se vuelve utilizar la herramienta *raster calculator* para obtener un nuevo raster condicionando la realización a que los valores sean 0 cuando el valor del píxel de entrada sea 0 y se eliminen los demás píxeles.

Una vez creado el raster con los píxeles que el valor de las tres bandas que la componen es 0, se utiliza la herramienta *Raster to polygon* para crear un shapefile con las regiones donde se cumple lo establecido. A partir de este shapefile, se calculan las superficies de los polígonos creados y así poder calcular el porcentaje

total de píxeles defectuosos en comparación con la cantidad total de píxeles de la imagen.

Luego de realizado el procedimiento en el software ArcMap, conociendo las herramientas que se deben utilizar para llevar a cabo el control, se generó un código de Python que cumple con las mismas funciones, generando de forma automática un control de lo que se pretende evaluar, logrando que se optimice, facilite y minimice el tiempo que lleva realizarlo.

El script tiene como elementos de entrada únicamente los archivos raster de las dos ortoimágenes que se pretenden comparar en formato *.tif* y como resultado se obtiene el raster que representa con valor 0 a los píxeles cuya suma de los valores de las tres bandas da 0 y 1 a los demás píxeles. Además se obtiene un archivo de texto donde se indica la cantidad de píxeles defectuosos, la cantidad de píxeles no defectuosos y el porcentaje de píxeles defectuosos.<sup>7</sup>

#### ■ Índice de conflictos en la Estructura física

Con el objetivo de evaluar si los productos son aptos para ser utilizados y se ajustan a los requerimientos técnicos, es que se decide establecer como control este índice. En el mismo se establece que los archivos a ser entregados solamente podrán ser en ciertos formatos previamente definidos. Los mismos son: Para las ortoimágenes los formatos de extensión *.Tif* o *.jpg* y para los MDE el formatos de extensión *.Tif*. Además deberán presentarse los archivos de extensión *.tfw* para la georreferenciación. Por otra parte se exige la presentación de los metadatos de cada uno de los raster en formato de extensión *.xml*. Todos los archivos de un mismo producto deberán tener el mismo nombre y deberán seguir las reglas para la denominación de archivos de la siguiente forma:

- **CX-MMAAAA-PPP**
- CX= Tipo de cobertura (N=Nacional | U=Urbana)
- MM= Mes de realizado el vuelo
- AAAA= Año de realizado el vuelo

---

<sup>7</sup>Ver en los Anexos el código utilizado.



- PPP= Tipo de producto (IMG= Imágen | MDT= Modelo Digital de Terreno | MDS= Modelo Digital de Superficie)

- **Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcta.**

Esta medida es evaluada por un operario de forma manual, abriendo la carpeta contenedora de los archivos y leyendo el nombre de los archivos. Tal como se establece en el Índice de conflictos con la estructura física, la nomenclatura de los archivos debe contar con el mes y año en que fue realizado el vuelo con el que se obtuvieron los productos. Se compara y si la fecha es posterior a Junio de 2018 se informa que es conforme, de lo contrario no es conforme.

- **Evaluación de la Exactitud Posicional - NSSDA**

Se utiliza el software ArcMap versión 10.8 para establecer visualmente puntos que sean fotoidentificables en ambas imágenes. En primera instancia se crea un *shapefile* en el cual se van marcando los puntos elegidos sobre la ortoimagen generada del VFN, para luego en segunda instancia realizar el mismo procedimiento, pero para la imagen creada a partir del vuelo realizado con el UAV. Una vez generadas las dos capas con los puntos, se calculan las coordenadas planimétricas de los puntos homólogos con la calculadora de campos de la tabla de atributos del *shapefile* en el software ArcMap. Con las coordenadas X,Y de los puntos homólogos, es posible calcular el Índice NSSDA para planimetría.



**Figura 21:** Puntos homólogos Vuelo 1.



**Figura 22:** Puntos homólogos Vuelo 2.



**Figura 23:** Puntos homólogos Vuelo 3.

El Instituto de Agrimensura de la Universidad de la República (Udelar) creó un software llamado Control de Calidad destinado exclusivamente para el cálculo del índice NSSDA para la evaluación de la exactitud posicional planimétrica, el cual se utilizó para este fin. Esta herramienta tiene como insumo un archivo de extensión *.csv* que contenga la siguiente información y orden: Identificador de punto en imagen 1, Identificador de punto en imagen 2, Coordenada X del punto en imagen 1, Coordenada Y del punto en imagen 1, Coordenada X del punto en imagen 2, Coordenada Y del punto en imagen 2.

Para evaluar la exactitud posicional altimétrica de los modelos digitales de terreno y de superficie se realiza un procedimiento similar. Se utilizan los mismos puntos homólogos obtenidos para la evaluación de la exactitud posicional planimétrica y deben cargarse en el software los archivos raster de los modelos digitales de elevaciones. Las tres zonas donde se realizaron los vuelos fotogramétricos, están comprendidas en más de una imagen de la

grilla de imágenes realizada por el VFN, por lo que es necesario crear un solo raster del mosaico los modelos digitales y para esto se utiliza la herramienta de ArcMap *Mosaic to New Raster*.

Ya con el modelo de elevaciones para toda la zona comprendida, se emplea la herramienta *Extract Values to Points* obteniendo el valor de la altura que tiene el modelo digital de elevación para los puntos homólogos ubicados previamente. Para los puntos homólogos ubicados utilizando la imagen del VFN, deben usarse los modelos digitales de elevaciones generados por el procesamiento dicho vuelo. Mismo procedimiento debe hacerse para los puntos colocados utilizando como base la ortoimagen generada por los vuelos con UAV y sus modelos digitales de elevaciones.

De esta forma se obtendrá la coordenada Z de todos los puntos. Con estas coordenadas se las comparará y se realizará el cálculo del Índice NNSDA.

Para obtener el valor del índice NNSDA para la evaluación de la exactitud posicional altimétrica se realizaron las cuentas directamente sin utilizar el software empleado para la exactitud planimétrica. Con los valores obtenidos con la herramienta *Extract Values to Points* se creó una planilla y con esto se calcularon los valores de diferencia de altura entre los puntos homólogos. Este valor de diferencia de altura debe ser elevado al cuadrado y hallarse el valor promedio de estos valores de diferencia de altura elevados al cuadrado. El error cuadrático medio (RMSE) se obtiene como resultado de realizar la raíz cuadrada del promedio obtenido y el Índice NNSDA es el resultado de multiplicar el RMSE por un factor determinado. Para la evaluación de la exactitud altimétrica dicho valor es 1.96



## 8.6. Ajuste radiométrico de ortoimágenes

Inicialmente se trabaja con la ortoimagen obtenida a partir del procesamiento en el software Pix4D, a partir del procesamiento de las imágenes obtenidas de los diferentes vuelos con tecnología UAV. Uno de los principales inconvenientes que se presentan al querer actualizar el ortomosaico de la IDE, es que al querer hacerlo a partir de vuelos fotogramétricos realizados en épocas diferentes, las imágenes presentan diferencias radiométricas -principalmente- lo que da como resultado visual lo que se presenta a continuación:

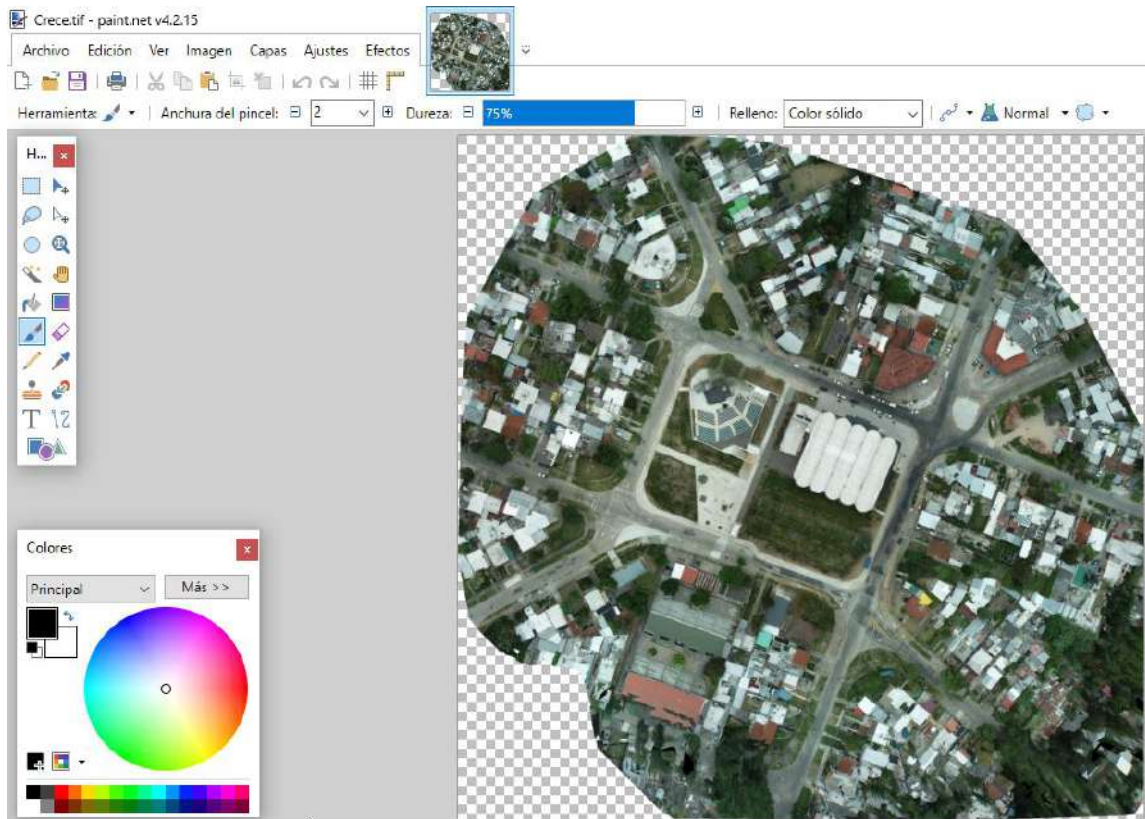


**Figura 24:** Ortomosaico en colores originales luego del procesamiento en Pix4D, en contraste con la imagen de IDEuy.

Como se puede apreciar, el Vuelo Fotogramétrico Nacional presenta coloraciones más cálidas en comparación con los vuelos obtenidos por tecnología UAV, que se presentan en tonos más fríos. Esto se debe a que al ser tomadas en distintos momentos del día y/o del año, la luz solar será distinta. También el tipo de sensor que se utiliza en el UAV -así como los filtros que usa- afectará en el producto final.

Un primer desafío entonces, es lograr una similitud de los colores, para evitar el salto tan notorio entre el ortomosaico base y el parche actualizado que se agrega encima. Para ello, se utiliza un software denominado *Paint.net*, que cuenta con un plug in llamado *Color Match*, que utiliza como base dos imágenes; la que se desea modificar y otra que se utiliza como paleta de colores base, para la cual es suficiente una captura de pantalla del ortomosaico de la IDE.

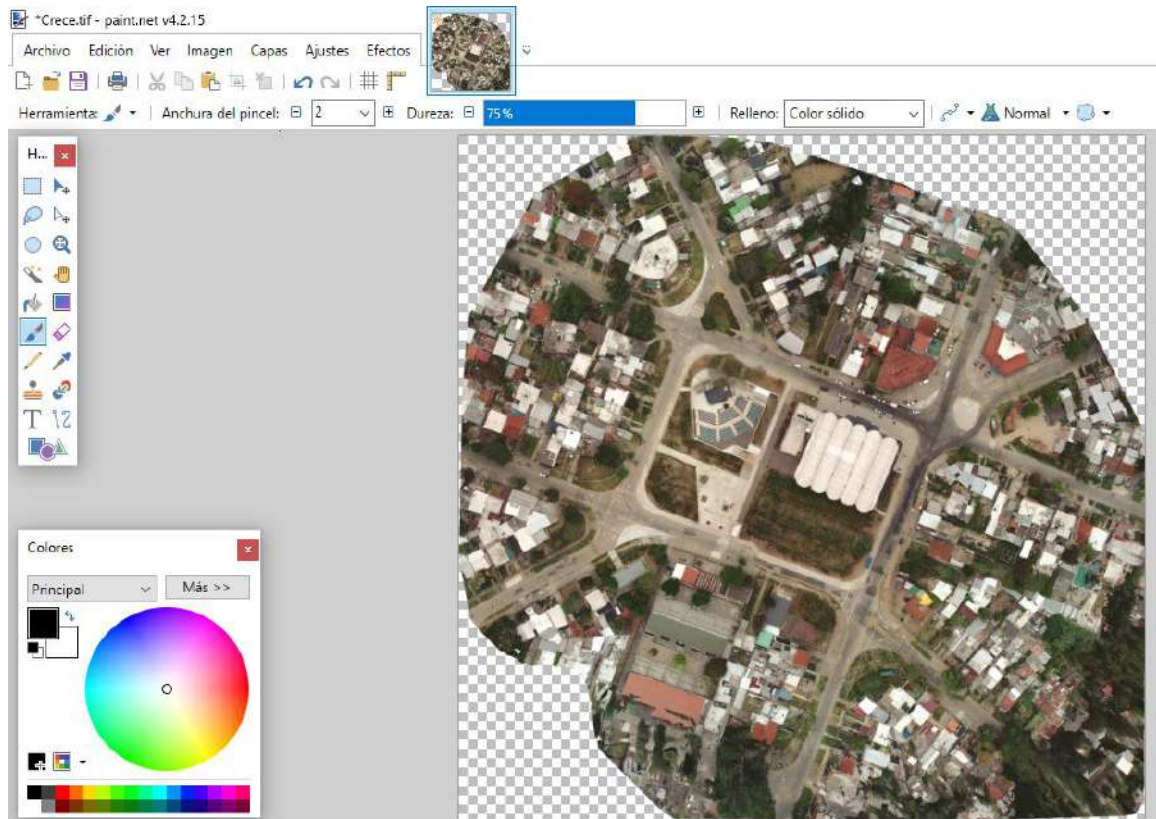
Por lo tanto, se carga el ortomosaico generado a partir del procesamiento con Pix4D en el software mencionado:



**Figura 25:** Ortomosaico en colores originales luego del procesamiento en Pix4D cargado en Paint.net.

Se ingresa al menú Ajustes/Color Match y se carga la imagen que servirá de paleta de colores base para la modificación de los tonos. El resultado obtenido es el siguiente:





**Figura 26:** Ortomosaico en colores corregidos, luego de la aplicación del ajuste de color.

Como se puede ver, el ortomosaico toma los colores cálidos que poseen las imágenes de la IDE.

Una vez generada la imagen que se le modificó el histograma para llegar a un color que se asemeje al que presenta la imagen generada en el VFN, este raster deberá ser cargado en una herramienta GIS para su tratamiento. Dicho raster deberá ser tratado para eliminar visualmente todas las zonas en las que se presente valores sin información para su correcta interpretación.

En el software QGIS, en las propiedades de la capa raster, se le debe modificar la transparencia, de forma tal que las zonas que no contienen información del terreno pero que están contenidas dentro de la extensión de la imagen rectangular, no se vean representadas. Para ello se debe indicar en el panel, que el color que está representando estos valores, sea transparente.

A continuación se muestra el ortomosaico obtenido mediante tecnología UAV original y luego su corrección de color, ambos cargados como parche sobre el mosaico del VFN:

## AJUSTE RADIOMÉTRICO DE ORTOIMÁGENES



Ortomosaico generado en Pix4D - Vuelo 1



Ortomosaico con corrección de color - Vuelo 1

Este procedimiento es una de las diferentes opciones que se podrían tomar en caso de querer corregir radiométricamente las imágenes tomadas en diferentes momentos, aunque también puede ser una buena opción no realizar un ajuste de color, asumiendo justamente que los vuelos son, desde el inicio, diferentes; difieren en el procedimiento, los parámetros elegidos, la época del año en la que fueron tomados, la hora del día y la cámara que cada uno de los sistemas posee para capturar imágenes.



## 9. Exposición de Resultados

### 9.1. Informe de Calidad

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de calidad aplicada a los productos generados, información que, junto a los metadatos, permite brindar mayores detalles sobre la calidad de los datos.

Esta información se pone a disposición principalmente porque de llevarse a cabo este proceso de actualización, la información será proveniente de diferentes fuentes de datos y por lo tanto una correcta declaración de los resultados de la calidad permite a los potenciales usuarios una toma de decisiones más racional, frente a datos generados por un proveedor desconocido, en un proceso del cual no participan.

Siguiendo el modelo de Informe de Calidad presentado por la IDEuy, se definen dos Unidades de Calidad diferentes, una que informa sobre los resultados de la evaluación de la calidad para los productos sobre la Cobertura Nacional y otra sobre la Cobertura Urbana.

Además, dentro de ellas, se informan los resultados para cada uno de los productos de la actualización; Ortoimágenes, Modelos Digitales de Terreno y Modelos Digitales de Superficie.

#### 9.1.1. Unidad de Calidad: Cobertura Nacional

La cobertura Nacional viene definida por aquellos vuelos sobre el territorio nacional cuya resolución espacial es de 0.32 m de tamaño de píxel para ortoimágenes y 2.50 m de intervalo de malla regular de puntos para los Modelos Digitales de Elevaciones.

A continuación se describen nuevamente los controles realizados sobre los productos propuestos para la actualización y los resultados de la evaluación de calidad propuesta en ítems anteriores:

#### **Controles aplicados a Ortoimágenes**

A continuación se describen los resultados obtenidos de evaluar la Consistencia Conceptual, utilizando como medida de calidad el Índice de Incumplimiento con las Reglas del Esquema Conceptual:

Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual	
Requisitos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolución Espacial: 0.32 m <math>\pm</math> 10 %.</li> <li>- Resolución Espectral: Imágenes RGB.</li> <li>- Sistema de Referencia: EPSG 5382 (UTM21S) o EPSG 5382 (UTM22S).</li> <li>- Niveles Digitales: 8 bits.</li> <li>- Radiometría: máximo de 0.5 % de píxeles defectuosos por ortoimagen.</li> </ul>	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre las ortoimágenes generadas para actualización, se verifica Resolución Espacial, Resolución Espectral, Sistema de Referencia, Niveles Digitales y Radiometría.
Metacalidad	
Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolución Espacial: Conforme.</li> <li>- Resolución Espectral: Conforme.</li> <li>- Sistema de Referencia: Conforme.</li> <li>- Niveles Digitales: Conforme.</li> <li>- Radiometría: 22 %. - No Conforme</li> <li>- Resolución Espacial: Conforme.</li> <li>- Resolución Espectral: Conforme.</li> </ul>
Vuelo 3: Neptunia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de Referencia: Conforme.</li> <li>- Niveles Digitales: Conforme.</li> <li>- Radiometría: 19 %. - No Conforme</li> </ul>

**Cuadro 9:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Calidad Visual		
Requisitos		
Se realizará una revisión total para verificar que las ortoimágenes estén libres de distorsiones o inconsistencias causadas por definiciones en los modelos MDT o en la pobre calidad de las imágenes.		
Evaluación de la Calidad		
Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual	
Tipo de Inspección	Total	
Método	Sobre la totalidad de las ortoimágenes, se verifica mediante procedimiento especificado en Manual de revisión de ortoimágenes producido por la IDEuy, que se cumpla con los criterios establecidos en el mismo. Se buscan en la inspección elementos que distorcionen la imagen.	
Metacalidad		
Confianza	El procedimiento se lleva a cabo con personal idóneo.	
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.	
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.	
Resultados de la Calidad		
Vuelo 2: Neptunia	Referencias	Cantidad
	N: Nube	0
	NI,C,B: Niebla, Calima, Bruma	0
	SA: Sombra de avión	0
	SN: Sombra Nube	0
	PC: Punto caliente	16
	SE: Sobre exposición	0
	H: Humo	2
	DD: Diferencia de Definición	0
	D: Deformación	4
	T: Temporalidad	13
	LC: Línea de Corte	0
	E: Empalme	0
	FE: Fusión excesiva	12
	O: Otros	13

Vuelo 3: Neptunia	Referencias	Cantidad
	N: Nube	0
	NI_C_B: Niebla, Calima, Bruma	0
	SA: Sombra de avión	0
	SN: Sombra Nube	0
	PC: Punto caliente	25
	SE: Sobre exposición	0
	H: Humo	0
	DD: Diferencia de Definición	0
	D: Deformación	8
	T: Temporalidad	19
	LC: Línea de Corte	0
	E: Empalme	2
	FE: Fusión excesiva	7
	O: Otros	17

**Cuadro 10:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Calidad Visual, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.



