

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:  
CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUNDIMIENTO EN CONSTRUCCIONES  
MEDIANTE TECNOLOGÍA BIM Y VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS  
EN UN BARRIO DEL SUR DEL DMQ**

**AUTORAS:  
TATIANA LORENA OLIVAREZ CAHUANA  
SOLANGE ABIGAIL PAZMIÑO MONTERO**

**TUTOR:  
CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA**

**Quito, septiembre del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras Tatiana Lorena Olivarez Cahuana con documento de identidad N° 172563822-3 y Solange Abigail Pazmiño Montero con documento de identidad N° 172342864-3, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación intitulado: **CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUNDIMIENTO EN CONSTRUCCIONES MEDIANTE TECNOLOGÍA BIM Y VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN UN BARRIO DEL SUR DEL DMQ**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

---

Tatiana Lorena Olivarez Cahuana  
172563822-3

---

Solange Abigail Pazmiño Montero  
172342864-3

Quito, septiembre 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUNDIMIENTO EN CONSTRUCCIONES MEDIANTE TECNOLOGÍA BIM Y VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN UN BARRIO DEL SUR DEL DMQ** realizado por Tatiana Lorena Olivarez Cahuana y Solange Abigail Pazmiño Montero, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above a horizontal line.

César Iván Álvarez Mendoza

172010092-2

## **DEDICATORIA**

A mi madre Abigail por ser un ejemplo de mujer para mí, que con mucho sacrificio y amor hemos salido adelante siempre juntas. Dándome siempre fuerzas y ánimos y apoyo incondicional para seguir y no decaer jamás y seguir el camino para forjarme como una gran persona y una excelente profesional.

A toda mi familia por estar para mí siempre en cualquier momento, por darme ánimos, ser un apoyo y una pieza fundamental en cada etapa de mi vida.

A Francisco, mi novio quien es mi compañero de vida y de toda esta travesía universitaria, siempre apoyándome y dándome ánimos para culminar esta etapa ya que sin su apoyo no hubiera sido posible todo esto, gracias por estar ahí siempre y ayudarme a culminar esta etapa.

A cada uno de ellos muchas gracias, ya que sin su apoyo incondicional esto no sería posible.

**Solange P.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1. Pregunta de investigación .....	6
1.2. Objetivos .....	6
<b>1.2.1. Objetivo general: .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos: .....</b>	<b>7</b>
1.3. Hipótesis .....	7
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>8</b>
2.1. Hundimientos .....	8
2.2. Subsistencia .....	8
2.3. Parroquia Solanda .....	9
<b>2.3.1. Tipos de Viviendas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2. Deformación de las viviendas .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3. Situación Actual.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.4. Vulnerabilidad física y técnica de Solanda 1 .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.5. Investigación de la zona de estudio .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.5.9. Construcción del metro de Quito .....</b>	<b>22</b>
2.4. Modelo BIM (Building Information Modelling) .....	24
<b>2.4.2. BIM en Latinoamérica y Ecuador .....</b>	<b>25</b>
2.5. UAV (Unmanned Aerial Vehicle) – Vehículo Aéreo no Tripulado.....	26
2.6. GPS (Global Positioning System) - Sistema de Posicionamiento Global	36
2.9. Satélites.....	47
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>54</b>
3.1. Metodología aplicada.....	54
<b>3.2. Descripción de la zona de estudio y muestra .....</b>	<b>55</b>
<b>3.3. Hardware empleado en la investigación.....</b>	<b>56</b>
<b>3.4. Softwares empleados en la investigación.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5. Fases de estudio .....</b>	<b>58</b>
<b>3.6. Fase de campo .....</b>	<b>59</b>
<b>3.7. Fase de procesamiento .....</b>	<b>64</b>

3.7.2.	<i>Procesamiento de imágenes</i> .....	69
3.7.3.	<i>Procesamiento de nube de puntos y modelamiento BIM</i> .....	70
3.8.	<b>Modelo predictivo ARIMA</b> .....	72
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	76
4.1.	Análisis de datos .....	76
4.2.	<b>Script o código del modelo predictivo</b> .....	79
4.3.	<b>Discusión</b> .....	82
4.4.	<b>Presentación de resultados Modelo Predictivo</b> .....	86
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	136
5.1.	Conclusiones .....	136
5.2.	Recomendaciones .....	138
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	139
7.	<b>APÉNDICE / ANEXOS</b> .....	143
7.1.	Anexo 1 .....	143
7.2.	Anexo 2 .....	150