**Figura 27:** Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 2 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Punto Caliente



**REFERENCIAS**

- Punto Caliente
- Ortomosaico - Vuelo 3 (Neptunia)

**Figura 28:** Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 3 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Diferencia de Definición



**REFERENCIAS**

- Diferencia de Definición
- Ortomosaico - Vuelo 2 (Neptunia)

**Figura 29:** Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 2 (Neptunia)




**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Diferencia de Definición



**REFERENCIAS**

-  Diferencia de Definición
- Ortomosaico - Vuelo 3 (Neptunia)


**Figura 30:** Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 3 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Deformación



**REFERENCIAS**

-  Deformación
- Ortomosaico - Vuelo 2 (Neptunia)

**Figura 31:** Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 2 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Deformación



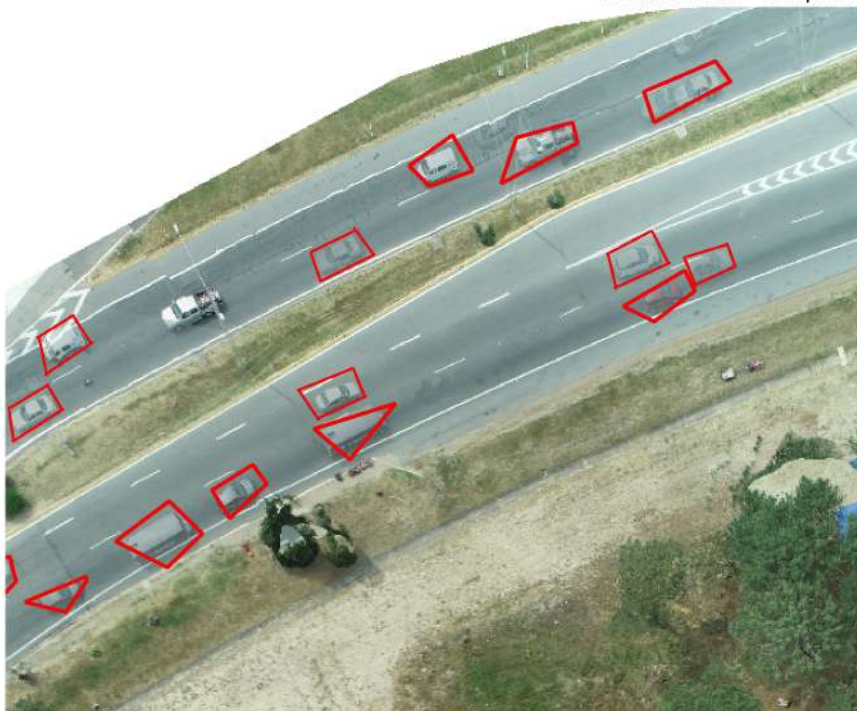
**REFERENCIAS**

Deformación  
Ortomosaico - Vuelo 3 (Neptunia)

**Figura 32:** Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 3 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Temporalidad



**REFERENCIAS**

Temporalidad  
Ortomosaico - Vuelo 2 (Neptunia)

**Figura 33:** Resultado de la Calidad Visual: Temporalidad - Vuelo 2 (Neptunia)



**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Empalme



**REFERENCIAS**

- Empalme
- Ortomosaico - Vuelo 3 (Neptunia)

**Figura 34:** Resultado de la Calidad Visual: Empalme - Vuelo 3 (Neptunia)

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Fusión Excesiva



**REFERENCIAS**

- Fusión Excesiva
- Ortomosaico - Vuelo 2 (Neptunia)

**Figura 35:** Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 2 (Neptunia)





**Figura 36:** Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 3 (Neptunia)

Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física	
Requisitos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las ortoimágenes deben tener una de las siguientes extensiones: .tif o .jpg.</li> <li>- El nombre corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.</li> <li>- Cada imagen tiene su archivo de metadatos .xml</li> <li>- Cada imagen tiene su archivo .tfw asociado.</li> </ul>	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Conflictos en la Estructura Física
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre las ortoimágenes generadas para actualización, se verifica si los archivos tienen las extensiones de formato requeridos y la nomenclatura sigue las reglas.
Metacalidad	
Confianza	El procedimiento se lleva a cabo con personal idóneo.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	Conforme
Vuelo 3: Neptunia	Conforme

**Cuadro 11:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta	
Requisitos	
Fecha de imágenes posterior a Junio de 2018.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta.
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica con el nombre de los archivos si la fecha de obtención de las imágenes que componen la ortoimagen, es posterior a Junio de 2018.
Metacalidad	
Confianza	Personal capacitado.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	Conforme.
Vuelo 3: Neptunia	Conforme.

**Cuadro 12:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.

Exactitud Posicional: Estándar NSSDA	
Requisitos	
NSSDA $\leq$ 1.7038 en X e Y.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Estándar NSSDA
Tipo de Inspección	Total
Método	Mediante un método estadístico, se desea evaluar la exactitud posicional planimétrica de ortoimágenes a partir del Error Cuadrático Medio (RMSE), para un nivel de confianza del 95 %.
Metacalidad	
Confianza	La muestra se obtuvo ubicando puntos fotoidentificables en las imágenes a evaluar de forma que se cumpla con los requisitos establecidos para el estándar NSSDA
Homogeneidad	Todas las unidades son producidas con los mismos parámetros.
Representatividad	La muestra se distribuye uniformemente en toda el área de inspección
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	0.47 - Conforme.
Vuelo 3: Neptunia	0.41 - Conforme.

**Cuadro 13:** Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.

## Controles aplicados a Modelos Digitales de Terreno

Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual	
Requisitos	
	- Resolución Espacial: 2.50 m $\pm$ 10 %.
	- Sistema de Referencia: EPSG 5382 (UTM21S) o EPSG 5382 (UTM22S).
	- Niveles digitales: 32 bits.
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDT generados para la actualización, se verifica Resolución Espacial, Sistema de Referencia y niveles digitales.
Metacalidad	
Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
	- Resolución Espacial: Conforme.
Vuelo 2: Neptunia	- Sistema de Referencia: Conforme. - Niveles digitales: Conforme. - Resolución Espacial: Conforme.
Vuelo 3: Neptunia	- Sistema de Referencia: Conforme - Niveles digitales: Conforme.

**Cuadro 14:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDT de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física	
Requisitos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los MDT deben tener una de las siguientes extensiones: Tif.</li> <li>- El nombre corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.</li> <li>- Cada modelo digital tiene su archivo de metadatos .xml</li> <li>- Cada modelo digital tiene su archivo .tfw asociado.</li> </ul>	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Conflictos en la Estructura Física
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDT generados para actualización, se verifica si los archivos tienen las extensiones de formato requeridos y la nomenclatura sigue las reglas.
Metacalidad	
Confianza	El procedimiento se lleva a cabo con personal idóneo.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	Conforme.
Vuelo 3: Neptunia	Conforme.

**Cuadro 15:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDT de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta	
Requisitos	
Fecha de imágenes posterior a Junio de 2018.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta.
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica con el nombre de los archivos si la fecha de obtención de las imágenes de las que surge el MDT, es posterior a Junio de 2018.
Metacalidad	
Confianza	Personal capacitado.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	Conforme
Vuelo 3: Neptunia	Conforme

**Cuadro 16:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDT de Cobertura Nacional.

Exactitud Posicional: Estándar NSSDA	
Requisitos	
NSSDA $\leq 2.94$ en Z.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Estándar NSSDA
Tipo de Inspección	Total
Método	Mediante un método estadístico, se desea evaluar la exactitud posicional altimétrica de MDE, para un nivel de confianza del 95 %.
Metacalidad	
Confianza	La muestra se obtuvo ubicando puntos fotoidentificables en las imágenes a evaluar de forma que se cumpla con los requisitos establecidos para el estándar NSSDA
Homogeneidad	Todas las unidades son producidas con los mismos parámetros.
Representatividad	La muestra se distribuye uniforme en el área de inspección
Resultados de la Calidad	
Vuelo 2: Neptunia	0.67 - Conforme
Vuelo 3: Neptunia	0.80 - Conforme

**Cuadro 17:** Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDT de Cobertura Nacional.

### 9.1.2. Unidad de Calidad: Cobertura Urbana

La cobertura Urbana viene definida por aquellos vuelos sobre el territorio nacional cuya resolución espacial es de 0.10 m de tamaño de píxel para ortoimágenes y 1.00 m de intervalo de malla regular de puntos para los Modelos Digitales de Elevaciones.

A continuación se describen nuevamente los controles realizados sobre los productos propuestos para la actualización y los resultados de la evaluación de calidad propuesta en ítems anteriores:

#### Controles aplicados a Ortoimágenes

A continuación se describen los resultados obtenidos de evaluar la Consistencia Conceptual, utilizando como medida de calidad el Índice de Incumplimiento con las Reglas del Esquema Conceptual:



### Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual

#### Requisitos

- Resolución Espacial: 0.10 m  $\pm$  10 %.
- Resolución Espectral: Imágenes RGB.
- Sistema de Referencia: EPSG 5382 (UTM21S) o EPSG 5382 (UTM22S).
- Niveles Digitales: 8 bits.
- Radiometría: máximo de 0.5 % de píxeles defectuosos por ortoimagen.

#### Evaluación de la Calidad

Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre las ortoimágenes generadas para actualización, se verifica Resolución Espacial, Resolución Espectral, Sistema de Referencia, Niveles Digitales, Calidad Visual y Radiometría.

#### Metacalidad

Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.

#### Resultados de la Calidad

Vuelo 1: Crece Flor	- Resolución Espacial: Conforme
	- Resolución Espectral: Conforme
de Maroñas	- Sistema de Referencia: Conforme
	- Niveles Digitales: Conforme
	- Radiometría: 16 % - No Conforme

**Cuadro 18:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para ortoimágenes de Cobertura Urbana.

Consistencia Conceptual: Calidad Visual																															
Requisitos																															
Se realizará una revisión total para verificar que las ortoimágenes estén libres de distorsiones o inconsistencias causadas por definiciones en los modelos MDT o en la pobre calidad de las imágenes.																															
Evaluación de la Calidad																															
Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual																														
Tipo de Inspección	Total																														
Método	Sobre la totalidad de las ortoimágenes, se verifica mediante procedimiento especificado en Manual de revisión de ortoimágenes producido por la IDEuy, que se cumpla con los criterios establecidos en el mismo. Se buscan en la inspección elementos que distorcionen la imagen.																														
Metacalidad																															
Confianza	El procedimiento se lleva a cabo con personal idóneo.																														
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.																														
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.																														
Resultados de la Calidad																															
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Referencias</th> <th>Cantidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N: Nube</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>NI,C,B: Niebla,Calima,Bruma</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SA: Sombra de avión</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>SN: Sombra Nube</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>PC: Punto caliente</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>SE: Sobre exposición</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>H: Humo</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>DD: Diferencia de Definición</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>D: Deformación</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>T: Temporalidad</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LC: Línea de Corte</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>E: Empalme</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>FE: Fusión excesiva</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>O: Otros</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Referencias	Cantidad	N: Nube	0	NI,C,B: Niebla,Calima,Bruma	0	SA: Sombra de avión	0	SN: Sombra Nube	0	PC: Punto caliente	16	SE: Sobre exposición	0	H: Humo	2	DD: Diferencia de Definición	0	D: Deformación	15	T: Temporalidad	0	LC: Línea de Corte	0	E: Empalme	0	FE: Fusión excesiva	11	O: Otros	3
Referencias	Cantidad																														
N: Nube	0																														
NI,C,B: Niebla,Calima,Bruma	0																														
SA: Sombra de avión	0																														
SN: Sombra Nube	0																														
PC: Punto caliente	16																														
SE: Sobre exposición	0																														
H: Humo	2																														
DD: Diferencia de Definición	0																														
D: Deformación	15																														
T: Temporalidad	0																														
LC: Línea de Corte	0																														
E: Empalme	0																														
FE: Fusión excesiva	11																														
O: Otros	3																														

**Cuadro 19:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Calidad Visual, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana.

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Punto Caliente



**REFERENCIAS**

□ Punto Caliente

Ortomosaico - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

**Figura 37:** Resultado de la Calidad Visual: Puntos Calientes - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

**MEDIDA DE CALIDAD**

Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual:  
Calidad Visual - Diferencia de Definición



**REFERENCIAS**

▵ Diferencia de Definición

Ortomosaico - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

**Figura 38:** Resultado de la Calidad Visual: Diferencia de Definición - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

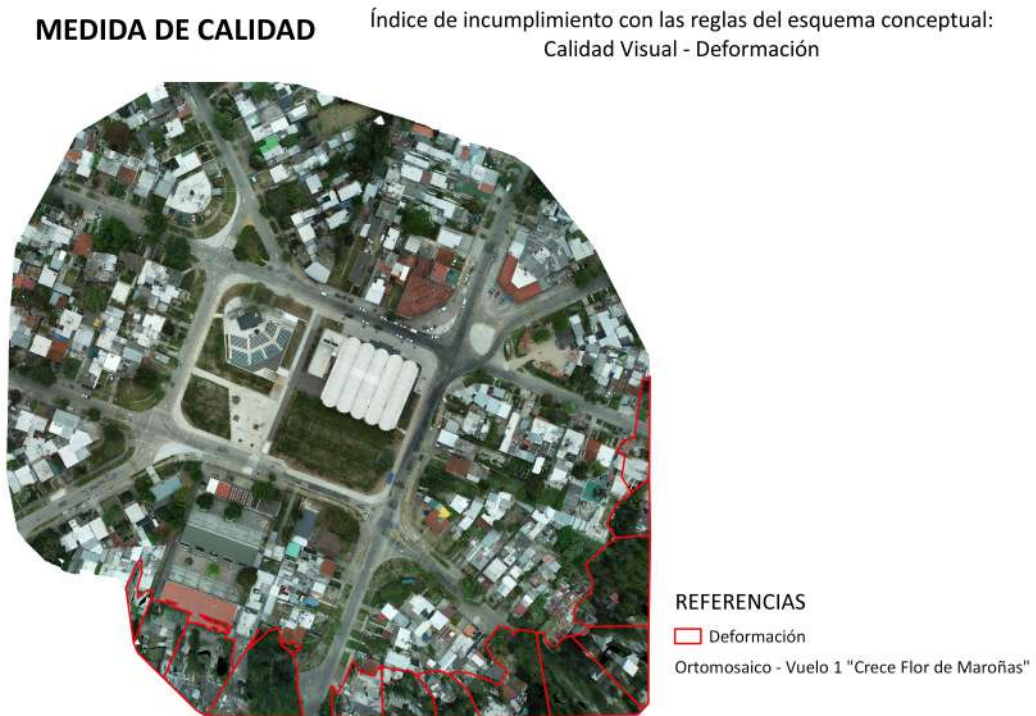


Figura 39: Resultado de la Calidad Visual: Deformación - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

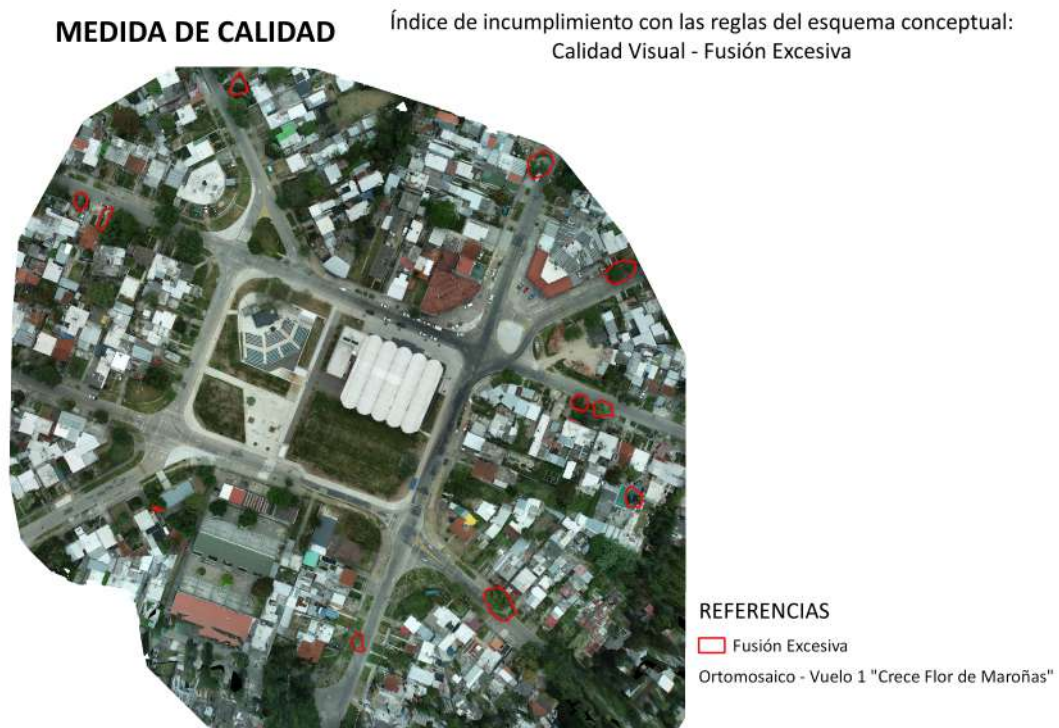


Figura 40: Resultado de la Calidad Visual: Fusión Excesiva - Vuelo 1 "Crece Flor de Maroñas"

## Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física

## Requisitos

- Las ortoimágenes deben tener una de las siguientes extensiones: .tif o .jpg.
- El nombre corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.
- Cada imagen tiene su archivo de metadatos .xml
- Cada imagen tiene su archivo .tfw asociado.

## Evaluación de la Calidad

Medida Índice de Conflictos en la Estructura Física

Tipo de Inspección Total

Método Sobre las ortoimágenes generadas para actualización, se verifica si los archivos tienen las extensiones de formato requeridos y la nomenclatura sigue las reglas.

## Metacalidad

Confianza El procedimiento se lleva a cabo con personal idóneo.

Homogeneidad La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.

Representatividad La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.

## Resultados de la Calidad

Vuelo 1: Crece Flor

de Maroñas Conforme

**Cuadro 20:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana.



Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta	
Requisitos	
Fecha de imágenes superior a Junio de 2018.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta.
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica con el nombre de los archivos si la fecha de obtención de las imágenes que componen la ortoimagen, es superior a Junio de 2018.
Metacalidad	
Confianza	Personal capacitado.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	
	Conforme

**Cuadro 21:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para Ortoimágenes de Cobertura Nacional.

Exactitud Posicional: Estándar NSSDA	
Requisitos	
NSSDA $\leq 0.3407$ en X e Y.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Estándar NSSDA
Tipo de Inspección	Total
Método	Mediante un método estadístico, se desea evaluar la exactitud posicional planimétrica de ortoimágenes a partir del Error Cuadrático Medio (RMSE), para un nivel de confianza del 95 %.
Metacalidad	
Confianza	La muestra se obtuvo ubicando puntos fotoidentificables en las imágenes a evaluar de forma que se cumpla con los requisitos establecidos para el estándar NSSDA
Homogeneidad	Todas las unidades son producidas con los mismos parámetros.
Representatividad	La muestra se distribuye uniforme en el área de inspección
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	0.43 - No Conforme.

**Cuadro 22:** Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para Ortoimágenes de Cobertura Urbana.



## Controles aplicados a Modelos Digitales de Terreno

Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual

### Requisitos

- Resolución Espacial: 2.50 m  $\pm$  10 %.
- Sistema de Referencia: EPSG 5382 (UTM21S) o EPSG 5382 (UTM22S).

Niveles digitales: 32 bits

### Evaluación de la Calidad

Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDT generados para la actualización, se verifica Resolución Espacial, Sistema de Referencia y niveles digitales.

### Metacalidad

Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.

### Resultados de la Calidad

Vuelo 1: Crece Flor

- Resolución Espacial: Conforme.
  - Sistema de Referencia: Conforme.
  - Niveles digitales: Conforme.
- de Maroñas

**Cuadro 23:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDT de Cobertura Urbana.

## Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física

## Requisitos

- Los MDT deben tener una de las siguientes extensiones: Tif.
- El nombre corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.
- Cada modelo digital tiene su archivo de metadatos .xml
- Cada modelo digital tiene su archivo .tfw asociado.

## Evaluación de la Calidad

Medida	Índice de Conflictos en la Estructura Física
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDT generados para actualización, se verifica si los archivos tienen las extensiones de formato requeridos y la nomenclatura sigue las reglas.

## Metacalidad

Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.

## Resultados de la Calidad

Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	Conforme
--------------------------------	----------

**Cuadro 24:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDT de Cobertura Urbana.

Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta	
Requisitos	
Fecha de imágenes superior a Junio de 2018.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta.
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica con el nombre de los archivos si la fecha de obtención de las imágenes de las que surge el MDT, es superior a Junio de 2018.
Metacalidad	
Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos los datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	Conforme

**Cuadro 25:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDT de Cobertura Urbana.

Exactitud Posicional: Estándar NSSDA	
Requisitos	
NSSDA $\leq$ 0.588 en Z.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Estándar NSSDA
Tipo de Inspección	Total
Método	Mediante un método estadístico, se desea evaluar la exactitud posicional altimétrica de MDT, para un nivel de confianza del 95 %.
Metacalidad	
Confianza	La muestra se obtuvo ubicando puntos fotoidentificables en las imágenes a evaluar de forma que se cumpla con los requisitos establecidos para el estándar NSSDA
Homogeneidad	Todas las unidades son producidas con los mismos parámetros.
Representatividad	La muestra se distribuye uniforme en el área de inspección
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	0.34 - Conforme

**Cuadro 26:** Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDT de Cobertura Urbana.

## Controles aplicados a Modelos Digitales de Superficie

Comisión y Omisión: Índice de Instancias de Objetos Geográficos Distintos	
Requisitos	
Los conjuntos de datos MDS deberán tener un porcentaje de cambios mayor a 15 %, para un umbral que está determinado por la exactitud posicional altimétrica del MDS actualizado.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Instancias de Objetos Geográficos Distintos
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica mediante un proceso automatizado, que la resta entre el MDS de IDEuy y el actualizado, tenga un porcentaje de cambio mayor al determinado.
Metacalidad	
Confianza	El script utilizado permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	Evaluar la totalidad garanzita la homogeneidad
Representatividad	Evaluar la totalidad garanzita la representatividad
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	Conforme

**Cuadro 27:** Resultado de la evaluación de Comisión: Índice de Instancias de Objetos Geográficos Distintos, para MDS de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual	
Requisitos	
- Resolución Espacial: 0,10 m $\pm$ 10 %.	
- Sistema de Referencia: EPSG 5382 (UTM21S) o EPSG 5382 (UTM22S).	
- Niveles digitales: 32 bits.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDS generados para la actualización, se verifica Resolución Espacial, Sistema de Referencia y niveles digitales.
Metacalidad	
Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor	- Resolución Espacial: Conforme.
de Maroñas	- Sistema de Referencia: Conforme.
	- Niveles digitales: Conforme.

**Cuadro 28:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Cumplimiento con el Esquema Conceptual, para MDS de Cobertura Nacional.

Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física	
Requisitos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los MDS deben tener una de las siguientes extensiones: Tif.</li> <li>- El nombre corresponde a las reglas definidas para la denominación de archivos.</li> <li>- Cada modelo digital tiene su archivo de metadatos .xml</li> <li>- Cada modelo digital tiene su archivo .tfw asociado.</li> </ul>	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Conflictos en la Estructura Física
Tipo de Inspección	Total
Método	Sobre los MDS generados para actualización, se verifica si los archivos tienen las extensiones de formato requeridos y la nomenclatura sigue las reglas.
Metacalidad	
Confianza	Los scripts utilizados permiten garantizar que se cumplan los requisitos planteados, mediante un procedimiento documentado y con personal capacitado. Para futuros posibles productos puestos a disposición por diferentes proveedores, la inspección es externa al proveedor de los datos.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas	Conforme.

**Cuadro 29:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Conflictos en la Estructura Física, para MDS de Cobertura Nacional.



Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente correcta	
Requisitos	
Fecha de imágenes superior a Junio de 2018.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta.
Tipo de Inspección	Total
Método	Se verifica con el nombre de los archivos si la fecha de obtención de las imágenes de las que surge el MDS, es superior a Junio de 2018.
Metacalidad	
Confianza	Personal capacitado.
Homogeneidad	La aplicación sobre todos los datos garantiza homogeneidad.
Representatividad	La aplicación sobre todos datos garantiza representatividad.
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de	
Maroñas	Conforme

**Cuadro 30:** Resultado de la evaluación de Consistencia Conceptual: Índice de Eventos Ordenados de forma Cronológicamente Correcta, para MDS de Cobertura Nacional.

Exactitud Posicional: Estándar NSSDA	
Requisitos	
NSSDA $\leq$ 0.588 en Z.	
Evaluación de la Calidad	
Medida	Estándar NSSDA
Tipo de Inspección	Total
Método	Mediante un método estadístico, se desea evaluar la exactitud posicional altimétrica de MDS, para un nivel de confianza del 95 %.
Metacalidad	
Confianza	La muestra se obtuvo ubicando puntos fotoidentificables en las imágenes a evaluar de forma que se cumpla con los requisitos establecidos para el estándar NSSDA
Homogeneidad	Todas las unidades son producidas con mismos parámetros.
Representatividad	La muestra se distribuye uniforme en el área de inspección
Resultados de la Calidad	
Vuelo 1: Crece Flor de	
Maroñas	2.55 - No Conforme

**Cuadro 31:** Resultado de la evaluación de Exactitud Posicional: Estándar NSSDA, para MDS de Cobertura Nacional.

## 9.2. Metadatos

### 1. Metadatos para Ortofotografía Urbana - Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas

#### Categorías

- Conjunto de datos
- Cobertura de la tierra con mapas básicos e imágenes

#### Productos y remesas

CU-112020-IMG

#### Palabras claves

- Imágenes Orto-rectificadas
- Ortofoto verdadera
- Ortoimagen
- Foto Aérea

#### Idioma

Español

#### Identificador del Recurso

CU-112020-IMG

#### Clasificación

Desclasificado

#### Restricciones legales

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas con los vuelos con tecnología UAV.

#### Contacto para el recurso

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectodegrado.ide@gmail.com

#### Información técnica

#### Estado

Terminado

#### Frecuencia de Actualización

Desconocido

#### Tipo de Representación

Malla

#### Escala

2000

#### Resolución

0.10 m

#### Sistema de Referencia de Coordenadas

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

La ortoimagen CU-112020-IMG es un producto derivado de un conjunto de imágenes creado con un vuelo fotogramétrico desarrollado con un dispositivo UAV Phantom 4 rtk y cada ortoimagen fue corregida para representar una proyección ortogonal. El procesamiento de las imágenes aéreas y sus correcciones fue llevado a cabo en el software pix4D mapper.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c995-59b8-6e45-8aaa-a789f4d60286

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 32:** Metadatos para Ortofoto - Cobertura Urbana

## 2. Metadatos para Ortofotografía Nacional - Vuelo 2: Neptunia

**Categorías**

- Conjunto de datos
- Cobertura de la tierra con mapas básicos e imágenes

**Productos y remesas**

CN-112020-IMG

**Palabras claves**

- Imágenes Orto-rectificadas
- Ortofoto verdadera
- Ortoimagen
- Foto Aérea

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CN-12020-IMG

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas con los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectedegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

10000

**Resolución**

0.32 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

La ortoimagen CU-112020-IMG es un producto derivado de un conjunto de imágenes creado con un vuelo fotogramétrico desarrollado con un dispositivo UAV Phantom 4 rtk y cada ortoimagen fue corregida para representar una proyección ortogonal. El procesamiento de las imágenes aéreas y sus correcciones fue llevado a cabo en el software pix4D mapper.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c995-59b8-6e45-8aaa-a789f4d60286

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 33:** Metadatos para Ortofoto - Cobertura Nacional - Neptunia

## 3. Metadatos para Ortofotografía Nacional - Vuelo 3: Neptunia

**Categorías**

- Conjunto de datos
- Cobertura de la tierra con mapas básicos e imágenes

**Productos y remesas**

CN-112020-IMG

**Palabras claves**

- Imágenes Orto-rectificadas
- Ortofoto verdadera
- Ortoimagen
- Foto Aérea

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CN-12020-IMG

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas a partir de los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectedegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

10000

**Resolución**

0.32 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF



**Estirpe**

La ortoimagen CU-112020-IMG es un producto derivado de un conjunto de imágenes creado con un vuelo fotogramétrico desarrollado con un dispositivo UAV Phantom 4 rtk y cada ortoimagen fue corregida para representar una proyección ortogonal. El procesamiento de las imágenes aéreas y sus correcciones fue llevado a cabo en el software pix4D mapper.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c995-59b8-6e45-8aaa-a789f4d60286

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 34:** Metadatos para Ortofoto - Cobertura Nacional - Neptunia

## 4. Metadatos para Modelo Digital de Terreno - Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas

**Categorías**

- Conjunto de datos - Elevación

**Productos y remesas**

CU-112020-MDT

**Palabras claves**

- MDT  
- Relieve  
- Elevación

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CN-112020-MDT

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas a partir de los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

10000

**Resolución**

1 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

El Modelo Digital de Terreno es un producto derivado de las imágenes tomadas en el vuelo fotogramétrico realizado por los autores para la realización del proyecto de grado y los parámetros de aerotriangulación de las mismas.

Estos son procesados en el software pix4D mapper para generar mediante algoritmos de correlación de píxeles de los pares estereoscópicos el Modelo Digital de Superficie (MDS). Este modelo captura los elementos y las construcciones naturales y/o artificiales sobre la superficie del terreno.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c895-60b8-6e35-8aba-a780f4d90287

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 35:** Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Urbana

## 5. Metadatos para Modelo Digital de Terreno - Vuelo 2: Neptunia

**Categorías**

- Conjunto de datos - Elevación

**Productos y remesas**

CN-112020-MDT

**Palabras claves**

- MDT
- Relieve
- Elevación

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CN-112020-MDT

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas a partir de los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

10000

**Resolución**

2.5 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

El Modelo Digital de Terreno es un producto derivado de las imágenes tomadas en el vuelo fotogramétrico realizado por los autores para la realización del proyecto de grado y los parámetros de aerotriangulación de las mismas.

Estos son procesados en el software pix4D mapper para generar mediante algoritmos de correlación de píxeles de los pares estereoscópicos el Modelo Digital de Superficie (MDS). Este modelo captura los elementos y las construcciones naturales y/o artificiales sobre la superficie del terreno.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c895-60b8-6e35-8aba-a780f4d90287

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 36:** Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Nacional

## 6. Metadatos para Modelo Digital de Terreno - Vuelo 3: Neptunia

**Categorías**

- Conjunto de datos
- Elevación

**Productos y remesas**

CN-112020-MDT

**Palabras claves**

- MDT
- Relieve
- Elevación

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CN-112020-MDT

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas a partir de los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

10000

**Resolución**

2.5 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

El Modelo Digital de Terreno es un producto derivado de las imágenes tomadas en el vuelo fotogramétrico realizado por los autores para la realización del proyecto de grado y los parámetros de aerotriangulación de las mismas.

Estos son procesados en el software pix4D mapper para generar mediante algoritmos de correlación de píxeles de los pares estereoscópicos el Modelo Digital de Superficie (MDS). Este modelo captura los elementos y las construcciones naturales y/o artificiales sobre la superficie del terreno.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c895-60b8-6c35-8aba-a780f4d90287

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 37:** Metadatos para el Modelo Digital de Terreno - Cobertura Nacional



## 7. Metadatos para Modelo Digital de Superficie - Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas

**Categorías**

- Conjunto de datos
- Elevación

**Productos y remesas**

CU-112020-MDS

**Palabras claves**

- Modelo Digital de Superficie
- MDS
- Elevación

**Idioma**

Español

**Identificador del Recurso**

CU-12020-MDS

**Clasificación**

Desclasificado

**Restricciones legales**

El Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de Udelar, Luis Calderón, Paula Caram, Nathalia Centi y Mauricio Goyetche son los titulares de los derechos de autor sobre las ortoimágenes generadas a partir de los vuelos con tecnología UAV.

**Contacto para el recurso**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay.

- Propietario:

Proyecto de Grado

proyectedegrado.ide@gmail.com

**Información técnica****Estado**

Terminado

**Frecuencia de Actualización**

Desconocido

**Tipo de Representación**

Malla

**Escala**

2000

**Resolución**

0.1 m

**Sistema de Referencia de Coordenadas**

EPSG 5382

**Formato**

TIF

**Estirpe**

El Modelo Digital de Superficie es un producto derivado de las imágenes tomadas en el vuelo fotogramétrico realizado por los autores para la realización del proyecto de grado y los parámetros de aerotriangulación de las mismas. Estos son procesados en el software pix4D mapper para generar mediante algoritmos de correlación de píxeles de los pares estereoscópicos el Modelo Digital de Superficie (MDS). Este modelo captura los elementos y las construcciones naturales y/o artificiales sobre la superficie del terreno y se genera en el software pix4D mapper a partir de algoritmos de correlación de píxeles.

**Contacto**

Proyecto de Grado IDE

Av. Julio Herrera y Reissig 565, 11300, Montevideo - Uruguay

proyectodegrado.ide@gmail.com

**Idioma del Metadato**

Español

**Identificador**

ab99c895-60b8-6e35-8aba-a780f4d90287

**Extensión espacial**

N/A

**Extensión temporal**

Fecha de creación

2020-11-20

Proporcionado por:

Proyecto de Grado

Actualizado:

hace 10 meses

**Cuadro 38:** Metadatos para el Modelo Digital de Superficie - Cobertura Urbana

### 9.3. Recomendaciones para vuelos que cumplan con los estándares de calidad propuestos

En esta sección se plantean las especificaciones de cada producto que se quiere generar - ortoimágenes, MDT y MDS-; cabe destacar que son recomendaciones para futuros vuelos que se realicen con el objeto de actualizar el Vuelo Fotogramétrico Nacional.

#### 1. Especificaciones para Ortoimágenes

##### Introducción

<b><i>Título</i></b>	Ortoimágenes para base de datos IDEUy.
<b><i>Fecha de Referencia</i></b>	Agosto 2021.
<b><i>Referentes</i></b>	Paula Caram - Nathalia Centi - Mauricio Goyetche Montevideo, Uruguay proyectodegrado.ide@gmail.com
<b><i>Idioma</i></b>	Español.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Formato de distribución</i></b>	GeoTIFF.
<b><i>Términos y Definiciones</i></b>	<i>Ortoimagen</i> : Imágenes que tienen perspectiva ortogonal. <i>UAV</i> : Vehículo aéreo no tripulado, comúnmente conocido como Drone. “Ortoimágenes para base de datos IDEUy” es un conjunto
<b><i>Descripción informal del producto de datos</i></b>	de datos ráster que tiene como fin actualizar las ortoimágenes generadas por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.

**Identificación del producto**

<b><i>Título</i></b>	Ortoimágenes para base de datos IDEUy.
<b><i>Resumen</i></b>	Ortoimagen con información obtenida a partir de vuelo UAV.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Propósito</i></b>	Actualizar las ortoimágenes de la IDEUy, originadas por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.
<b><i>Descripción Geográfica</i></b>	Cobertura urbana - Cobertura rural.
<b><i>Tipo de representación espacial</i></b>	Ráster.