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Tabla comparativa de población y vivienda en Solanda</i>	11
<b>Tabla 2</b>	<i>Tabla de estimación de la vulnerabilidad</i>	27
<b>Tabla 3</b>	<i>Tabla con las principales características de la zona de estudio</i>	16
<b>Tabla 4</b>	<i>Tabla con los montos mínimos establecidos de seguros a terceros</i>	29
<b>Tabla 5</b>	<i>Tabla de especificaciones de la aeronave</i>	31
<b>Tabla 6</b>	<i>Tabla de especificaciones de las rastas</i>	32
<b>Tabla 7</b>	<i>Tabla de especificaciones del control remoto</i>	33
<b>Tabla 8</b>	<i>Tabla de especificaciones del sistema de visión</i>	33
<b>Tabla 9</b>	<i>Tabla de especificaciones de la batería de vuelo inteligente</i>	34
<b>Tabla 10</b>	<i>Tabla de especificaciones de la cámara</i>	34
<b>Tabla 11</b>	<i>Tabla de especificaciones del cargador</i>	36
<b>Tabla 12</b>	<i>Tabla de especificaciones de la aplicación</i>	36
<b>Tabla 13</b>	<i>Especificaciones del sistema de rastreo</i>	46
<b>Tabla 14</b>	<i>Especificaciones del sistema de precisión</i>	46
<b>Tabla 15</b>	<i>Especificaciones de la interfaz</i>	46
<b>Tabla 16</b>	<i>Especificaciones del sistema de comunicación</i>	47
<b>Tabla 17</b>	<i>Características físicas del GPS</i>	47
<b>Tabla 18</b>	<i>Especificaciones del sistema de alimentación</i>	47
<b>Tabla 19</b>	<i>Fechas de vuelos con el dron</i>	59
<b>Tabla 20</b>	<i>Datos muestreo 1</i>	76
<b>Tabla 21</b>	<i>Datos muestreo 2</i>	77
<b>Tabla 22</b>	<i>Datos muestreo 3</i>	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Proceso de ocurrencia del fenómeno de subsidencia</i> .....	8
<b>Figura 2</b> .....	9
<i>Hacienda Solanda</i> .....	9
<b>Figura 3</b> .....	10
<i>Trazado urbanístico Plan Solanda</i> .....	10
<b>Figura 4</b> .....	12
<i>Vivienda en la calle José María Alemán - 2014</i> .....	12
<b>Figura 5</b> .....	13
<i>Vivienda en la calle José María Alemán - 2018</i> .....	13
<b>Figura 6</b> .....	18
<i>Perfil estratigráfico de la cuenca del sur de Quito</i> .....	18
<b>Figura 7</b> .....	19
<i>Modelo Hidrogeológico para la cuenca sur-centro-norte de Quito</i> .....	19
<b>Figura 8</b> .....	21
<i>Flujo de aguas superficiales y delimitación de las cuencas hidrológicas de la zona de estudio</i> .....	21
<b>Figura 9</b> .....	25
<i>BIM en Ecuador</i> .....	25
<b>Figura 10</b> .....	30
<i>Dron Phantom 4 PRO</i> .....	30
<b>Figura 11</b> .....	41
<i>Receptor GPS de navegación portátil</i> .....	41
<b>Figura 12</b> .....	42
<i>Receptor GPS de mono frecuencia</i> .....	42
<b>Figura 13</b> .....	43
<i>Receptor GPS de posicionamiento de doble frecuencia</i> .....	43
<b>Figura 14</b> .....	44
<i>GPS Diferencial</i> .....	44
<b>Figura 15</b> .....	46
<i>GPS e-Survey E300 - PRO</i> .....	46
<b>Figura 16</b> .....	48
<i>Satélite Sputnik-1</i> .....	48
<b>Figura 17</b> .....	49

<i>Formas de las trayectorias de las órbitas</i> .....	49
<b>Figura 18</b> .....	50
<i>Constelación de satélites US GPS</i> .....	50
<b>Figura 19</b> .....	51
<i>Constelación de satélites GLONASS</i> .....	51
<b>Figura 20</b> .....	52
<i>Constelación de satélites COMPASS Beidou</i> .....	52
<b>Figura 21</b> .....	53
<i>Constelación de satélites Galileo</i> .....	53
<b>Figura 22</b> .....	53
<i>Representación de sistemas globales de navegación satelital actualmente operativos</i> .	53
<b>Figura 23</b> .....	55
<i>Esquema de la metodología aplicada en el trabajo de investigación</i> .....	55
<b>Figura 24 Solanda – sector 1</b> .....	56
<b>Figura 25</b> .....	59
<i>Plan de vuelo</i> .....	59
<b>Figura 26 GPS montado en la zona de estudio</b> .....	60
<b>Figura 27 Punto de control</b> .....	60
<b>Figura 29</b> .....	61
<i>Controladora - ventana dispositivo</i> .....	61
<b>Figura 28</b> .....	61
<i>Controladora encendida – ventana proyecto</i> .....	61
<b>Figura 30 Controladora – Puntos levantados</b> .....	62
<b>Figura 31</b> .....	63
<i>Dron listo para volar</i> .....	63
<b>Figura 32 Plan de vuelo</b> .....	63
<b>Figura 33</b> .....	64
<i>Página principal del E300 Pro</i> .....	64
<b>Figura 34</b> .....	65
<i>Información detallada del GPS</i> .....	65
<b>Figura 35</b> .....	65
<i>Detalle de los archivos rinex</i> .....	65
<b>Figura 36 Consola de configuraciones del proyecto en Trimble Business Center</b> .....	66
<b>Figura 37</b> .....	67

<i>Pantalla principal con los puntos y la estación de referencia EPEC – Líneas base procesadas</i> .....	67
<b>Figura 38</b> .....	67
<i>Lista de informes disponibles del procesamiento de líneas base</i> .....	67
<b>Figura 39</b> .....	68
<i>Informe de procesamiento de líneas base</i> .....	68
<b>Figura 40</b> .....	69
<i>Consola principal del programa Pix4D - Puntos de muestreo y fotografías</i> .....	69
<b>Figura 41</b> .....	69
<i>Opciones de procesamiento en el Pix4D</i> .....	70
<b>Figura 42</b> .....	70
<i>Barra de procesamiento Pix4D</i> .....	70
<b>Figura 43</b> <i>Plantilla de inicio en Revit</i> .....	71
<b>Figura 44</b> <i>Importación de nube de puntos</i> .....	71
<b>Figura 45</b> .....	78
<i>Consola principal del programa RStudio</i> .....	78
<b>Figura 47</b> <i>Nube de puntos Sector 1</i> .....	85
<b>Figura 46</b> <i>Ortofoto Sector 1</i> .....	85
<b>Figura 48</b> .....	86
<i>Datos de Altura del punto 1 respecto a los meses muestreados</i> .....	86
<b>Figura 49</b> .....	86
<i>Diagnóstico del modelo1</i> .....	86
<b>Figura 50</b> .....	87
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	87
<b>Figura 51</b> .....	88
<i>Datos de Altura del punto 1 respecto a los meses muestreados</i> .....	88
.....	88
<b>Figura 52</b> .....	88
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	88
<b>Figura 53</b> .....	89
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	89
PUNTO 3 .....	90
<b>Figura 54</b> .....	90
<i>Datos de Altura del punto 3 respecto a los meses muestreados</i> .....	90
<b>Figura 55</b> .....	90