**Información de la captura de los datos**

<b><i>Declaración sobre la captura de datos</i></b>	<p>Vuelos con tecnología UAV.</p> <p>Solape longitudinal   transversal (Cobertura Nacional): 60 %   30 %</p> <p>Solape longitudinal   transversal (Cobertura Urbana): 80 %   60 %</p> <p>Altura de vuelo: 60 - 100 m.</p> <p>Puntos de control fotoidentificables.</p>
---	--

**Información de la Calidad de los Datos**

<b>Compleción</b>	Comisión y Omisión	Índice de instancias de los objetos geográficos distintos.	Conforme
	Conceptual	Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual.	Conforme
	Dominio	No aplica.	-
	Formato	Índice de conflictos en la estructura física.	Conforme
<b>Consistencia Lógica</b>	Topológica	No aplica.	-
	Temporal	Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcto.	Conforme
<b>Exactitud Posicional</b>	Absoluta	NSSDA	$\leq 0,34$
	Relativa	No aplica	-
	Corrección de la Clasificación	No aplica	-
	Corrección de atributos no cuantitativos	No aplica	-
<b>Exactitud Temática</b>	Exactitud de atributos cuantitativos	No aplica	-
	Exactitud de una medida de tiempo	No aplica	-

**Información adicional**

**Restricciones de acceso y uso de los datos**

Uso libre y gratuito para todo usuario (IDEUy)

## 2. Especificaciones para Modelos Digitales de Terreno

**Introducción**

<b><i>Título</i></b>	Modelos Digitales de Terreno para base de datos IDEUy.
<b><i>Fecha de Referencia</i></b>	Agosto 2021.
<b><i>Referentes</i></b>	Paula Caram - Nathalia Centi - Mauricio Goyetche Montevideo, Uruguay proyectedegrado.ide@gmail.com
<b><i>Idioma</i></b>	Español.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Formato de distribución</i></b>	LAS.
<b><i>Términos y Definiciones</i></b>	Modelo Digital de Terreno (MDT): Modelo que constituye la conformación o morfología del terreno; recrea la forma del terreno sin los elementos antrópicos que puedan existir. UAV: Vehículo aéreo no tripulado, comúnmente conocido como DRON.
<b><i>Descripción informal del producto de datos</i></b>	“Modelos Digitales de Terreno para base de datos IDEUy” es un conjunto de datos ráster que tiene como fin actualizar los MDT generadas por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.

**Identificación del producto**

<b><i>Título</i></b>	Modelos Digitales de Terreno para base de datos IDEUy.
<b><i>Resumen</i></b>	MDT con información obtenida a partir de vuelo UAV.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Propósito</i></b>	Actualizar el MDT de la IDEUy, originado por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.
<b><i>Descripción Geográfica</i></b>	Cobertura urbana - Cobertura rural.
<b><i>Tipo de representación espacial</i></b>	Conjunto ráster.

### Información de la captura de los datos

<i>Declaración sobre la captura de datos</i>	Vuelos con tecnología UAV.
	Solape longitudinal   transversal (Cobertura Nacional): 60 %   30 %
	Solape longitudinal   transversal (Cobertura Urbana): 80 %   60 %
	Altura de vuelo: 60 - 100 m.
	Puntos de control fotoidentificables.

### Información de la Calidad de los Datos

<b>Compleción</b>	Comisión y Omisión	Índice de instancias de los objetos geográficos distintos.	Conforme
	Conceptual	Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual.	Conforme
	Dominio	No aplica.	-
	Formato	Índice de conflictos en la estructura física.	Conforme
<b>Consistencia Lógica</b>	Topológica	No aplica.	-
	Temporal	Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcto.	Conforme
<b>Exactitud Posicional</b>	Absoluta	NSSDA	$\leq 0,60$
	Relativa	No aplica	-
	Corrección de la Clasificación	No aplica	-
	Corrección de atributos no cuantitativos	No aplica	-
<b>Exactitud Temática</b>	Exactitud de atributos cuantitativos	No aplica	-
	Exactitud de una medida de tiempo	No aplica	-

### Información adicional

#### **Restricciones de acceso y uso de los datos**

Uso libre y gratuito para todo usuario (IDEUy)



## 3. Especificaciones para Modelos Digitales de Superficie

**Introducción**

<b><i>Título</i></b>	Modelos Digitales de Superficie para base de datos IDEUy.
<b><i>Fecha de Referencia</i></b>	Agosto 2021.
<b><i>Referentes</i></b>	Paula Caram - Nathalia Centi - Mauricio Goyetche Montevideo, Uruguay proyectedegrado.ide@gmail.com
<b><i>Idioma</i></b>	Español.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Formato de distribución</i></b>	LAS.
<b><i>Términos y Definiciones</i></b>	Modelo Digital de Superficie (MDS): Modelo que representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra; vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente. UAV: Vehículo aéreo no tripulado, comúnmente conocido como DRON.
<b><i>Descripción informal del producto de datos</i></b>	“Modelos Digitales de Superficie para base de datos IDEUy” es un conjunto de datos ráster que tiene como fin actualizar los MDS generadas por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.

**Identificación del producto**

<b><i>Título</i></b>	Modelos Digitales de Superficie para base de datos IDEUy.
<b><i>Resumen</i></b>	MDS con información obtenida a partir de vuelo UAV.
<b><i>Categoría del tema</i></b>	Tecnología UAV.
<b><i>Propósito</i></b>	Actualizar el MDS de la IDEUy, originado por el Vuelo Fotogramétrico Nacional.
<b><i>Descripción Geográfica</i></b>	Cobertura urbana - Cobertura rural.
<b><i>Tipo de representación espacial</i></b>	Conjunto ráster.

### Información de la captura de los datos

<i>Declaración sobre la captura de datos</i>	Vuelos con tecnología UAV.
	Solape longitudinal   transversal (Cobertura Nacional): 60 %   30 %
	Solape longitudinal   transversal (Cobertura Urbana): 80 %   60 %
	Altura de vuelo: 60 - 100 m.
	Puntos de control fotoidentificables.

### Información de la Calidad de los Datos

<b><i>Compleción</i></b>	Comisión y Omisión	Índice de instancias de los objetos geográficos distintos.	Conforme
	Conceptual	Índice de incumplimiento con las reglas del esquema conceptual.	Conforme
	Dominio	No aplica.	-
	Formato	Índice de conflictos en la estructura física.	Conforme
<b><i>Consistencia Lógica</i></b>	Topológica	No aplica.	-
	Temporal	Índice de eventos ordenados de forma cronológicamente correcto.	Conforme
<b><i>Exactitud Posicional</i></b>	Absoluta	NSSDA	$\leq 0,60$
	Relativa	No aplica	-
	Corrección de la Clasificación	No aplica	-
	Corrección de atributos no cuantitativos	No aplica	-
<b><i>Exactitud Temática</i></b>	Exactitud de atributos cuantitativos	No aplica	-
	Exactitud de una medida de tiempo	No aplica	-

### Información adicional

#### ***Restricciones de acceso y uso de los datos***

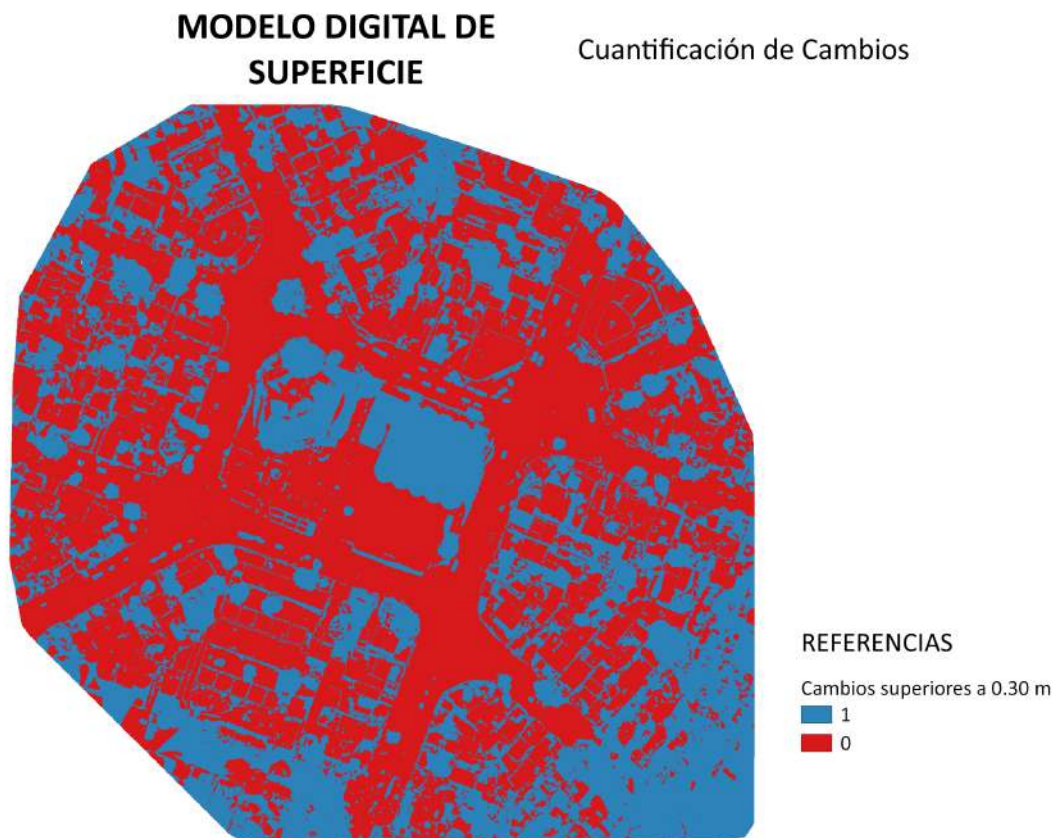
Uso libre y gratuito para todo usuario (IDEUy)

## 10. Análisis Crítico e Interpretación

En la presente sección se efectúan algunos comentarios acerca de los procedimientos y resultados obtenidos a lo largo del trabajo.

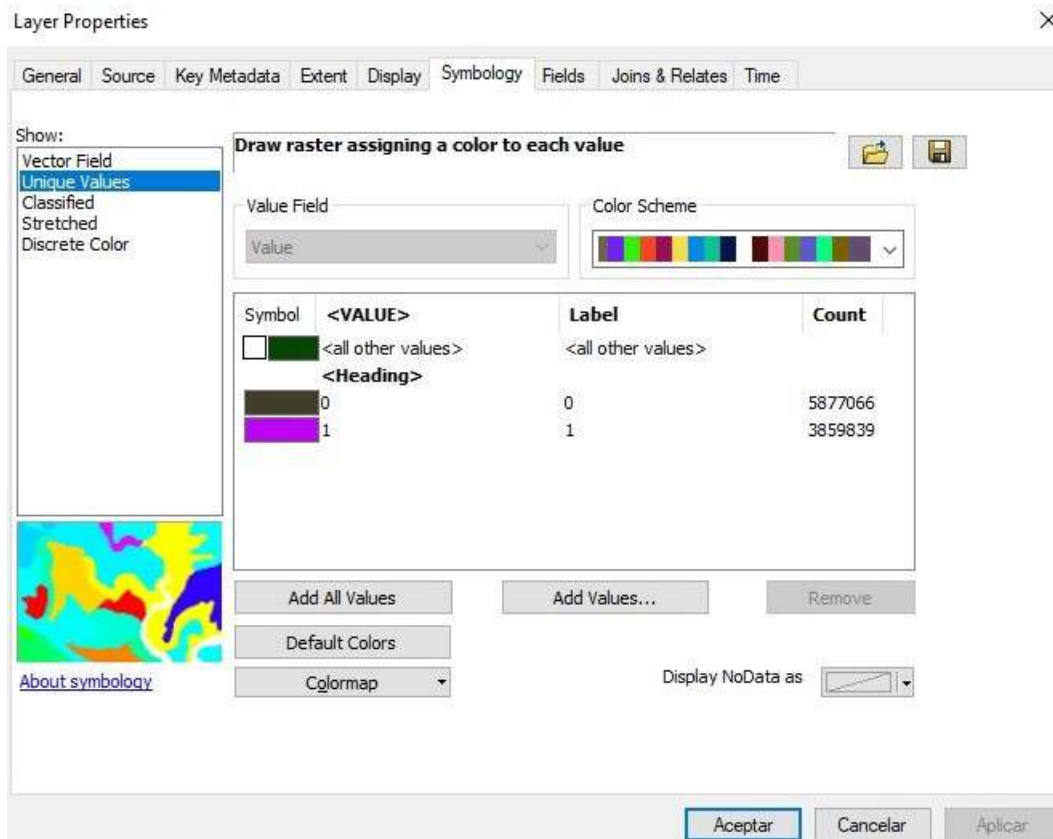
1. Respecto al procedimiento de cuantificación de cambios, la importancia es definir el valor umbral sobre el cual un píxel se considera como cambio o no.

Para ello se realiza el control utilizando como medida umbral un valor de 0.30 m, que se corresponde con la exactitud posicional de la variable z para el MDS de IDEuy. El resultados obtenido se muestra a continuación:



**Figura 41:** Cuantificación de cambios con valor umbral 0.30 m.

Al analizar las estadísticas del raster que se obtiene como resultado, se obtienen los siguientes valores:



**Figura 42:** Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura para umbral de 0,30 m.

Sobre un total de 9.736.905 píxeles, se tiene que 3.859.839 píxeles son mayores al umbral establecido de 0.30 m, representando un 39.6 % de cambios.

Al analizar visualmente los resultados, se puede ver que en las zonas de borde existen muchos píxeles clasificados como cambios y sin embargo al comparar con la ortoimagen se constata que corresponden a las regiones donde se encontraron deformaciones en el control de calidad visual, como se puede ver en la imagen a continuación:

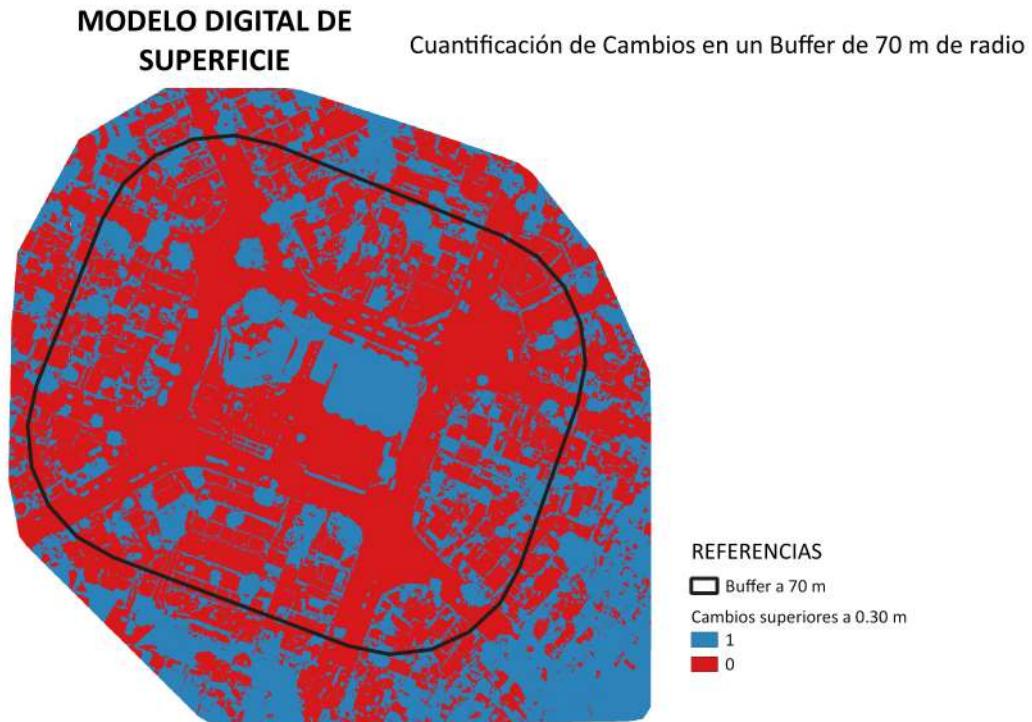




**Figura 43:** Ejemplo de zonas de deformaciones en los bordes del ortomosaico del vuelo Crece Flor de Maroñas.

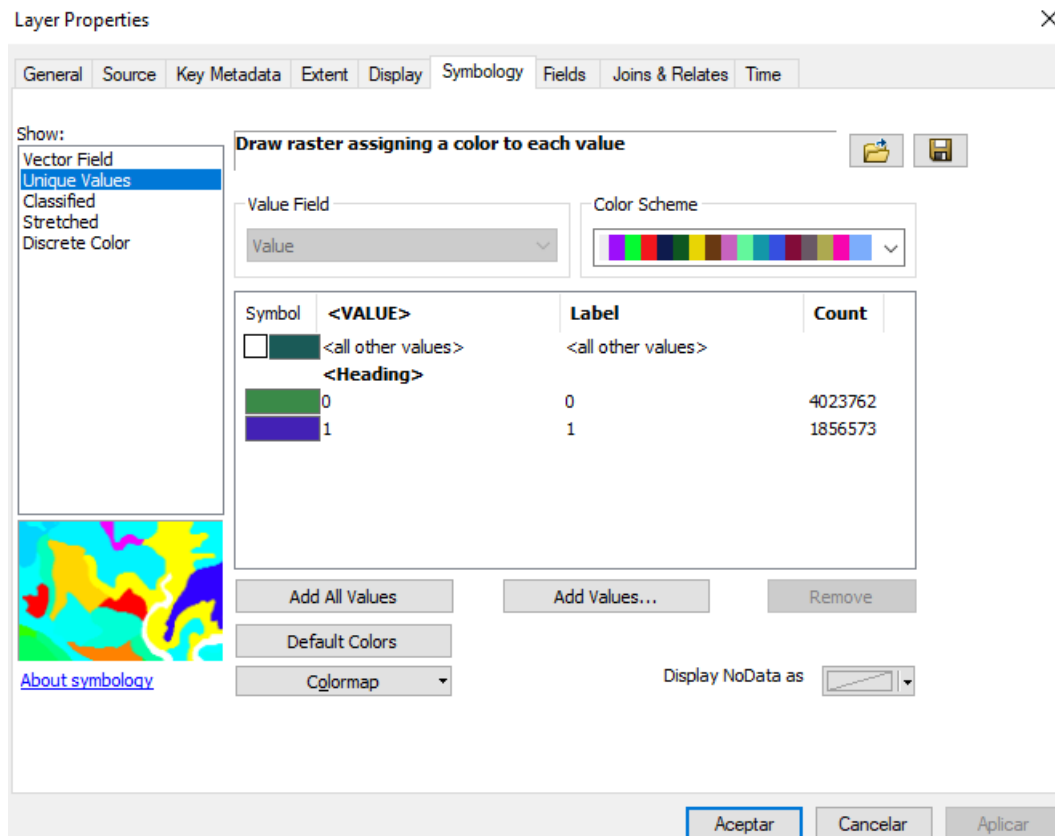
Para subsanar este error de clasificación, se crea un polígono a partir de la zona central de la ortoimagen, en el entorno de la plaza donde se encuentran los mayores cambios, y luego se realiza una zona de influencia de 70 m, para abarcar la mayor cantidad de datos posibles, sin incluir las zonas donde se encontraban las deformaciones.

Con esta zona delimitada, se realizó un recorte al MDS con la herramienta *clip* del software ArcMap para volver a realizar el control de calidad y calcular el Índice de Instancias de Objetos Geográficos Distintos en una zona donde las perturbaciones provocadas por deformaciones en la ortoimagen no afecten.



**Figura 44:** Cuantificación de cambios en buffer de 70 m del vuelo Crece Flor de Maroñas.

La cantidad de píxeles con y sin cambios pasa a ser la siguiente:



**Figura 45:** Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, luego de buffer a 70 m.

Con la nueva región, sobre un total de 5.880.335 píxeles, se obtuvieron 1.856.573 píxeles que presentan un cambio mayor a 0.30 m entre los MDS. Esto representa un porcentaje del 31 %.

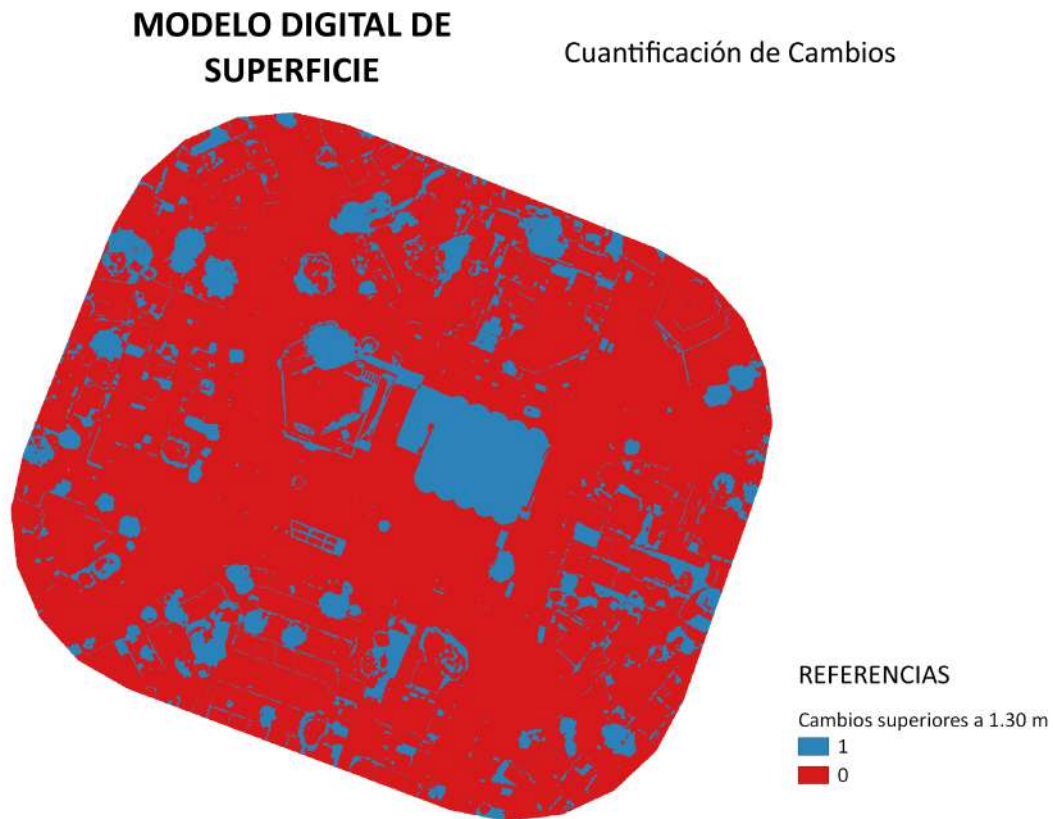
Si bien esta evaluación se hace para un vuelo sobre una zona pequeña que sufrió gran cantidad de modificaciones, se puede ver que hay ciertas superficies que corresponden a pequeñas construcciones, tales como muros de casas, que fueron consideradas como cambios, cuando en un análisis visual entre las dos ortoimágenes (IDEuy y actualización) se puede comprobar que son construcciones ya existentes.

Por lo tanto, se analiza la exactitud posicional de la variable  $z$  para los dos MDS;

- MDS IDEuy: exactitud posicional ( $z$ ) para un 95 % de confianza = 0.30 m.
- MDS actualización: exactitud posicional ( $z$ ) para un 95 % de confianza = 1.30 m.  
El valor de 1.30m surge del valor del RSME obtenido a partir del cálculo del Índice NSSDA para la Exactitud Posicional Altimétrica del MDS.

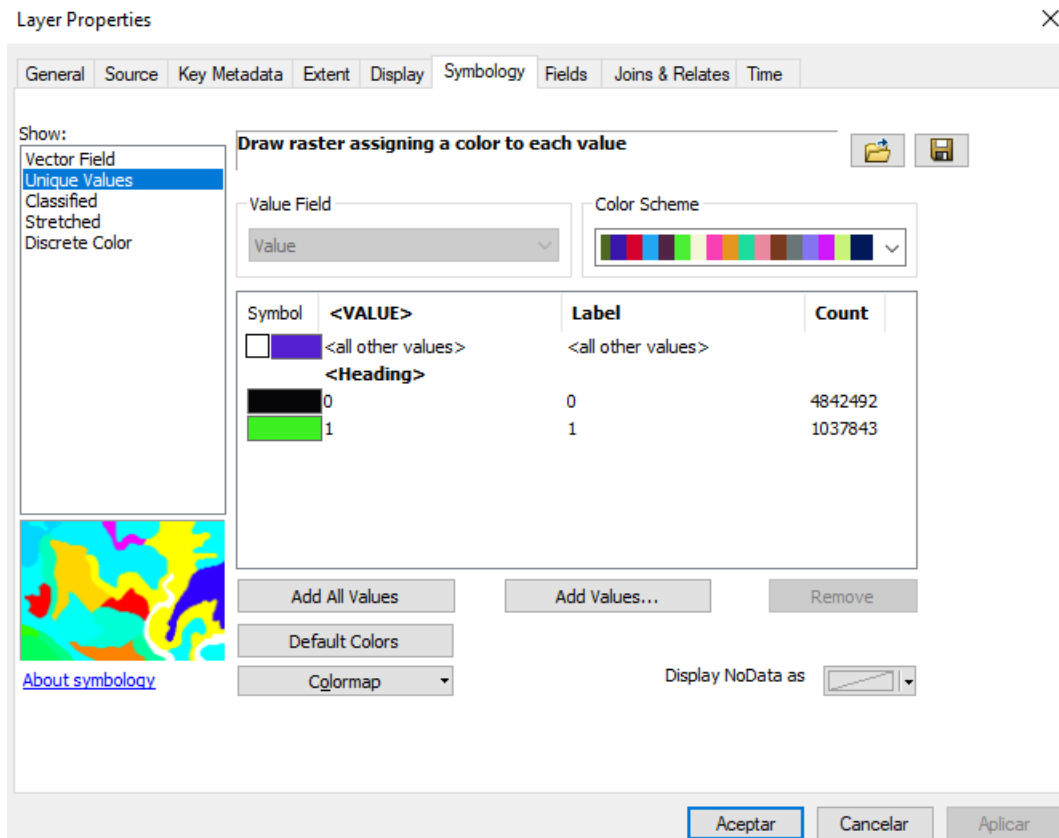
Por lo tanto, se decide aumentar el parámetro de detección de cambios a 1,30 m de diferencia entre ambos modelos, para trabajar fuera del margen de error que ya tienen asociados los productos, y de esta forma el resultado obtenido es el siguiente:





**Figura 46:** Cuantificación de cambios con valor umbral 1,30 m.

Finalmente, luego de definir el nuevo valor umbral y evitar las regiones con deformaciones, sobre un total de 5.880.335 píxeles, se obtuvieron 1.037.843 píxeles que presentan un cambio mayor a 1.30 m entre los MDS. Esto representa un porcentaje de 17.6%.



**Figura 47:** Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, para umbral de 1.30 m.

A continuación, se analiza al detalle el resultado de la exactitud posicional altimétrica del MDS de la actualización, para extraer conclusiones sobre por qué se da un resultado tan diferente y tanto más bajo en calidad que el del MDS del VFN.

Inicialmente se estudia punto a punto, para poder ver dónde se presentan los mayores errores:

Nº pto	Coord Z (Vuelo)	Coord Z ( IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	49,362	49,356	0,006	0,000
2	48,703	48,682	0,021	0,000
3	46,605	46,565	0,040	0,002
4	48,703	48,742	-0,038	0,001
5	49,766	49,014	0,752	0,566
6	52,934	49,298	3,636	13,219
7	47,790	47,880	-0,089	0,008
8	51,529	47,361	4,168	17,371
9	46,449	46,381	0,068	0,005
10	48,360	48,363	-0,004	0,000
11	48,176	48,189	-0,013	0,000
12	47,795	47,739	0,056	0,003
13	49,630	48,210	1,420	2,018
14	47,735	47,724	0,011	0,000
15	47,727	47,757	-0,030	0,001
16	46,109	46,091	0,018	0,000
17	47,282	47,414	-0,132	0,017
18	48,684	47,895	0,789	0,623
19	47,207	47,219	-0,011	0,000
20	47,119	46,990	0,129	0,017
			Suma	33,851
			Promedio	1,693
			RMSE	1,301
			NSSDA	2,550

**Cuadro 39:** Resultados del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.

Como se puede observar, los puntos N<sup>o</sup> 6 y 8, presentan errores posicionales de 3,6 y 4,2 m, por lo tanto se analizan puntualmente.

Se puede ver que el punto N<sup>o</sup> 8 se encuentra muy cercano a un muro divisorio entre propiedades, y por lo tanto esta puede ser la causa de su error posicional, entonces se decide hacer un cambio en la posición.

Sin embargo el punto N<sup>o</sup> 6 se encuentra sobre un cantero en la vereda, que en un análisis visual parece estar muy similar a lo anterior, salvando por una diferencia en vegetación. De todas formas se elige una posición cercana que visualmente no tenga cambios entre un modelo y el otro.

El resultado cambia sustancialmente, como se muestra a continuación:

Nº Pto.	Coord Z (Vuelo)	Coord Z (IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	49,5461186	49,35611	0,19000855	0,03610325
2	48,8869986	48,68227	0,20472855	0,04191378
3	46,7884386	46,56465	0,22378855	0,05008132
4	48,8868086	48,74155	0,14525855	0,02110005
5	49,9496386	49,0139	0,93573855	0,87560663
6	46,7438226	46,660255	0,08356755	0,00698354
7	47,9739786	47,87981	0,09416855	0,00886772
8	48,1684486	48,103226	0,06522255	0,00425398
9	46,6327786	46,38077	0,25200855	0,06350831
10	48,5434886	48,36335	0,18013855	0,0324499
11	48,3595986	48,18933	0,17026855	0,02899138
12	47,9787786	47,73869	0,24008855	0,05764251
13	49,8140586	48,20996	1,60409855	2,57313216
14	47,9186886	47,72419	0,19449855	0,03782969
15	47,9106686	47,75718	0,15348855	0,02355873
16	46,2927286	46,09064	0,20208855	0,04083978
17	47,4653886	47,41389	0,05149855	0,0026521
18	48,8680586	47,89516	0,97289855	0,94653159
19	47,3908886	47,2185	0,17238855	0,02971781
20	47,3026986	46,99046	0,31223855	0,09749291
			Suma	4,97925713
			Promedio	0,24896286
			RMSE	0,49896178
			NSSDA	0,97796509

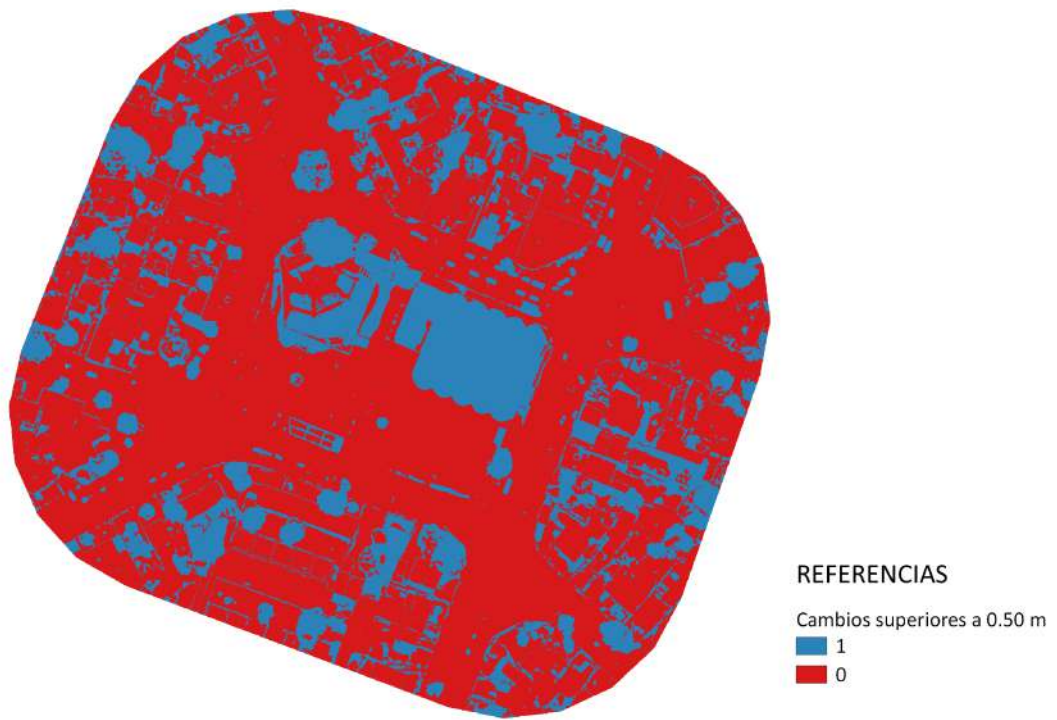
**Cuadro 40:** Resultado corregido del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.

Con la nueva exactitud posicional del MDS actualizado, se realiza nuevamente el procedimiento de detección de cambios, utilizando como umbral 0,50 m.

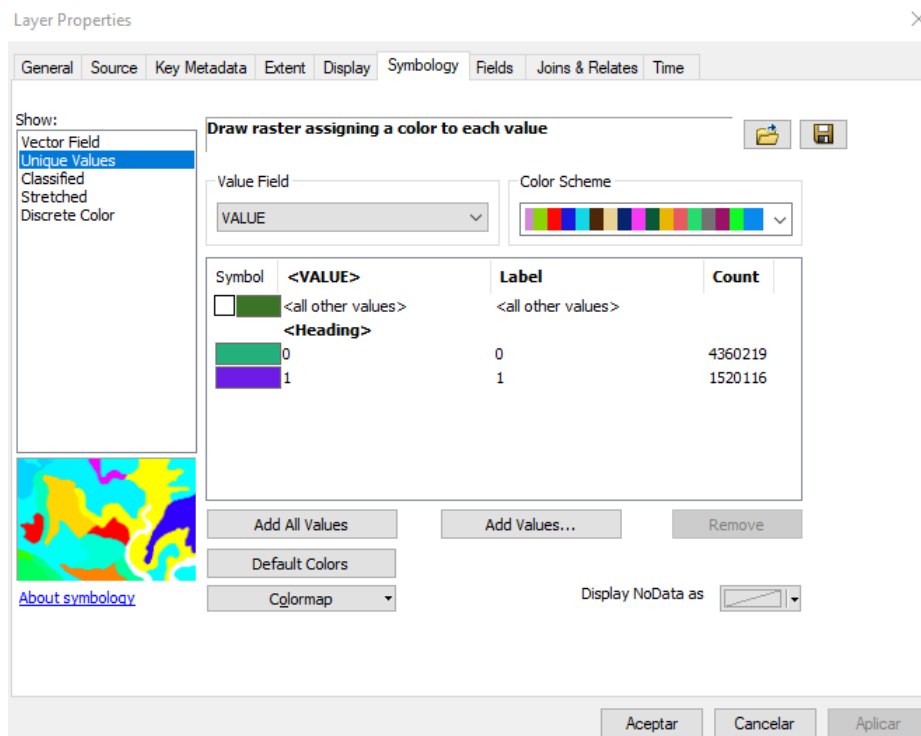
El resultado obtenido se muestra a continuación:

**MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE**

Cuantificación de Cambios



**Figura 48:** Cuantificación de cambios para valor umbral de 0,50 m.



**Figura 49:** Cantidad de píxeles con y sin modificaciones en la altura, para umbral de 0,50 m.

Como se puede ver en la imagen anterior, sobre un total de 5,880,335 píxeles, se obtuvieron 1,520,116 píxeles que presentan un cambio mayor a 0,50 m entre los MDS. Esto representa un porcentaje del 25,8 %

Finalmente, para este control de calidad se extraen dos principales conclusiones:

- a) Como umbral para la detección de cambios, se debería utilizar el mayor valor entre las exactitudes posicionales altimétricas de los modelos para trabajar fuera del margen de error que ya presentan los productos.
  - b) La recomendación del porcentaje para aceptar o rechazar un vuelo es del 25 %, que viene de tomar como referencia el procedimiento realizado para el Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas, donde se sabe por comparación visual que existen cambios significativos, por lo tanto sería de interés poder aceptar este vuelo.
2. Otra característica importante de los productos generados por vuelos fotogramétricos y que se debería tener en cuenta para una actualización es la *resolución espacial*.

El Vuelo Fotogramétrico Nacional fue elaborado pensando en tener una muy buena resolución espacial, tanto en la cobertura urbana como en la nacional, lográndose productos de hasta 0,10m y 0,32m respectivamente. Al querer actualizar este producto, es muy importante que lo que se pretenda incorporar, no signifique una pérdida de calidad respecto a la información existente, por lo tanto, querer actualizar un producto utilizando otro que tenga una resolución espacial menor resulta inconveniente. Es por esto que se realizaron controles de calidad que verifiquen dicha característica.

El código utilizado para realizar este control por parte de IDEuy, lleva a cabo un proceso en el que se busca si la resolución espacial del producto es igual a un cierto valor (con una tolerancia de hasta el 10 %), no dando lugar a que se puedan aceptar productos que tengan una resolución espacial mayor.

A los efectos del trabajo que realizó la IDEuy para crear un mosaico de todo el país, realizar este control donde todas las ortoimágenes tengan las mismas propiedades, resulta lo más apropiado para obtener cierta uniformidad de todo el producto; sería inconveniente tener zonas donde, a modo de ejemplo, una ortoimagen tuviera un tamaño de pixel de

0,32m y la ortoimagen contigua de 0,20m. Esto hubiera dificultado de gran manera el proceso de control de calidad realizado por el organismo sobre los productos que le entregó el consorcio entre Topocart y AT.

Pero, a los efectos de este trabajo, en el que se plantea una actualización a partir de productos obtenidos con tecnología UAV, que pueden generar información con resoluciones espaciales mejores que las obtenidas en el VFN a un costo económico y de tiempos mucho menor, podría ser muy útil para una gran cantidad de aplicaciones, poder aceptar productos con mejores resoluciones espaciales.

Para ello se debería proponer un control diferente al planteado, que se podría realizar de dos formas:

- Modificar el código creado para el control existente <sup>8</sup>.
- Realizar un control manual por parte de un operario, donde cada raster que se pretenda utilizar para la actualización sea revisado utilizando un software GIS para constatar el tamaño de los píxeles. Esta opción dificulta el proceso ya que el requerir recursos humanos lo vuelve más largo, más engorroso y sobre todo más costoso.