<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	90
<b>Figura 56</b> .....	91
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	91
<b>Figura 57</b> .....	91
<i>Datos de Altura del punto 4 respecto a los meses muestreados</i> .....	91
<b>Figura 58</b> .....	92
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	92
<b>Figura 59</b> .....	93
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	93
PUNTO 5 .....	93
<b>Figura 60</b> .....	93
<i>Datos de Altura del punto 5 respecto a los meses muestreados</i> .....	93
<b>Figura 61</b> .....	93
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	94
<b>Figura 62</b> .....	94
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	94
<b>Figura 63</b> .....	95
<i>Datos de Altura del punto 6 respecto a los meses muestreados</i> .....	95
<b>Figura 64</b> .....	95
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	95
<b>Figura 65</b> .....	96
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	96
<b>Figura 66</b> .....	96
<i>Datos de Altura del punto 7 respecto a los meses muestreados</i> .....	96
<b>Figura 67</b> .....	97
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	97
<b>Figura 68</b> .....	97
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	97
<b>Figura 69</b> .....	98
<i>Datos de Altura del punto 8 respecto a los meses muestreados</i> .....	98
<b>Figura 70</b> <i>Diagnóstico del modelo</i> .....	98
<b>Figura 71</b> .....	99
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	99
<b>Figura 72</b> .....	100
<i>Datos de Altura del punto 9 respecto a los meses muestreados</i> .....	100

<b>Figura 73</b> .....	100
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	100
<b>Figura 74</b> .....	101
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	101
<b>Figura 75</b> .....	101
<i>Datos de Altura del punto 10 respecto a los meses muestreados</i> .....	101
<b>Figura 76</b> .....	102
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	102
<b>Figura 77</b> .....	102
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	102
<b>Figura 78</b> .....	103
<i>Datos de Altura del punto 11 respecto a los meses muestreados</i> .....	103
<b>Figura 79</b> .....	103
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	103
<b>Figura 80</b> .....	104
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	104
<b>Figura 81</b> .....	105
<i>Datos de Altura del punto 12 respecto a los meses muestreados</i> .....	105
<b>Figura 82</b> .....	105
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	105
<b>Figura 83</b> .....	106
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	106
<b>Figura 84</b> .....	106
<i>Datos de Altura del punto 13 respecto a los meses muestreados</i> .....	106
<b>Figura 85</b> <i>Diagnóstico del modelo</i> .....	107
<b>Figura 86</b> .....	107
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	107
<b>Figura 87</b> .....	108
<i>Datos de Altura del punto 14 respecto a los meses muestreados</i> .....	108
<b>Figura 88</b> .....	108
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	108
<b>Figura 89</b> .....	109
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	109
<b>Figura 90</b> .....	110
<i>Datos de Altura del punto 15 respecto a los meses muestreados</i> .....	110

<b>Figura 91</b> .....	110
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	110
<b>Figura 92</b> .....	111
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	111
<b>Figura 93</b> .....	112
<i>Datos de Altura del punto 16 respecto a los meses muestreados</i> .....	112
<b>Figura 94</b> .....	112
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	112
<b>Figura 95</b> .....	113
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	113
<b>Figura 96</b> .....	113
<i>Datos de Altura del punto 17 respecto a los meses muestreados</i> .....	113
<b>Figura 97</b> .....	114
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	114
<b>Figura 98</b> .....	115
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	115
PUNTO 18.....	115
<b>Figura 99</b> .....	115
<i>Datos de Altura del punto 18 respecto a los meses muestreados</i> .....	115
<b>Figura 101</b> .....	117
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	117
<b>Figura 102</b> .....	117
<i>Datos de Altura del punto 19 respecto a los meses muestreados</i> .....	117
<b>Figura 103</b> .....	118
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	118
<b>Figura 104</b> .....	119
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	119
<b>Figura 105</b> .....	119
<i>Datos de Altura del punto 20 respecto a los meses muestreados</i> .....	119
<b>Figura 106</b> .....	120
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	120
<b>Figura 108</b> .....	121
<i>Datos de Altura del punto 21 respecto a los meses muestreados</i> .....	121
<b>Figura 109</b> .....	122
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	122

<b>Figura 110</b> .....	123
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	123
<b>Figura 111</b> .....	123
<i>Datos de Altura del punto 22 respecto a los meses muestreados</i> .....	123
<b>Figura 112</b> .....	124
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	124
<b>Figura 113</b> .....	125
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	125
<b>Figura 114</b> .....	125
<i>Datos de Altura del punto 23 respecto a los meses muestreados</i> .....	125
<b>Figura 115</b> .....	126
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	126
<b>Figura 116</b> .....	127
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	127
<b>Figura 117</b> .....	127
<i>Datos de Altura del punto 24 respecto a los meses muestreados</i> .....	127
<b>Figura 118</b> .....	128
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	128
<b>Figura 119</b> .....	128
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	128
<b>Figura 120</b> .....	129
<i>Datos de Altura del punto 25 respecto a los meses muestreados</i> .....	129
<b>Figura 121</b> .....	130
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	130
<b>Figura 122</b> .....	130
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	130
<b>Figura 123</b> .....	131
<i>Datos de Altura del punto 26 respecto a los meses muestreados</i> .....	131
<b>Figura 124</b> .....	132
<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	132
<b>Figura 125</b> .....	132
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	132
<b>Figura 126</b> .....	133
<i>Datos de Altura del punto 27 respecto a los meses muestreados</i> .....	133
<b>Figura 127</b> .....	133

<i>Diagnóstico del modelo</i> .....	133
<b>Figura 128</b> .....	134
<i>Pronóstico Arima de orden (0,0,1)</i> .....	134

## RESUMEN

En la actualidad los hundimientos en la ciudad de Quito suceden con frecuencia, en el sector de Solanda presenta un alto grado de vulnerabilidad por factores antropogénicos como naturales, es por ello que el presente estudio pretende vincular la metodología BIM y AUV para generar un modelo predictivo que sea utilizado como una herramienta para la gestión de riesgo ante esta problemática. La metodología aplicada se basó en la recopilación de antecedentes teóricos, observación y análisis del área de estudio, posteriormente se realizaron tres levantamientos con un GPS referencial y AUV en los puntos de control preseleccionadas para lograr una georreferenciación precisa de la zona, por otro lado, se analizó la variable de elevación de los puntos de control durante un periodo de cuatro meses, además se realizó la combinación de diferentes softwares para la generación de una nube de puntos. Los resultados obtenidos principalmente de los softwares mencionados en la metodología fueron un modelo predictivo ARIMA que considero únicamente la variable de elevación para calcular el porcentaje de hundimiento. En cuanto modelo tridimensional el programa Revit permitió visualizar una nube de puntos tridimensional que asemeja la zona de estudio.

**Palabras clave:** Hundimientos, GPS referencial, dron, Pix4D, Rstudio, Revit, modelo predictivo, nube de puntos

## **ABSTRACT**

Currently, subsidence in the city of Quito occurs frequently, in the Solanda sector presents a high degree of vulnerability due to anthropogenic and natural factors, which is why this study aims to link the BIM and AUV methodology to generate a predictive model to be used as a tool for risk management in the face of this problem. The methodology applied was based on the collection of theoretical background, observation and analysis of the study area, then three surveys were conducted with a referential GPS and AUV in the pre-selected control points to achieve an accurate georeferencing of the area, on the other hand, the elevation variable of the control points was analyzed during a period of four months, and a combination of different software for the generation of a point cloud was performed. The results obtained mainly from the software mentioned in the methodology were a predictive ARIMA model that considered only the elevation variable to calculate the percentage of subsidence. As for the three-dimensional model, the Revit program made it possible to visualize a three-dimensional point cloud that resembles the study area.

**Keywords:** Subsidence, Reference GPS, Dron, Pix4D, Rstudio, Revit, Predictive Model, Point Cloud

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Hundimientos en el Distrito Metropolitano de Quito suceden con frecuencia, es por ello, que desde el año 2010, la Dirección Metropolitano de Gestión de Riesgo ha realizado estudios técnicos dentro de la ciudad a fin de determinar los sectores más vulnerables, en los últimos años el sector Solanda ubicado al Sur de la ciudad presenta un alto grado de vulnerabilidad a hundimientos, esto se debe a diferentes causas tanto naturales como antropogénicas.

Actualmente, la tecnología BIM (Building Information Modeling) y AUV (Vehículo aéreo no tripulado), han demostrado ser herramientas de gran utilidad en la construcción de obras civiles además de incurrir en diferentes campos interdisciplinarios, la metodología BIM integra la información geográfica, las características geométricas, las relaciones espaciales y gestiona el diseño del ciclo de vida del edificio, por otra parte, los AUV se han aplicado en muchas áreas como levantamientos topográficos ,planificación de áreas urbanas, gestión de riesgos naturales ,etc., es por ello que esta investigación pretende combinar ambas tecnologías como una herramienta de gestión de riesgos ante la problemática de hundimientos en un barrio de Solanda.

Ante esta preceptiva, la presente investigación pretende calcular el porcentaje de hundimiento mediante tecnología BIM y UAV en el barrio Solanda 1, sector parque del laberinto ubicado en el sur de Quito, para lo cual, se implementó una metodología de tres fases que se realizó en cuatro meses: la primera a través de la obtención de información bibliográfica y realización de un polígono de influencia, posteriormente la toma de puntos de control y muestreos aéreo, por último, la generación de modelos BIM y predictivo de los hundimientos, con el fin de brindar una visión actual y futuro ante esta problemática.

El Distrito Metropolitano de Quito se caracteriza por tener material de relleno no tecnificado en sus terrenos, esto ha provocado que actualmente los hundimientos de infraestructuras, vías y viviendas sean uno de los principales problemas que enfrentan ciertos sectores de la ciudad. En los últimos años en el Sur de Quito se han realizado muy pocos estudios técnicos sobre las condiciones de riesgo que atraviesa la ciudad, en torno a esto, Cupuerán (2016) en su trabajo denominado “Evaluación por subsidencia en la zona de Turubamba, Sur de Quito, como aporte al diseño de un Plan Integral de Gestión de Riesgos del Distrito Metropolitano de Quito”, estimó el riesgo de subsidencia de 15 Ha en el Sur de Quito, sector de Turubamba, a través de revisión bibliográfica, análisis y evaluación de vulnerabilidad en el campo de estudio, en el mismo, concluye que la zona de estudio ha sido afectada por múltiples amenazas de tipo natural y antrópica, sin embargo, recalca la subsidencia como una de las principales causantes de afecciones en infraestructuras, viviendas y vías, además, menciona a la subsidencia como el resultado de varios factores como son la composición del suelo, material de relleno, mal uso de suelo y la presencia de infraestructuras públicas o privadas irregulares que no cumplen con los parámetros de diseño de construcciones, bajo un estudio de predios determino que cinco de ellos se encontraron como riesgo no mitigable y el 60% de ellos entre vulnerabilidad alto y media.