En caso de aceptar productos con mayores resoluciones espaciales, el organismo que recibe los productos también podría determinar un valor de resolución espacial mínimo, ya que cuanto más chicos sean los píxeles, cada archivo raster tendrá un peso mayor, dificultando el procesamiento, manejo y almacenamiento de los datos.

3. A partir de los tres vuelos fotogramétricos realizados, con su posterior procesamiento, se obtuvieron tres ortoimágenes de las zonas voladas. Tal como se expuso anteriormente, la extensión de estas imágenes no es de forma cuadrada. Como se puede ver en la Figura 50, en la que se expone la ortoimagen generada con el Vuelo 1, hay zonas sobre los bordes del raster en las que los píxeles tienen valor 0 para las tres bandas -Rojo, Verde y Azul- que la componen. Claramente se puede ver que esos píxeles no son generados por errores o deformaciones producidas por el vuelo o su posterior procesamiento, sino que son regiones donde no se voló y por lo tanto no se tienen imágenes.

---

<sup>8</sup>Esta posibilidad se intentó pero no se pudo realizar, dado que excede el conocimiento de los autores, por ser un área de conocimiento que sobrepasa a la profesión.



La idea del control de la radiometría, es medir dentro de la imagen la cantidad de píxeles sin información. Para las ortoimágenes que disponibiliza la IDEuy, realizar el control automático utilizando el script desarrollado por los autores de este trabajo en Python, es correcto ya que todas las imágenes tienen una extensión cuadrada.

Pero, las imágenes creadas a partir de vuelos fotogramétricos realizados con dispositivos UAV en pequeñas escalas, en comparación con los realizados con un vehículo aéreo que es tripulado como un avión, resultan con una gran cantidad de píxeles defectuosos en los bordes entre la imagen y la extensión del recuadro, que hacen que al realizar el control de calidad automático, no resulte conforme. Es por esto que el procedimiento para el cálculo del porcentaje de píxeles defectuosos se realiza de forma manual.



**Figura 50:** Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 1 “Crece Flor de Maroñas”



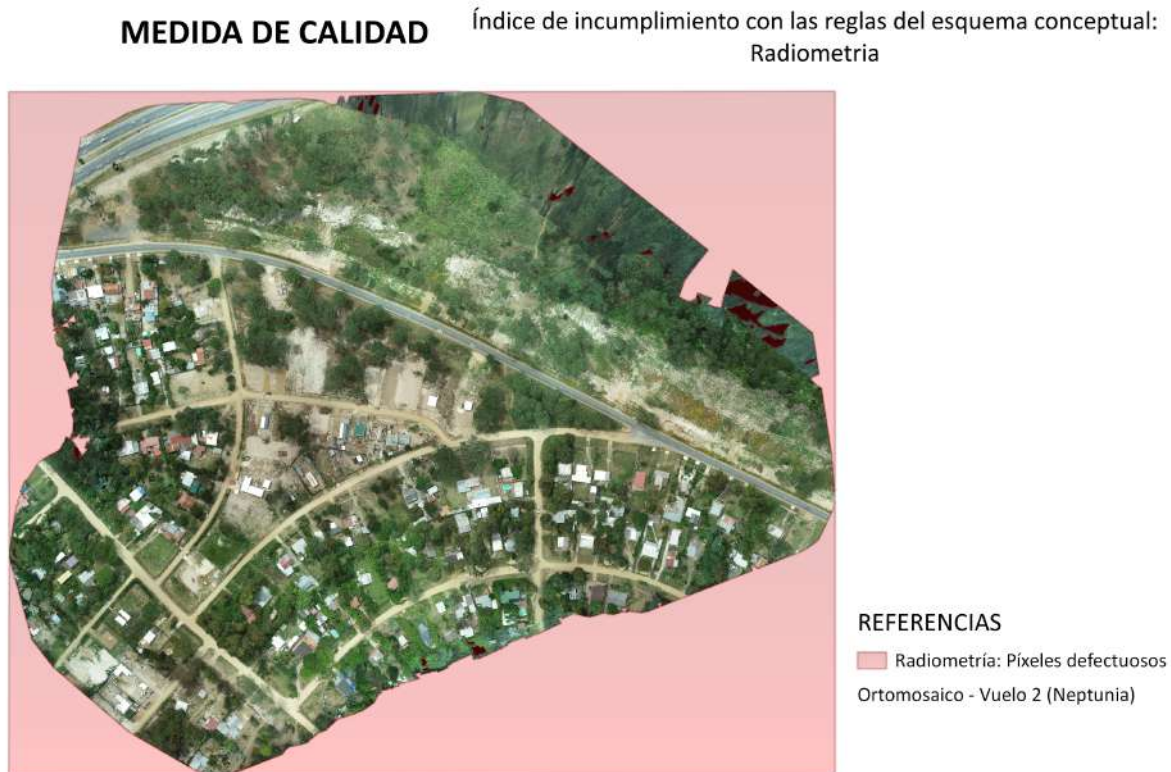


Figura 51: Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 2 (Neptunia)



Figura 52: Resultado de la Radiometría: Píxeles Defectuosos - Vuelo 3 (Neptunia)

Al realizar el control visual se constata que sucede lo mismo en las tres imágenes; en las cuatro esquinas de los raster se encuentran las regiones más grandes con píxeles defectuosos, es por esto que se procede a calcular el porcentaje de píxeles defectuosos en caso de tener en cuenta o no esas regiones.

	Porcentaje Pixeles defectuosos	
	Con bordes	Sin bordes
Vuelo 1	16 %	0,15 %
Vuelo 2	22 %	0,0025 %
Vuelo 3	19 %	0,000056 %

**Cuadro 41:** Comparación de porcentaje de píxeles defectuosos.

Resulta evidente que el motivo por el que las ortoimágenes no resultaron conformes al control de calidad es debido a los píxeles defectuosos ubicados sobre los bordes de las imágenes, que es donde no se tiene información del vuelo y se puede ver que en caso de no tenerlos en cuenta, las tres ortoimágenes resultan satisfactorias para el control de calidad planteado.

Una posible solución es que en los casos donde el automatismo dé como resultado que no es conforme, se realice el control manual por parte de un operario.

- Al realizar el control de la calidad visual se hallaron diversas zonas donde la deformación era muy notoria. Esto trae consigo que los tres productos generados, ortoimágen, MDT y MDS, presenten inconvenientes a la hora de utilizarlos. Los modelos de elevaciones tienen en esas zonas valores de altura que no se condicen con la realidad, por lo que para la realización de algunos de los controles debieron ser recortados.

Estas deformaciones se encuentran ubicadas sobre los bordes de las ortoimágenes. Esto es provocado por la falta de imágenes que tienen los vuelos con drones sobre los bordes, lo que a la hora del procesamiento implica que no se tenga suficientes puntos homólogos y por lo tanto no se pueda reconstruir correctamente el relieve del terreno.

Para subsanar este problema, una posible solución es recortar las zonas donde se encuentran deformaciones u otros elementos que distorsionen las imágenes, obteniendo productos de

menor extensión territorial pero de mejor calidad.

También se puede resolver este problema realizando vuelos con una extensión mayor a la zona de interés, porque de esta forma los bordes, que no aportan información de calidad, pueden ser recortados y excluidos del análisis, sin perder información de la zona de estudio.

## 11. Conclusiones

El presente proyecto de grado se plantea con el fin de encontrar un modo de actualizar un producto revolucionario para el Uruguay, como es el Vuelo Fotogramétrico Nacional realizado entre los años 2017 y 2018, dado que desde el año 1966 no se realizaba un relevamiento de una extensión semejante.

Este proyecto del VFN conllevó una gran inversión por parte del Estado uruguayo para obtener las imágenes y sus productos asociados. El constante cambio que se produce en el territorio hace que, en ciertas zonas, los productos vayan quedando desactualizados, por lo que encontrar una solución se vuelve imperioso para que no quede obsoleta la inversión realizada.

Por esto es que se buscó encontrar posibles soluciones que estén al alcance de las tareas que puede realizar un Ingeniero Agrimensor, mediante la utilización de dispositivos UAV.

En primer término se estudiaron los antecedentes e información que existían en lo referente al VFN y se encontró un gran catálogo de datos abiertos disponible a la población para su uso libre, abarcando un sin número de posibles aplicaciones. Se considera que es muy importante este aspecto de datos abiertos, ya que universaliza el acceso a la información y permite su utilización en todo tipo de aplicaciones.

A partir de los tres vuelos fotogramétricos realizados en el presente trabajo, en zonas donde se habían encontrado grandes cambios entre el momento en que fue realizado el VFN y la actualidad, se generaron las ortoimágenes y modelos de elevaciones que fueron sometidos a exhaustivos controles de calidad, buscando que los nuevos productos estén a la altura de los producidos por la IDEuy.

En el mundo, y Uruguay no es la excepción, el uso de drones se ha extendido de forma exponencial, ya que es cada vez más fácil acceder a ellos por su bajo costo, la versatilidad que tienen para distintos usos y la simplicidad para operarlos.

La gran cantidad de usos que se le puede dar a los productos que se generan con los vuelos de drones, hace que se extienda cada vez más en la práctica de distintas actividades. A la agrimensura como disciplina no le es esquivo, ya que se encuentran cada vez más profesionales pudiendo acceder a esta tecnología para el ejercicio de la profesión.

Es por esto que se podría pensar en la creación de un banco de datos donde se vuelquen ortoimágenes y modelos digitales de elevaciones generados tanto por personas, como por empresas públicas o privadas, que se vuelvan datos abiertos para la actualización de los producidos por el VFN y para libre utilización del público en general, donde incluso se puede encontrar quienes los utilicen con otros objetivos distintos a los que fueron concebidos inicialmente.

Dentro del Estado hay una gran diversidad de organismos que actualmente son generadores de información de este tipo, que de ser puestos a disposición del público en general, luego pueden ser utilizados por otras instituciones con otros fines. Algunos ejemplos de estos organismos son; el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Instituto Nacional de Colonización, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Sistema Nacional de Emergencias, Intendencias, Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial, entre otros.

Se pueden encontrar una gran diversidad de posibles usos a la disponibilización de productos de vuelos fotogramétricos. A modo de ejemplo; la Dirección General de Recursos Naturales del Ministerio de Ganadería es la entidad estatal encargada de promover, regular y controlar el uso y manejo responsable y sostenible de los recursos naturales de interés para la producción agropecuaria. En el año 2008 se estableció la obligatoriedad de la presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos ante el MGAP. Estos planes son obligatorios para llevar a cabo un proyecto de agricultura. La posibilidad de tener una base de datos de productos obtenidos mediante vuelos fotogramétricos, que sea colaborativo y que se actualice en el tiempo, puede resultar de utilidad para esta entidad estatal, para llevar un control del cumplimiento de los planes de uso presentados.

También las intendencias departamentales o la Dirección Nacional de Catastro pueden ser usuarios beneficiados por un banco de datos como el que se plantea, pudiendo utilizar las nuevas ortoimágenes y modelos de superficie para fiscalizar nuevas construcciones realizadas por las que no se tenga información en sus bases de datos.

Los mismos organismos pueden utilizar estos productos para fiscalizar el cumplimiento de los planes de ordenamiento territorial y asentamientos humanos en las zonas definidas con dicho uso.

En cuanto a los controles de calidad planteados, se buscó poder automatizar lo mayor posible

estos procedimientos, ya que esto minimiza la necesidad de contar con personal realizando dichas tareas. Esto trae una mejora en los tiempos que llevan realizar los controles, necesitando solamente algunos segundos para obtener los resultados. Además es un ahorro muy importante de recursos financieros, ya que los recursos humanos son un aspecto que tiene un peso importante a la hora de gestionar un proyecto.

El presente trabajo fue pensado y desarrollado teniendo como base el VFN y los productos asociados que tiene disponible la IDEuy, pero, la información que se pone a disposición en el presente trabajo, puede adaptarse a la actualización de otras ortoimágenes y modelos de elevaciones, con la versatilidad de poder cambiar los parámetros de los controles de calidad propuestos, adaptándolos a otras exigencias.

Por otro lado, hay ciertas líneas o temas en los que podría ser interesante ahondar en futuros trabajos de grado, tanto de la carrera Agrimensura como Tecnólogo en Cartografía.

Uno de ellos es el caso de la detección de cambios; si bien la metodología empleada para este trabajo es medianamente sencilla, por el hecho de que el objetivo del mismo no es el desarrollo de una herramienta que permita detectar cambios entre dos productos, al momento de estudiar sobre el tema se encuentra que hay diferentes algoritmos, con diferentes niveles de complejidad, incluso basados en *Deep Learning*, y apuntan a un diverso número de aplicaciones para poder detectar cambios utilizando cartografía digital de distintos tipos y épocas.

Esta diversidad de opciones y complejidades hace que sea muy interesante estudiar y profundizar en la temática, además de que este tipo de algoritmos tiene grandes aplicaciones en diferentes rubros, como pueden ser los catastros, aplicaciones forestales, de agricultura, ayuda en la toma de decisiones de diferentes organismos, estudios de catástrofes naturales, crecimiento de las ciudades y asentamientos humanos, entre otros.

Desde otro punto de vista, se podría profundizar en la representación futura de estos posibles datos a recopilar de llevarse a cabo la actualización de la forma que se está proponiendo. Dentro de esta posible línea de investigación podrían trabajar estudiantes de Cartografía y Agrimensura especializados en los Sistemas de Información Geográfica, así como también en un equipo multidisciplinario con profesionales de la Ingeniería en Sistemas o técnicos del rubro de la programación y desarrollo de aplicaciones web.

## 12. Bibliografía

- Bermúdez, H.(2018). *Apuntes de Fotogrametría*. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ingeniería UDELAR.
- Bernabé-Poveda, M. A., & López-Vázquez, C. M. (2012). *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE)* (1.a ed.). UPM Press.
- Calderón,L.(2020). *Apuntes de Sistema de Información Geográfica*. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ingeniería UDELAR.
- Coelho, L., & Nunes Brito, J. (2007). *Fotogrametría Digital*. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (EdUERJ).
- Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay. (2018, diciembre). *Especificación Técnica: Calidad de la Información Geográfica* (N.º 01.00).
- Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEuy) Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC). (2019, enero). *Selección de puntos de control: Metodología y procedimientos*.
- Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEuy) Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC). (2019, diciembre). *Manual de procedimientos para el control de calidad de ortoimágenes y modelos digitales de elevación*.
- Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEuy). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: Sistemas de Referencias, Sistemas de Proyecciones*.
- Lesparre, K. (2020). *Control de exactitud planialtimétrica de MDT y comparación de modelos topográficos en una centralidad de Ciudad del Plata: apoyo al estudio de escurrimiento superficial*. Montevideo, Uruguay: Facultad de Ingeniería UDELAR .
- Ruiz Fernández, L. A.(fecha no publicada) *Métodos de detección de cambios en teledetección*.
- Shu Su, Takahiko Nawata, Takeru Fuse. (2020, agosto). *Building Change Detection from Bitemporal Aerial Images using deep learning*.
- Javadi, S., Dahl, M., Pettersson, M. I. (2020, abril). *Change Detection in Aerial Images*

*Using Three-Dimensional Feature Maps.*

- Minnesota Planning Land Management Information Center. (1999, octubre). *Positional Accuracy Handbook Using the National Standard for Spatial Data Accuracy to measure and report geographic data quality.*
- Hernández Magaña, A. I., Güiza Valverde, F. N. (2016). Información Geográfica Voluntaria (IGV), estado del arte en Latinoamérica. *Revista Cartográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)*, 93, 37-57.
- Martínez De Ibarreta Soriano, C. (2016). La Información Geográfica Voluntaria: ¿cómo establecer y evaluar su calidad? *Revista Cartográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)*, 93, 59-73.



## 13. Glosario

**ArcMap:** Aplicación central de ArcGIS desarrollada por ESRI, donde se puede visualizar, explorar crear y editar Datasets de GIS.

**IDE:** Es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web) dedicados a gestionar información geográfica disponibles en Internet, que cumplen una serie de condiciones de interoperabilidad que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades.

**IDEuy:** Infraestructura de Datos Espaciales del Uruguay

**Fotografías aéreas:** Son fotografías generadas por vuelos fotogramétricos.

**Geoide:** Superficie equipotencial de la gravedad que se asemeja con los océanos supuestos en reposo prolongados por debajo de los continentes.

**Ortoimagen:** Es una imagen producto de la toma de fotografías aéreas o satelitales, que son corregidos los desplazamientos que son causados por la inclinación del sensor y la curvatura del terreno.

**MDT:** Modelo digital de terreno es un conjunto de capas generalmente raster, que representan distintas características de la superficie terrestre.

**MDS:** Un Modelo Digital de Superficie es una representación de todos y cada uno de los elementos que se encuentran en el terreno.

**Modelo:** Representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades.

**NSSDA:** Estándar estadounidense usado por agencias federales de Estados Unidos que producen datos geográficos para calcular la exactitud posicional de productos cartográficos.

**Píxel:** Es la unidad más pequeña de una imagen digital.

**Pix4D mapper:** Software utilizado para el procesamiento de vuelos fotogramétricos para la generación de nubes de puntos, modelos de superficie, modelos de terreno, ortomosaicos o modelos de textura.

**Ráster:** Estructura de datos formada por una matriz de píxeles organizados en columnas y filas, dando lugar a una cuadrícula de celdas, las cuales presentan el valor que representa la información en cuestión.

**UAV:** Un vehículo aéreo no tripulado es una aeronave que funciona de forma remota sin necesidad de tripulación que lo maneje.

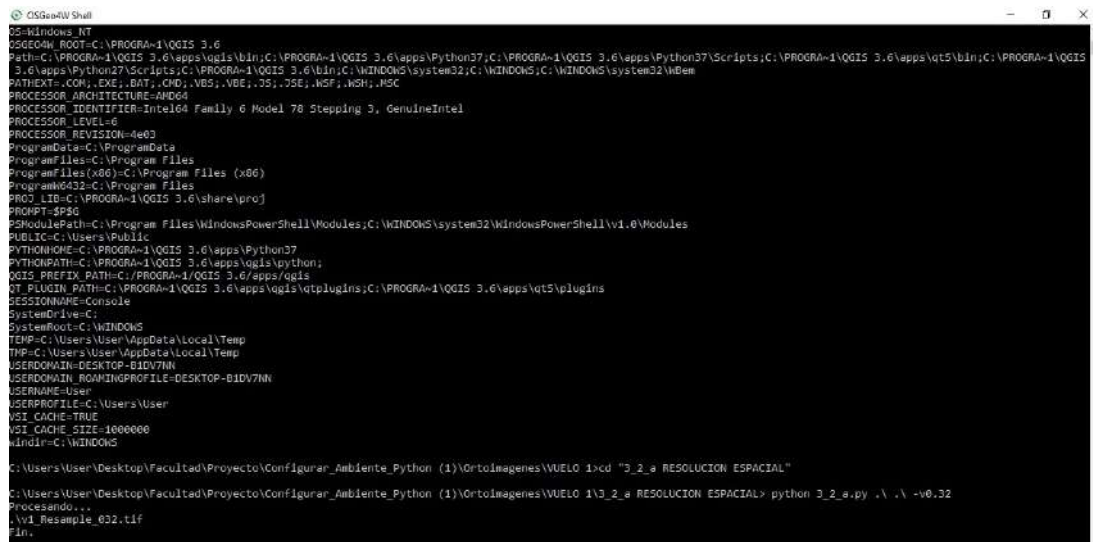
**UTM:** Universal Transversa Mercator es un sistema de proyección geodésico universal.