Bucheli (2018) en su estudio preliminar sobre “Asentamientos de viviendas en el barrio de Solanda, en la ciudad de Quito de la provincia de Pichincha” se enfocó en la determinación de las causas que han provocado la deformación-asentamientos en el sector de Solanda, para lo cual inicialmente realizo una recopilación bibliográfica de toda la información geotécnica disponible en diversas categorías, además de realizar una evaluación y caracterización geotécnica en un área de 720 m<sup>2</sup>. Como resultados de su investigación menciona que el fenómeno de asentamiento se debe principalmente al

cambio estructural inicial de las infraestructuras, el incremento de cargas de cimientos y la inadecuada distribución de carga en la zona, lo que ha provocado la deformación y colisión de varias viviendas a través del tiempo, en esta investigación se identificó más de 100 viviendas con afecciones menor, mientras la Secretaria de Seguridad determinó que 28 viviendas presentan un alto grado de afecciones. Por otro lado, menciona que la modificación del sistema de aguas subterráneas se debe primordialmente al descenso del nivel freático, el cual es causado por las condiciones geológicas, hidrológicas, geotécnicas y antropogénicas, esta disminución ha provocado un aumento de velocidad en la extracción del agua lo que ha dado lugar al arrastre de materia susceptible a ser transportado, este arrastre es el principal causante de que los estratos que contiene agua comiencen a compactarse de forma más rápido, originado así el fenómeno de la deformación de infraestructuras.

Por otro lado, actualmente en el Ecuador no existen estudios vinculados con el tema de investigación, sin embargo, en otros países se han desarrollados estudios que combinan los vehículos aéreos no tripulados (UAV) con la tecnología BIM como:

Chen y Zhang (2019) en su documento denominado “Applications of BIM and UAV to construction safety” realizaron una revisión literaria con la finalidad de determinar el estado actual de la investigación y la aplicación de BIM y UAV para la seguridad de la construcción. El estudio se realizó en dos aproximaciones, en la aproximación 1, los UAV se utilizan para la recopilación de datos geométricos mientras BIM se utilizó para la visualización actual de la zona de construcción en función de los cuales se pueden identificar posibles problemas de seguridad, en la aproximación 2, con ayuda de expertos en seguridad utilizaron la tecnología BIM para ubicar potenciales zonas de peligro y luego diseñaron las rutas de vuelo en las inspecciones de seguridad con los UAV. Como resultado de esta investigación se determinó que los UAV pueden tomar imágenes de las

partes peligrosas de la construcción. En este progreso, el BIM es un enfoque ideal para diseñar los puntos de referencia de UAV. Mientras tanto, el UAV puede ser asistido por BIM desde el diseño de puntos de referencia de seguridad, lo que resulta en una inspección de seguridad de UAV semiautónoma y totalmente autónoma.

Lubong (2019) en su investigación denominada “Estudio del uso de drones en el flujo de trabajo BIM”, cuyo objetivo fue conocer el uso de los vehículos aéreos no tripulados y estudiar la factibilidad de combinar los UAV en el flujo de trabajo BIM como herramientas en la edificación. Para ello, realizó un levantamiento fotogramétrico con RPAS considerando las condiciones del modo de vuelo, posteriormente, empleo el flujo de trabajo con Autodesk Revit uno de los programas de BIM para obtener una nube de puntos como resultante se reproduce un modelo en 3D. La base principal de esta investigación es la interoperabilidad de distintos programas, tras el levantamiento fotogramétrico con el dispositivo RPAS y la aplicación de la interoperabilidad entre programas, se logró un modelo arquitectónicamente en 3D de la edificación y se obtuvo su planimetría. Esta investigación demostró que los drones son excelentes herramientas no solo para el levantamiento fotogramétrica sino, además, que al relacionarse con otros programas como BIM desarrolla un lenguaje de programación y monitorización de información.

### **1.1. Pregunta de investigación**

¿Cuál es el porcentaje de hundimiento de las viviendas en el sector de Solanda 1? En un estudio realizado en cuatro meses con proyecciones a futuro.

### **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general:**

Calcular el porcentaje de hundimiento mediante tecnología BIM y UAV en un barrio del sur de Quito.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- Establecer una metodología para el cálculo de hundimiento mediante UAV.
- Evaluar el hundimiento mensual de construcciones en un barrio del sur de Quito mediante BIM.
- Generar un modelo de predicción de hundimiento acorde a los datos obtenidos.

### **1.3. Hipótesis**

El barrio de Solanda sector 1 se está hundiendo de forma acelerada cada año por las vibraciones generadas en la construcción del metro de Quito y por el tipo de suelo en el que se encuentran diversos tipos de asentamientos comerciales y residenciales. Además, determinar si el uso de UAVs y GPS son eficientes para la elaboración de la metodología en el desarrollo del trabajo experimental.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Hundimientos

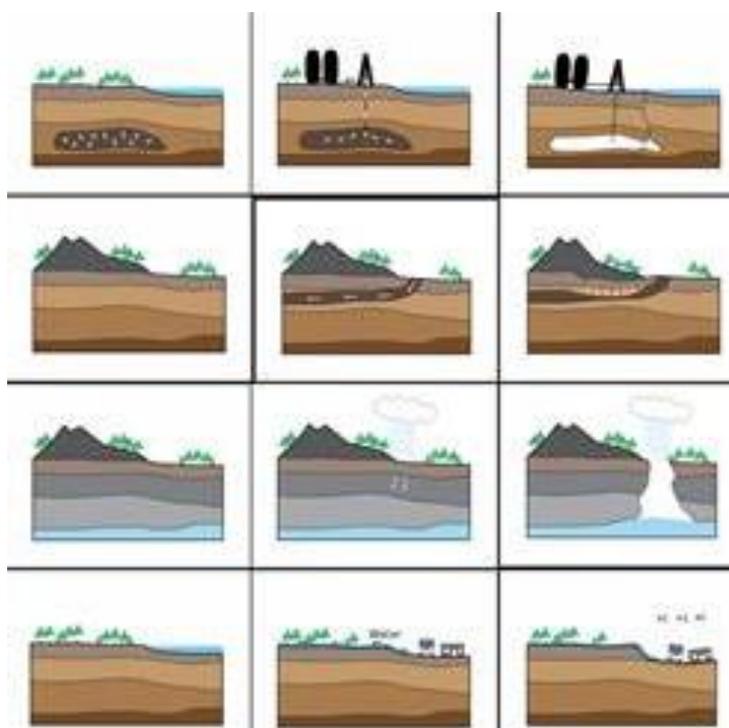
Según Moreno (2013), los hundimientos son movimientos que se producen en la superficie terrestre en sentido vertical descendente, este movimiento puede ser provocado por distintas causas y puede darse a velocidades muy rápidas o muy lentas ya que esto depende de la inestabilidad del lugar. p. (6)

### 2.2. Subsistencia

Según López (2021), la subsidencia es un tipo de movimiento progresivo de la superficie, este movimiento incluye la convergencia o divergencia de las placas en distintas escalas, esto se debe por el asentamiento de terrenos acelerados por la acción humana. La principal causa de la subsidencia es la extracción de fluidos o sólidos haciendo que el subsuelo se reacomode y baje el nivel de la superficie. p. (2)

#### *Figura 1*

*Proceso de ocurrencia del fenómeno de subsidencia*



Nota: Secuencia del fenómeno de subsidencia

Tomado de: Mateos et al., (2017)

### **2.3. Parroquia Solanda**

La parroquia Solanda se ubica dentro de las microcuencas del río Machángara y del río Grande, para finalmente juntarse y formar un solo drenaje. Abarca una extensión territorial de 720m<sup>2</sup> aproximadamente y con una elevación que varía entre 2849 a 2857msnm.

Según antecedentes e información bibliográfica recolectada los primeros registros del Plan de Vivienda Solanda datan de 1971, cuando se realizaba el estudio socioeconómico a las potenciales familias que podían ingresar a este plan habitacional.

Lo que ahora es Solanda, tiempo atrás fue la Hacienda Marquesa de Solanda que constaba de 150 hectáreas, las mismas que en 1976 fueron donadas por María Augusta Urrutia a la Fundación Mariana de Jesús quién estaba aliada a la Junta Nacional de la Vivienda.

**Figura 2**  
*Hacienda Solanda*



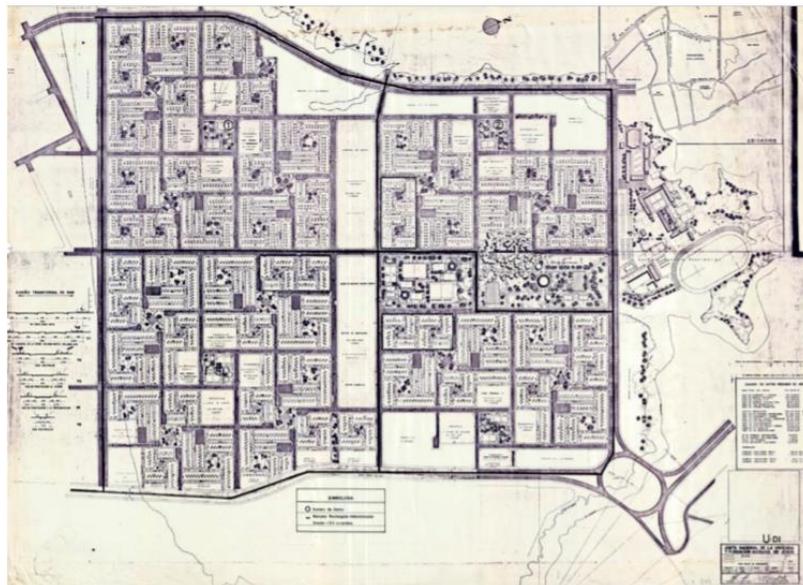
Tomado de: Archivo Diario El Comercio 1976

En 1980 el Municipio de Quito de aquel entonces aprobó el anteproyecto de la urbanización de Solanda, luego de haber realizado algunas modificaciones. Esta nueva

urbanización presentaba una organización por super manzanas que están conformadas por manzanas las que a su vez están conformadas por súper lotes los que se encuentran conformados por lotes, cada manzana cuenta con un centro de manzana y pasajes que apoyan a una condición más peatonal que vehicular en el barrio. Todo el sistema circulatorio es abierto, la circulación peatonal constituye una red continua que permite la comunicación con cualquier punto de la urbanización. Trama (1981)

### **Figura 3**

*Trazado urbanístico Plan Solanda*



Tomado de: Archivo MIDUVI

Según Bucheli y Realpe (2018), inicialmente 5.600 viviendas fueron planificadas en el plan Urbanístico Solanda, pero solamente 4.212 se entregaron progresivamente, en los cuatro sectores que conformaron inicialmente el barrio. El sector 1, nuestra zona de estudio fue primero en ser habitado. El Municipio hasta la actualidad no cuenta con registros de cómo se fue dando el poblamiento de los mismos. p. (12)

#### **2.3.1. Tipos de Viviendas**

Los tipos de vivienda diseñados para la urbanización Solanda fueron de “tipo cascarón”, las cuales constaban únicamente de paredes perimetrales y de baño, dejando las divisiones interiores para que el futuro propietario pueda ampliar o modificarlas de acuerdo a sus necesidades. Este punto es muy destacable ya que fue un factor determinante para que las familias de Solanda puedan ampliar y construir sus casas sin una planificación adecuada y sin pensar en los riesgos posteriores que esto generaría si no se realizan los estudios adecuados.