**Vuelo Fotogramétrico Nacional:** Proyecto desarrollado por la Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento, y gestionado por la Infraestructura de Datos del Uruguay para la ejecución de un relevamiento aerofotogramétrico de todo el territorio de Uruguay.

## 14. Anexos

### 14.1. Scripts empleados para evaluación de calidad

Se agrega una captura de pantalla del software OSGeo4W Shell empleado para llevar adelante los controles de calidad automatizados.



```
OSGeo4W Shell
OS: Windows_NT
OSGEO4W_ROOT=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6
Path=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qgis\bin;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\Python37;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\Python37\Scripts;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qt5\bin;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\Python27\Scripts;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\bin;C:\WINDOWS\system32;C:\WINDOWS\system32\Wbem;C:\WINDOWS\system32\WindowsPowerShell\v1.0\Modules
PATHEXT=.COM;.EXE;.BAT;.CMD;.VBS;.VBE;.JS;.JSE;.WSF;.WSH;.MSC
PROCESSOR_ARCHITECTURE=AMD64
PROCESSOR_IDENTIFIER=Intel64 Family 6 Model 78 Stepping 3, GenuineIntel
PROCESSOR_LEVEL=6
PROCESSOR_REVISION=4e03
ProgramData=C:\ProgramData
ProgramFiles=C:\Program Files
ProgramFiles(x86)=C:\Program Files (x86)
ProgramW6432=C:\Program Files
PROJ_LIB=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\share\proj
PROMPT=$P$G
PSModulePath=C:\Program Files\WindowsPowerShell\Modules;C:\WINDOWS\system32\WindowsPowerShell\v1.0\Modules
PUBLIC=C:\Users\User\Public
PYTHONHOME=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\Python37
PYTHONPATH=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qgis\python;
QGIS_PREFIX_PATH=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qgis
QT_PLUGIN_PATH=C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qgis\qtplugins;C:\PROGRAMA-1\QGIS 3.6\apps\qt5\qtplugins
SESSIONNAME=Console
SystemDrive=C:
SystemRoot=C:\WINDOWS
TEMP=C:\Users\User\AppData\Local\Temp
TMP=C:\Users\User\AppData\Local\Temp
USERDOMAIN=DESKTOP-B1DV7NN
USERDOMAIN_ROAMINGPROFILE=DESKTOP-B1DV7NN
USERNAME=User
USERPROFILE=C:\Users\User
WSI_CACHE=TRUE
WSI_CACHE_SIZE=1000000
windir=C:\WINDOWS

C:\Users\User\Desktop\Facultad\Proyecto\Configurar_Ambiente_Python (1)\Ortoimagenes\WUELO 1>cd "3_2_a RESOLUCION ESPACIAL"
C:\Users\User\Desktop\Facultad\Proyecto\Configurar_Ambiente_Python (1)\Ortoimagenes\WUELO 1\3_2_a RESOLUCION ESPACIAL> python 3_2_a.py .\ .\ -v0.32
Procesando...
.\v1_Resample_032.tif
Fin.
```

Figura 53: Control de resolución espacial de ortomagen con OSGeo4W Shell.

```

1  import arcpy
2  import numpy as np
3
4  arcpy.env.workspace = r"\\\"
5
6  vMDS_IDE = r"d:\Borrar\LUIS\MDS_IDE.tif"
7  vMDS_Analizar = r"d:\Borrar\LUIS\MDS_ANALIZAR.tif"
8  vMDS_IDE = vMDS_IDE.lower()
9  vMDS_Analizar = vMDS_Analizar.lower()
10
11 inRas_Analizar = arcpy.Raster(vMDS_Analizar)
12
13 vExt = inRas_Analizar.extent
14 vExt_Str = str(vExt.XMin) + " " + str(vExt.YMin) + " " + str(vExt.XMax) + " " + str(vExt
.YMax)
15 print(vExt_Str)
16
17 # Clip_management
18 vTemp_Clip = vMDS_IDE.replace(".tif", "_clip.tif")
19 # if arcpy.Exists(vTemp_Clip):
20     # print("Borrando archivo " + vTemp_Clip)
21     # arcpy.Delete_management(vTemp_Clip)
22
23 # arcpy.env.snapRaster = vMDS_Analizar
24
25 # arcpy.Clip_management(in_raster = vMDS_IDE, rectangle = vExt_Str, out_raster =
vTemp_Clip, in_template_dataset = vMDS_Analizar, nodata_value = "-3.402823e+038",
clipping_geometry = "NONE", maintain_clipping_extent = "MAINTAIN_EXTENT")
26
27 inRas_IDE = arcpy.Raster(vTemp_Clip)
28 inRas_Analizar = arcpy.Raster(vMDS_Analizar)
29
30 arr_IDE = arcpy.RasterToNumPyArray(inRas_IDE) #, nodata_to_value = 0)
31 arr_Analizar = arcpy.RasterToNumPyArray(inRas_Analizar, nodata_to_value = -1000)
32
33 arr_Zona = np.where(arr_Analizar == -1000, 0, 1)
34
35 arrResultado = np.absolute(arr_IDE - arr_Analizar + 14.48)
36 arrResultado = arrResultado * arr_Zona
37 arrResultado = np.where(arrResultado > 1, 1, 0)
38 # Propiedades.
39 lowerLeft = arcpy.Point(inRas_Analizar.extent.XMin, inRas_Analizar.extent.YMin)
40 cellSize = inRas_Analizar.meanCellWidth
41
42 #Convert Array to raster (keep the origin and cellsize the same as the input)
43 outRas = vMDS_Analizar.replace(".tif", "_out.tif")
44
45 if arcpy.Exists(outRas):
46     print("Borrando archivo " + outRas)
47     arcpy.Delete_management(outRas)
48
49 newRaster = arcpy.NumPyArrayToRaster(arrResultado, lowerLeft, cellSize, value_to_nodata=
0)
50 newRaster.save(outRas)
51 print("Archivo "+ outRas + " generado.")
52
53 exit()

```

```

1  import sys
2  import os, errno
3  import csv
4  import argparse
5  import math
6  import numpy as np
7  from qgis.core import QgsApplication, QgsRasterLayer
8  from osgeo import gdal, osr
9  gdal.UseExceptions()
10
11 def formatFileName(f):
12     bn = os.path.basename(f)
13     return os.path.splitext(bn)[0]
14
15 def formatBoolean(b):
16     if b:
17         return 'S'
18     else:
19         return 'N'
20
21 def conforme(v):
22     return v == 'S'
23
24 def startDetailOutputFile(f):
25     with open(f, 'w', newline = '') as csvfile:
26         writer = csv.writer(csvfile)
27         writer.writerow(['nombre', 'conforme', 'pixel', 'vmin', 'vmax'])
28
29 def appendToDetailOutputFile(f, row):
30     with open(f, 'a', newline = '') as csvfile:
31         writer = csv.writer(csvfile)
32         writer.writerow(row)
33
34 def writeResumeOutputFile (f, d):
35     with open(f, 'w', encoding='utf-8') as o:
36         o.write('Parámetros: {}\n'.format(d['params']))
37         o.write('Cantidad de archivos procesados: {}\n'.format(d['nfc']))
38         o.write('Cantidad de archivos no conformes: {}\n'.format(d['nnc']))
39         o.write('\n'.join(d['fnc']))
40
41 def getArgs():
42     parser = argparse.ArgumentParser(description='Verifica, para cada imagen tif o
43     archivo tfw del directorio de entrada, que el tamaño del pixel se encuentre en un
44     rango de conformidad')
45     parser.add_argument('entrada', help='directorio de entrada de imágenes')
46     parser.add_argument('salida', help='directorio de salida del programa')
47     parser.add_argument('-v', '--valor', type=float, default=0.1, help='valor conforme
48     (default=0.1)')
49     parser.add_argument('-d', '--desviacion', type=float, default=0.1, help='desviación
50     del valor conforme (default=0.1)')
51     parser.add_argument('-f', '--formato', choices=['tif', 'tfw'], default='tif', help=
52     'formato de los archivos a verificar (default="tif")')
53     parser.add_argument('-l', '--libreria', choices=['gdal', 'qgis'], default='gdal',
54     help='librería a utilizar (default="gdal")')
55     parser.add_argument('-sd', '--detalle', default='detalle.csv', help='nombre salida
56     del detalle en formato csv (default="detalle.csv")')
57     parser.add_argument('-sr', '--resumen', default='resumen.txt', help='nombre salida
58     del resumen en formato txt (default="resumen.txt")')
59     parser.add_argument('--recursivo', dest='recursivo', action='store_true', help=
60     'analizar subdirectorios')
61     parser.add_argument('--no-recursivo', dest='recursivo', action='store_false', help=
62     'NO analizar subdirectorios (default)')
63     parser.set_defaults(recursivo=False)
64     args = parser.parse_args()
65     return args
66
67 def getFiles(d, r, formato):

```

```

58     fs = []
59     fext = '{}'.format(formato)
60     if not r:
61         fs = [os.path.join(d, f) for f in os.listdir(d) if os.path.isfile(os.path.join(d
62             , f)) and f.endswith(fext)]
63     else:
64         for root, _, files in os.walk(d):
65             fs.extend([os.path.join(root, f) for f in files if f.endswith(fext)])
66     return fs
67
68 def getDataset(f):
69     ds = None
70     try:
71         ds = gdal.Open(f)
72     except RuntimeError:
73         pass
74     return ds
75
76 def getRasterBand(ds, n):
77     rb = None
78     try:
79         rb = ds.GetRasterBand(n)
80     except RuntimeError:
81         pass
82     return rb
83
84 def getValueADBE(a, d, b, e):
85     xy = [a, e]
86     if d != 0 or b != 0:
87         xy[0] = math.sqrt(a*a + d*d)
88         xy[1] = math.sqrt(b*b + e*e)
89     return xy
90
91 def getValueTfw(f):
92     with open(f, 'r') as r:
93         try:
94             a = float(r.readline().rstrip())
95             d = float(r.readline().rstrip())
96             b = float(r.readline().rstrip())
97             e = float(r.readline().rstrip())
98         except:
99             return [None, None]
100     r.closed
101     return getValueADBE(a, d, b, e)
102
103 def getValueGdalTif(ds):
104     gt = ds.GetGeoTransform()
105     return getValueADBE(gt[1], gt[2], gt[4], gt[5])
106
107 def getValueQgisTif(rl):
108     return [rl.rasterUnitsPerPixelX(), rl.rasterUnitsPerPixelY()]
109
110 def processValues(xy, f, v, d):
111     vmin = v * (1 - d)
112     vmax = v * (1 + d)
113     c = False
114     x = xy[0]
115     if x < 0:
116         x = -x
117     y = xy[1]
118     if y < 0:
119         y = -y
120     # calculo conforme
121     if x and y:
122         c = x >= vmin and x <= vmax and x >= vmin and y <= vmax
123     pv = x
124     if y < x:

```

```

124         pv = y
125
126
127         return [formatFileName(f), formatBoolean(c), pv, vmin, vmax]
128
129 def qgsInit(pp):
130     QgsApplication.setPrefixPath(pp, True)
131     qgs = QgsApplication([], False)
132     qgs.initQgis()
133     return qgs
134
135 def qgsExit(qgs):
136     qgs.exitQgis()
137
138 if __name__ == '__main__':
139     # start qgis
140     qgs = qgsInit('C:\\OSGeo4W64\\apps\\qgis\\')
141     # execute logic
142     params = ' '.join(sys.argv)
143     args = getArgs()
144     if not os.path.isdir(args.entrada):
145         print('ERROR: {} no es un directorio válido.'.format(args.entrada))
146         sys.exit()
147     files = getFiles(args.entrada, args.recursivo, args.formato)
148     try:
149         os.makedirs(args.salida)
150     except OSError as e:
151         if e.errno != errno.EEXIST:
152             print('ERROR: al crear el directorio {}'.format(args.salida))
153             sys.exit()
154     fd = os.path.join(args.salida, args.detalle)
155     fr = os.path.join(args.salida, args.resumen)
156     startDetailOutputFile(fd)
157     # datos resumen
158     frd = {
159         'params': params,
160         'nf': len(files),
161         'nnc': 0,
162         'fnc': []
163     }
164     print('Procesando...')
165     for f in files:
166         print(f)
167         # proceso valores
168         v = None
169         if args.formato == 'tif':
170             if args.libreria == 'gdal':
171                 ds = getDataset(f)
172                 if ds:
173                     v = getValueGdalTif(ds)
174             else:
175                 rl = QgsRasterLayer(f)
176                 v = getValueQgisTif(rl)
177         else:
178             v = getValueTfw(f)
179         if v:
180             r = processValues(v, f, args.valor, args.desviacion)
181             # r = [f, c, x, y, vmin, vmax]
182             appendToDetailOutputFile(fd, r)
183             if not conforme(r[1]):
184                 frd['nnc'] = frd['nnc'] + 1
185                 frd['fnc'].append(f)
186     writeResumeOutputFile(fr, frd)
187     print('Fin.')
188     # exit qgis
189     qgsExit(qgs)
190

```

```

1  import sys
2  import os, errno
3  import csv
4  import argparse
5  import numpy as np
6  import xml.etree.ElementTree as ET
7  from qgis.core import QgsApplication
8  from osgeo import gdal, osr
9  gdal.UseExceptions()
10
11 def formatFileName(f):
12     bn = os.path.basename(f)
13     return os.path.splitext(bn)[0]
14
15 def formatBoolean(b):
16     if b:
17         return 'S'
18     else:
19         return 'N'
20
21 def conforme(v):
22     return v == 'S'
23
24 def startDetailOutputFile(f, formato):
25     h = ['nombre', 'conforme']
26     if formato == 'tif':
27         h.extend(['geogcs', 'projcs'])
28     else:
29         h.append('epsg')
30     with open(f, 'w', newline = '') as csvfile:
31         writer = csv.writer(csvfile)
32         writer.writerow(h)
33
34 def appendToDetailOutputFile(f, row):
35     with open(f, 'a', newline = '') as csvfile:
36         writer = csv.writer(csvfile)
37         writer.writerow(row)
38
39 def writeResumeOutputFile (f, d):
40     with open(f, 'w', encoding='utf-8') as o:
41         o.write('Parámetros: {}\n'.format(d['params']))
42         o.write('Cantidad de archivos procesados: {}\n'.format(d['nf']))
43         o.write('Cantidad de archivos no conformes: {}\n'.format(d['nnc']))
44         o.write('\n'.join(d['fnc']))
45
46 def getArgs():
47     parser = argparse.ArgumentParser(description='Verifica, para cada imagen del
48     directorio de entrada, que el tamaño del pixel se encuentre en un rango de
49     conformidad')
50     parser.add_argument('entrada', help='directorio de entrada de imágenes')
51     parser.add_argument('salida', help='directorio de salida del programa')
52     # parser.add_argument('-v', '--valor', type=float, default=0.1, help='valor
53     conforme')
54     parser.add_argument('-f', '--formato', choices=['tif', 'xml'], default='tif', help=
55     'formato de archivo a verificar (default="tif")')
56     parser.add_argument('-sd', '--detalle', default='detalle.csv', help='nombre salida
57     del detalle en formato csv (default="detalle.csv")')
58     parser.add_argument('-sr', '--resumen', default='resumen.txt', help='nombre salida
59     del resumen en formato txt (default="resumen.txt")')
60     parser.add_argument('--recursivo', dest='recursivo', action='store_true', help=
61     'analizar subdirectorios')
62     parser.add_argument('--no-recursivo', dest='recursivo', action='store_false', help=
63     'NO analizar subdirectorios (default)')
64     parser.set_defaults(recursivo=False)
65     args = parser.parse_args()
66     return args

```



```

60 def getFiles(d, r, formato):
61     fs = []
62     fext = '{}'.format(formato)
63     if not r:
64         fs = [os.path.join(d, f) for f in os.listdir(d) if os.path.isfile(os.path.join(d
        , f)) and f.endswith(fext)]
65     else:
66         for root, _, files in os.walk(d):
67             fs.extend([os.path.join(root, f) for f in files if f.endswith(fext)])
68     return fs
69
70 def getDataset(f):
71     ds = None
72     try:
73         ds = gdal.Open(f)
74     except RuntimeError:
75         pass
76     return ds
77
78 def getRasterBand(ds, n):
79     rb = None
80     try:
81         rb = ds.GetRasterBand(n)
82     except RuntimeError:
83         pass
84     return rb
85
86 def getXmlValue(f):
87     tree = ET.parse(f)
88     if not tree:
89         return None
90     root = tree.getroot()
91     if not root:
92         return None
93     refSysInfo = root.find('{http://www.isotc211.org/2005/gmd}referenceSystemInfo')
94     if not refSysInfo:
95         return None
96     refSys = refSysInfo.find('{http://www.isotc211.org/2005/gmd}MD_ReferenceSystem')
97     if not refSys:
98         return None
99     refSysIdentifier = refSys.find(
100     '{http://www.isotc211.org/2005/gmd}referenceSystemIdentifier')\
101     .find('{http://www.isotc211.org/2005/gmd}RS_Identifier')
102     if not refSysIdentifier:
103         return None
104     code = refSysIdentifier.find('{http://www.isotc211.org/2005/gmd}code')
105     return code[0].text
106
107 def processXmlValues(v, f, vc):
108     c = v in vc
109     return [formatFileName(f), formatBoolean(c), v]
110
111 def getTifValue(ds):
112     prj = ds.GetProjection()
113     srs = osr.SpatialReference(wkt=prj)
114     srs.AutoIdentifyEPSG()
115     return [srs.GetAttrValue('geogcs'), srs.GetAttrValue('projcs'), srs.GetAttrValue(
116     'authority', 1)]
117
118 def processTifValues(v, f, vc):
119     c = v[0] == vc[0] and v[1] == vc[1]
120     return [formatFileName(f), formatBoolean(c), v[0], v[1]]
121
122 def qgsInit(pp):
123     QgsApplication.setPrefixPath(pp, True)
124     qgs = QgsApplication([], False)
125     qgs.initQgis()