En un estudio realizado en el año 1989 se establecen las razones que tenía la población en ese entonces para la ampliación de sus viviendas. En este estudio se determinó cinco principales razones las cuales son: Vivienda inconclusa, más comodidad para el grupo familiar, inicialmente vivienda muy pequeña, instalación de un negocio y para obtener otros ingresos como el arriendo.

Por estas razones y otras es que ha ido creciendo la vivienda de manera informal sin el control y estudios adecuados en el barrio Solanda, además de que según información obtenida del INEC entre el año 1990 al 2010 hubo un crecimiento poblacional de alrededor del 350%, así como las modificaciones para las viviendas tuvieron un crecimiento de más del 500 %. Salazar Pino, et al., (1989)

**Tabla 1**

*Tabla comparativa de población y vivienda en Solanda*

Variables	Censo 1990	Censo 2001	Censo 2010
Población	22.361	33.934	78.279
Vivienda	4.817	9.254	24.526

Tomado de: Bucheli y Realpe (2018) – Fuente: INEC

### **2.3.2. Deformación de las viviendas**

Conforme pasan los años se ha evidenciado un crecimiento no planificado y acelerado de las viviendas en el sector, lo que se podría considerar que estas construcciones son de carácter informal, ya que en su mayoría no cumplen con los criterios ni parámetros exigidos por el municipio, además de que calidad de las estructuras no son fiables ya que no existe un control de estos procesos de construcción por parte de los entes reguladores.

Como consecuencia a lo descrito anteriormente y a la falta de conocimiento por parte de la población, se evidencian problemas en las viviendas por las progresivas deformaciones del suelo donde están asentadas las mismas. Bucheli y Realpe (2018)

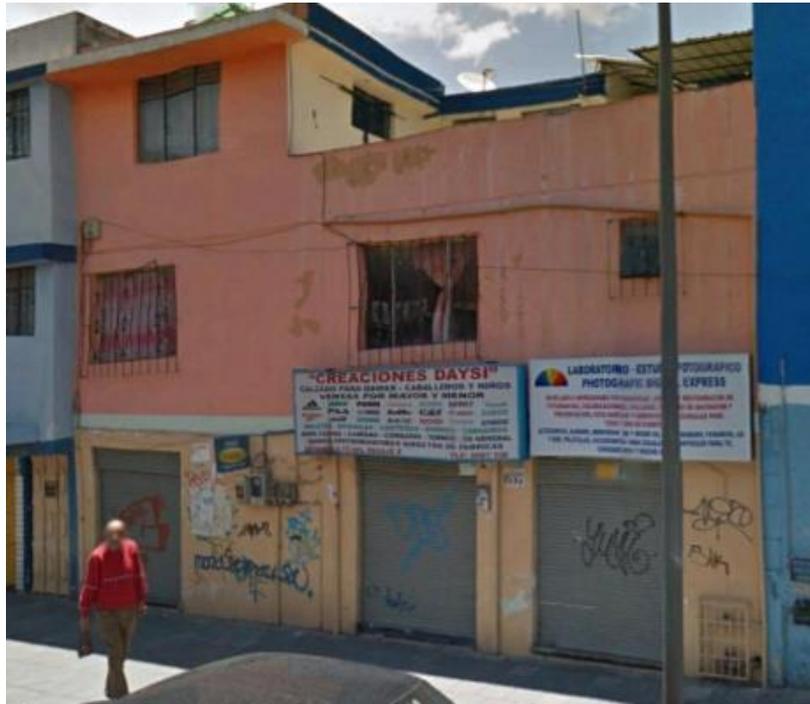
### **2.3.3. Situación Actual**

Actualmente Solanda está viviendo un fenómeno de asentamiento de sus viviendas y este se ha venido acelerando a medida que han realizado modificaciones a las mismas. En estudios realizados se identifica una deformación y sedimentación de los estratos del suelo a través del tiempo, además de un descenso del nivel freático. Debido a la disposición de las viviendas en el sector, el incremento de cargas a la cimentación y la no uniformidad de esas cargas sobre la misma área de implantación dan como resultado los problemas de asentamiento, hundimiento y cuarteaduras de las viviendas.

Estos problemas surgen cuando el equilibrio de estrato suelo en un medio sensible como el de Solanda se rompe, da como resultado una alteración. Bucheli y Realpe (2018)

#### **Figura 4**

*Vivienda en la calle José María Alemán - 2014*



Tomado de: Bucheli y Realpe (2018)– Fuente: Google earth

### Figura 5

*Vivienda en la calle José María Alemán - 2018*



Tomado de: Bucheli y Realpe (2018)– Fuente: LMC - PUCE

**Nota:** Aquí se realizó una comparativa de la misma vivienda en el año 2014 y 2018, observando en este última la existencia de daños en la fachada principal.