```

```

124     return qgs
125
126 def qgsExit(qgs):
127     qgs.exitQgis()
128
129 if __name__ == '__main__':
130     # start qgis
131     qgs = qgsInit('C:\\OSGeo4W64\\apps\\qgis\\')
132     # execute logic
133     params = ' '.join(sys.argv)
134     args = getArgs()
135     if not os.path.isdir(args.entrada):
136         print('ERROR: {} no es un directorio válido.'.format(args.entrada))
137         sys.exit()
138     formato = args.formato
139     files = getFiles(args.entrada, args.recursivo, formato)
140     try:
141         os.makedirs(args.salida)
142     except OSError as e:
143         if e.errno != errno.EEXIST:
144             print('ERROR: al crear el directorio {}'.format(args.salida))
145             sys.exit()
146     fd = os.path.join(args.salida, args.detalle)
147     fr = os.path.join(args.salida, args.resumen)
148     startDetailOutputFile(fd, formato)
149     # datos resumen
150     frd = {
151         'params': params,
152         'nf': len(files),
153         'nnc': 0,
154         'fnc': []
155     }
156     print('Procesando...')
157     for f in files:
158         print(f)
159         if formato == 'tif':
160             ds = getDataset(f)
161             if ds:
162                 # proceso valores
163                 v = getTifValue(ds)
164                 # r = processTifValues(v, f, ['SIRGAS-ROU98', 'SIRGAS-ROU98 / UTM zone
165                 # 21S'])
166                 r = processTifValues(v, f, ['SIRGAS-ROU98', 'SIRGAS_ROU98_UTM_Zone_21S'])
167                 # r = [f, c]
168                 appendToDetailOutputFile(fd, r)
169             else:
170                 # proceso valores
171                 v = getXmlValue(f)
172                 r = processXmlValues(v, f, ['5382', '5383'])
173                 # r = [f, c]
174                 appendToDetailOutputFile(fd, r)
175             if not conforme(r[1]):
176                 frd['nnc'] = frd['nnc'] + 1
177                 frd['fnc'].append(f)
178     writeResumeOutputFile(fr, frd)
179     print('Fin.')
180     # exit qgis
181     qgsExit(qgs)

```

```

1  import sys
2  import os, errno
3  import csv
4  import argparse
5  import numpy as np
6  from qgis.core import QgsApplication
7  from osgeo import gdal
8  gdal.UseExceptions()
9
10 def formatFileName(f):
11     bn = os.path.basename(f)
12     return os.path.splitext(bn)[0]
13
14 def formatBoolean(b):
15     if b:
16         return 'S'
17     else:
18         return 'N'
19
20 def conforme(v):
21     return v == 'S'
22
23 def gdalDataType2OutFormat(v):
24     if (v == 1):
25         return 8
26     elif (v in [2, 3, 8]):
27         return 16
28     elif (v in [4, 5, 6, 9, 10]):
29         return 32
30     elif (v in [7, 11]):
31         return 64
32     else:
33         return None
34
35 def startDetailOutputFile(f, mrb):
36     with open(f, 'w', newline = '') as csvfile:
37         writer = csv.writer(csvfile)
38         h = ['nombre', 'conforme']
39         for r in range(mrb):
40             h.extend(['banda{}-nivel'.format(r)])
41             writer.writerow(h)
42
43 def appendToDetailOutputFile(f, row):
44     with open(f, 'a', newline = '') as csvfile:
45         writer = csv.writer(csvfile)
46         writer.writerow(row)
47
48 def writeResumeOutputFile (f, d):
49     with open(f, 'w', encoding='utf-8') as o:
50         o.write('Parámetros: {}\n'.format(d['params']))
51         o.write('Cantidad de archivos procesados: {}\n'.format(d['nf']))
52         o.write('Cantidad de archivos no conformes: {}\n'.format(d['nnc']))
53         o.write('\n'.join(d['fnc']))
54
55 def getArgs():
56     parser = argparse.ArgumentParser(description='Verifica, para cada imagen del
57     directorio de entrada, que el nivel de las bandas sea conforme')
58     parser.add_argument('entrada', help='directorio de entrada de imágenes')
59     parser.add_argument('salida', help='directorio de salida del programa')
60     parser.add_argument('-n', '--nivel', choices=[8, 16, 32, 64], default=8, help=
61     'nivel digital conforme (default=16)')
62     parser.add_argument('-sd', '--detalle', default='detalle.csv', help='nombre salida
63     del detalle en formato csv (default="detalle.csv")')
64     parser.add_argument('-sr', '--resumen', default='resumen.txt', help='nombre salida
65     del resumen en formato txt (default="resumen.txt")')
66     parser.add_argument('-mrb', '--maxbandas', type=int, default=4, help='máxima
67     cantidad de bandas a verificar (default=4)')

```

```

63 parser.add_argument('--recursivo', dest='recursivo', action='store_true', help=
64 'analizar subdirectorios')
65 parser.add_argument('--no-recursivo', dest='recursivo', action='store_false', help=
66 'NO analizar subdirectorios (default)')
67 parser.set_defaults(recursivo=False)
68 args = parser.parse_args()
69 return args
70
71 def getFiles(d, r):
72     fs = []
73     if not r:
74         fs = [os.path.join(d, f) for f in os.listdir(d) if os.path.isfile(os.path.join(d
75             , f)) and f.endswith('.tif')]
76     else:
77         for root, _, files in os.walk(d):
78             fs.extend([os.path.join(root, f) for f in files if f.endswith('.tif')])
79     return fs
80
81 def getDataset(f):
82     ds = None
83     try:
84         ds = gdal.Open(f)
85     except RuntimeError:
86         pass
87     return ds
88
89 def getRasterBand(ds, n):
90     rb = None
91     try:
92         rb = ds.GetRasterBand(n)
93     except RuntimeError:
94         pass
95     return rb
96
97 def getValueRasterBand(rb):
98     return rb.DataType
99
100 def processValues(f, vrb, n):
101     filerow = [formatFileName(f), None]
102     c = True
103     # itero valores de cada banda
104     for v in vrb:
105         b = gdal.DataType2OutFormat(v)
106         filerow.append(b)
107         # calculo conforme
108         c = c and (b == n)
109     filerow[1] = formatBoolean(c)
110     return filerow
111
112 def qgsInit(pp):
113     # supply path to qgis install location
114     QgsApplication.setPrefixPath(pp, True)
115     # create a reference to the QgsApplication, setting the
116     # second argument to False disables the GUI
117     qgs = QgsApplication([], False)
118     # load providers
119     qgs.initQgis()
120     return qgs
121
122 def qgsExit(qgs):
123     # When your script is complete, call exitQgis() to remove the provider and
124     # layer registries from memory
125     qgs.exitQgis()
126
127 if __name__ == '__main__':
128     # start qgis
129     qgs = qgsInit('C:\\OSGeo4W64\\apps\\qgis\\')

```

```

127 # execute logic
128 params = ' '.join(sys.argv)
129 args = getArgs()
130 if not os.path.isdir(args.entrada):
131     print('ERROR: {} no es un directorio válido.'.format(args.entrada))
132     sys.exit()
133 files = getFiles(args.entrada, args.recursivo)
134 try:
135     os.makedirs(args.salida)
136 except OSError as e:
137     if e.errno != errno.EEXIST:
138         print('ERROR: al crear el directorio {}'.format(args.salida))
139         sys.exit()
140 fd = os.path.join(args.salida, args.detalle)
141 fr = os.path.join(args.salida, args.resumen)
142 startDetailOutputFile(fd, args.maxbandas)
143 # datos resumen
144 frd = {
145     'params': params,
146     'nf': len(files),
147     'nnc': 0,
148     'fnc': []
149 }
150 print('Procesando...')
151 for f in files:
152     print(f)
153     ds = getDataset(f)
154     if ds:
155         # itero y obtengo valores de las bandas
156         mrb = min(ds.RasterCount, args.maxbandas)
157         rbn = 0
158         vrb = [None]*mrb
159         for r in range(mrb):
160             rbn = r + 1
161             rb = getRasterBand(ds, rbn)
162             if rb:
163                 # print('{} {}'.format(rbn,
164                     gdal.GetColorInterpretationName(rb.GetColorInterpretation()))
165                 vrb[r] = getValueRasterBand(rb)
166         # proceso valores
167         pvr = processValues(f, vrb, args.nivel)
168         # pvr = [f, c, bn ..]
169         appendToDetailOutputFile(fd, pvr)
170         if not conforme(pvr[1]):
171             frd['nnc'] = frd['nnc'] + 1
172             frd['fnc'].append(f)
173 writeResumeOutputFile(fr, frd)
174 print('Fin.')
175 # exit qgis
176 qgsExit(qgs)

```

```

1  import arcpy
2  import numpy as np
3
4  arcpy.env.workspace = r"\\\"
5
6  # Get input Raster properties.
7  inRas = arcpy.GetParameterAsText(0)
8  inRas = inRas.lower()
9
10 print("Archivo a procesar: " + inRas)
11 inRas_B1 = arcpy.Raster(inRas + "\Band_1")
12 inRas_B2 = arcpy.Raster(inRas + "\Band_2")
13 inRas_B3 = arcpy.Raster(inRas + "\Band_3")
14
15 outRas = inRas.replace(".tif", "_out.tif")
16 if arcpy.Exists(outRas):
17     print("Borrando archivo " + outRas)
18     arcpy.Delete_management(outRas)
19
20 # Propiedades.
21 lowerLeft = arcpy.Point(inRas_B1.extent.XMin, inRas_B1.extent.YMin)
22 cellSize = inRas_B1.meanCellWidth
23
24 # Convert Raster to numpy array.
25 arr1 = arcpy.RasterToNumPyArray(inRas_B1, nodata_to_value = 0)
26 arr2 = arcpy.RasterToNumPyArray(inRas_B2, nodata_to_value = 0)
27 arr3 = arcpy.RasterToNumPyArray(inRas_B3, nodata_to_value = 0)
28
29 arr1 = np.where(arr1 == 0, 1, 0)
30 arr2 = np.where(arr2 == 0, 1, 0)
31 arr3 = np.where(arr3 == 0, 1, 0)
32
33 # El array de suma, y
34 arrTotal = arr1 + arr2 + arr3
35 arrFinal = np.where(arrTotal == 0, 1, 0)
36
37 # Cuenta cantidad de ceros y unos.
38 num_zeros = float((arrFinal == 0).sum())
39 num_ones = float((arrFinal == 1).sum())
40
41 print ("Pixels (0): " + str(num_zeros))
42 print ("Pixels (1): " + str(num_ones))
43 print ("Resultado cubierto: " + str(100 * num_zeros / (num_zeros + num_ones)) + "%")
44
45 #Convert Array to raster (keep the origin and cellsize the same as the input)
46 newRaster = arcpy.NumPyArrayToRaster(arrFinal, lowerLeft, cellSize)
47 newRaster.save(outRas)
48 print("Archivo "+ outRas + " generado.")

```

## 14.2. Cálculos de estándar NSSDA

Nº pto.	Coordenadas IDE		Coordenadas Vuelo 1	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	580435,917	6142906,733	580435,946	6142907,041
2	580458,643	6142964,515	580458,797	6142964,698
3	580462,961	6143067,604	580463,102	6143067,603
4	580482,268	6142937,072	580482,403	6142937,236
5	580493,653	6142923,549	580493,724	6142923,770
6	580509,822	6142896,473	580509,825	6142896,723
7	580511,521	6143002,405	580511,543	6143002,647
8	580518,563	6143083,971	580518,654	6143084,041
9	580530,604	6143085,313	580530,586	6143085,581
10	580563,443	6142918,329	580563,530	6142918,617
11	580601,168	6142873,197	580601,178	6142873,366
12	580615,251	6143010,990	580615,251	6143011,355
13	580637,290	6142928,471	580637,194	6142928,779
14	580647,599	6142872,118	580647,443	6142872,435
15	580647,480	6142966,475	580647,552	6142966,731
16	580669,590	6143052,245	580669,651	6143052,555
17	580691,283	6143003,215	580691,380	6143003,572
18	580689,596	6142981,094	580689,678	6142981,412
19	580737,204	6142948,008	580737,161	6142948,186
20	580533,319	6143058,992	580533,088	6143059,184

**Cuadro 42:** Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.

Nº pto.	Coordenadas IDE		Coordenadas Vuelo 1	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	601899,962	6150375,301	601900,075	6150375,488
2	601830,566	6150260,578	601830,228	6150260,770
3	601914,082	6150266,755	601913,932	6150266,868
4	601917,687	6150220,960	601917,499	6150221,204
5	601850,881	6150345,221	601851,144	6150345,259
6	601877,125	6150021,118	601876,820	6150021,509
7	601804,485	6149995,082	601804,298	6149995,251
8	601937,421	6149903,830	601937,496	6149903,774
9	601982,446	6150037,122	601982,409	6150037,329
10	602080,439	6150052,397	602080,233	6150052,622
11	602097,113	6149990,942	602096,812	6149990,848
12	602235,296	6150002,593	602235,212	6150002,752
13	602300,252	6150063,151	602300,205	6150063,385
14	602362,345	6150054,307	602362,158	6150054,420
15	602223,683	6150115,724	602223,570	6150115,827
16	602148,738	6150148,883	602149,038	6150148,714
17	602151,741	6150181,243	602151,742	6150180,765
18	602073,886	6150214,863	602073,924	6150215,163
19	601969,209	6150255,363	601969,359	6150255,475
20	601876,943	6150175,789	601876,849	6150175,846

**Cuadro 43:** Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 2: Neptunia.



Nº pto.	Coordenadas IDE		Coordenadas Vuelo 1	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1	601731,192	6150246,162	601731,116	6150246,209
2	601573,162	6150144,573	601572,974	6150144,761
3	601668,395	6150147,465	601668,395	6150147,540
4	601605,128	6150086,067	601604,790	6150086,029
5	601744,729	6149717,396	601744,541	6149717,246
6	601494,217	6150056,194	601494,142	6150056,194
7	601640,803	6149999,264	601640,634	6149999,377
8	601945,616	6149812,648	601945,503	6149812,760
9	601761,571	6149926,093	601761,421	6149926,356
10	601800,739	6149991,641	601800,588	6149991,716
11	601901,266	6149911,917	601901,191	6149912,143
12	602007,652	6149921,080	602007,502	6149921,174
13	601975,545	6150020,866	601975,414	6150021,026
14	601892,920	6150071,862	601893,033	6150071,750
15	601775,194	6150070,661	601774,781	6150070,586
16	601791,379	6150183,665	601791,351	6150183,816
17	601862,756	6149851,251	601862,644	6149851,251
18	601554,263	6149914,471	601553,944	6149914,433
19	601671,502	6150044,046	601671,305	6150044,374
20	601641,223	6149822,383	601640,927	6149822,449

**Cuadro 44:** Coordenadas planimétricas empleadas para el cálculo del estándar NSSDA del Vuelo 3: Neptunia.

Nº pto	Coord Z (Vuelo)	Coord Z ( IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	49,381	49,356	0,024	0,001
2	48,713	48,682	0,031	0,001
3	46,572	46,565	0,007	0,000
4	48,628	48,742	-0,114	0,013
5	49,064	49,014	0,051	0,003
6	50,018	49,298	0,721	0,519
7	47,790	47,880	-0,090	0,008
8	47,295	47,361	-0,066	0,004
9	46,401	46,381	0,021	0,000
10	48,268	48,363	-0,095	0,009
11	48,174	48,189	-0,015	0,000
12	47,702	47,739	-0,037	0,001
13	48,137	48,210	-0,073	0,005
14	47,628	47,724	-0,096	0,009
15	47,706	47,757	-0,051	0,003
16	45,995	46,091	-0,096	0,009
17	47,294	47,414	-0,120	0,014
18	47,852	47,895	-0,044	0,002
19	47,175	47,219	-0,043	0,002
20	47,077	46,990	0,086	0,007
			Suma	0,612
			Promedio	0,031
			RMSE	0,175
			NSSDA	0,343

**Cuadro 45:** Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.

Nº pto	Coord Z (Vuelo)	Coord Z ( IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	11,195	11,087	0,108	0,012
2	8,173	8,278	-0,105	0,011
3	8,053	8,135	-0,082	0,007
4	7,866	7,981	-0,115	0,013
5	9,921	9,835	0,086	0,007
6	5,302	5,383	-0,081	0,007
7	5,793	4,962	0,832	0,692
8	4,950	5,085	-0,135	0,018
9	6,260	6,394	-0,134	0,018
10	7,480	7,628	-0,148	0,022
11	6,694	6,771	-0,077	0,006
12	8,075	8,141	-0,066	0,004
13	10,015	9,999	0,016	0,000
14	11,710	10,832	0,878	0,772
15	10,400	10,410	-0,009	0,000
16	9,624	9,531	0,093	0,009
17	9,568	9,428	0,140	0,020
18	8,879	9,622	-0,743	0,552
19	8,297	8,718	-0,421	0,177
20	6,923	6,961	-0,038	0,001
			Suma	2,347
			Promedio	0,117
			RMSE	0,343
			NSSDA	0,671

**Cuadro 46:** Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 2: Neptunia.

Nº pto	Coord Z (Vuelo)	Coord Z ( IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	6,856	6,320	0,536	0,287
2	4,943	5,094	-0,151	0,023
3	5,461	5,393	0,068	0,005
4	3,993	4,045	-0,052	0,003
5	4,502	4,582	-0,080	0,006
6	0,462	1,184	-0,722	0,521
7	3,413	3,406	0,007	0,000
8	3,705	3,505	0,200	0,040
9	4,935	4,983	-0,048	0,002
10	4,949	5,024	-0,075	0,006
11	4,853	4,995	-0,142	0,020
12	5,546	5,603	-0,056	0,003
13	6,356	5,931	0,425	0,181
14	6,714	6,334	0,380	0,144
15	5,427	5,491	-0,063	0,004
16	7,517	6,937	0,579	0,336
17	4,324	4,318	0,007	0,000
18	0,941	1,253	-0,312	0,097
19	5,020	4,390	0,631	0,398
20	-0,696	0,435	-1,131	1,280
			Suma	3,356
			Promedio	0,168
			RMSE	0,410
			NSSDA	0,803

**Cuadro 47:** Resultados del estándar NSSDA para altimetría del vuelo 3: Neptunia.

Nº pto	Coord Z (Vuelo)	Coord Z ( IDE)	$\Delta Z$	$\Delta Z^2$
1	49,362	49,356	0,006	0,000
2	48,703	48,682	0,021	0,000
3	46,605	46,565	0,040	0,002
4	48,703	48,742	-0,038	0,001
5	49,766	49,014	0,752	0,566
6	52,934	49,298	3,636	13,219
7	47,790	47,880	-0,089	0,008
8	51,529	47,361	4,168	17,371
9	46,449	46,381	0,068	0,005
10	48,360	48,363	-0,004	0,000
11	48,176	48,189	-0,013	0,000
12	47,795	47,739	0,056	0,003
13	49,630	48,210	1,420	2,018
14	47,735	47,724	0,011	0,000
15	47,727	47,757	-0,030	0,001
16	46,109	46,091	0,018	0,000
17	47,282	47,414	-0,132	0,017
18	48,684	47,895	0,789	0,623
19	47,207	47,219	-0,011	0,000
20	47,119	46,990	0,129	0,017
			Suma	33,851
			Promedio	1,693
			RMSE	1,301
			NSSDA	2,550

**Cuadro 48:** Resultados del estándar NSSDA para altimetría del Modelo Digital de Superficie correspondiente al vuelo 1: Crece Flor de Maroñas.