### 2.3.4. Vulnerabilidad física y técnica de Solanda 1

Un estudio realizado en el 2018 por la Escuela Politécnica Nacional, menciona la vulnerabilidad de Solanda, donde se explica que se ha evaluado la vulnerabilidad por dos factores principales los cuales son: la subsidencia de suelos y por terremotos o movimientos sísmicos. Este estudio se realizó mediante una encuesta a 500 familias en 396 lotes. Para el estudio se infirió la compresibilidad del suelo basándose en los daños actuales. Como resultado del mismo se obtuvo que de las 500 viviendas el 23% de las estructuras tienen una alta vulnerabilidad por subsidencias, 56% tiene una alta vulnerabilidad por sismos y combinando estos dos factores el 60% de las estructuras tienen una alta vulnerabilidad. Además, señala que las viviendas o edificios de más de tres pisos tienen una alta vulnerabilidad y se encuentran dentro de este grupo, ya que existen altas probabilidades de que sus cimientos no hayan sido construidos y planificados para este tipo de estructuras. Escuela Politécnica Nacional (2018)

**Tabla 2**

*Tabla de estimación de la vulnerabilidad*

ANÁLISIS	VULNERABILIDAD (# de predios)		
	Baja	Media	Alta
Por subsidencia	0	428	131
Por sismos	6	242	311
Por sismos y subsidencia	0	198	330
<b>TOTAL DE PREDIOS EVALUADOS</b>	559		
<b>TOTAL DE LOTES EVALUADOS</b>	396		

Tomado de: Escuela Politécnica Nacional (2018)

A partir del mes de mayo del 2018, la Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos y la Administración Zonal Eloy Alfaro han venido realizando inspecciones de las viviendas

con afectaciones por subsidencia del suelo y asentamientos, las evaluaciones se realizan mediante el uso de una ficha de evaluación estructural dividida en 10 secciones:

- Generalidades de cada edificación
- Aspectos geométricos
- Aspecto constructivo y grado de deterioro de paredes
- Materiales de la estructura y ampliaciones de ser el caso
- Sistema resistente: Pórtico de hormigón armado
- Patologías estructurales
- Asentamientos
- Sismos
- Valoración general
- Observaciones

Cada uno de estos parámetros es evaluado y al final sistematizado para obtener la vulnerabilidad estructural de las viviendas para los dos fenómenos: subsidencia y sismos.

Estas inspecciones tienen como fin: levantar información para determinar la vulnerabilidad física por cualquiera de estos fenómenos, registrar las afectaciones generadas para el posterior monitoreo e informar a los propietarios o inquilinos si la edificación muestra peligro para las personas que la habitan, es decir si las viviendas pueden seguir siendo habitadas o no y llegando en algunos casos a recomendar apuntalamientos provisionales. Secretaria General de Seguridad y Gobernabilidad (2018)

### **2.3.5. Investigación de la zona de estudio**

#### **2.3.5.1. Clima**

El clima en la zona de estudio se identifica como un clima semihúmedo a húmedo, con las siguientes características:

**Tabla 3**

*Tabla con las principales características de la zona de estudio*

<b>Precipitación pluvial</b>	1200 a 1400 mm
<b>Temperatura promedio</b>	14°C
<b>Elevación</b>	2857 a 2849 msnm

Tomado de: Bucheli y Realpe (2018)– Fuente: FUNEPSA (2015)

### ***2.3.5.2. Geomorfología***

Según Feininger (1983), “Quito es una ciudad situada en una depresión formada por productos volcánicos y de erosión pluvial, eólica y glaciario, constituyendo un relleno sedimentario de materiales mezclados y sobrepuestos entre sí, de unos 5 Km”. p. (87)

La cuenca de Quito es una depresión topográfica de dirección N-S, la misma se divide en dos subcuencas: centro-norte y sur, separadas por el río Machángara y El Panecillo. La zona de estudio pertenece a la unidad geomorfológica de relleno fluvial lacustre de Quito, en donde las condiciones topográficas prevalecientes de zona corresponden a una superficie plana, semirectangular con pendientes menores al 5%, es decir una pendiente baja, sin embargo las pendientes en las zonas de las quebradas pueden ser mayores a 30°, esto es un condicionante para el drenaje natural existente, donde las quebradas en épocas de invierno, pueden llegar a transportar caudales moderados a intensos, dependiendo de la pluviosidad reinante. Bucheli y Realpe (2018)

### ***2.3.5.3. Geología local***

Según Villagómez (2003), la ciudad de Quito siempre ha presentado una serie de fenómenos naturales como procesos tectónicos, volcánicos y erosivos fluviales, los mismos que han influido en la disposición de los distintos estratos geológicos

predominantemente de los volcanes Atacazo y Guagua Pichincha, dichos depósitos se agruparon dentro de las formaciones Machángara y Cangahua. pp. (54-55)

#### ***2.3.5.4. Hidrogeología***

El sur de Quito y específicamente la zona de estudio se encuentra representada hidrogeológicamente por los yacimientos de Guamaní y El Pintado. Los principales ríos que drenan el sur de Quito, tenemos al río Machángara y río Grande que nace en las estribaciones orientales del Atacazo. Peñafiel Aguilar (2009)

##### **2.3.5.4.1. Unidad Volcano-sedimentaria Guamaní**

Formada por depósitos de flujos piroclásticos poco compactos de buenas características hidrogeológicas, presenta al tope caídas de ceniza y oleadas piroclásticas mientras que a la base está formada por un depósito de tobas blancas, el depósito es altamente poroso y de baja densidad, además esta unidad contiene materia orgánica. Peñafiel Aguilar (2009)

##### **2.3.5.4.2. Unidad Fluvio – Lacustre El Pintado**

Conformada por depósitos de ambiente fluvial y lacustre. La base de la unidad está formada por brechas volcánicas intercaladas con areniscas finas y arcillas de espesores entre 0.3-1.0 metros. En este conjunto se encuentra una serie de estratos de arcilla y arena de color verde. El conjunto presenta gradación normal y líticas subredondeados, lo que indica un ambiente fluvial; el espesor no supera los 10 m de potencia con estratos individuales entre 0.2-0.5 metros. Al tope de esta unidad se han identificado una serie de turbas – paleosuelos y tobas que sobre yacen las arcillas y arenas de color verde. El conjunto tiene un espesor de 20 m. Peñafiel Aguilar (2009)

#### ***2.3.5.5. Topografía***

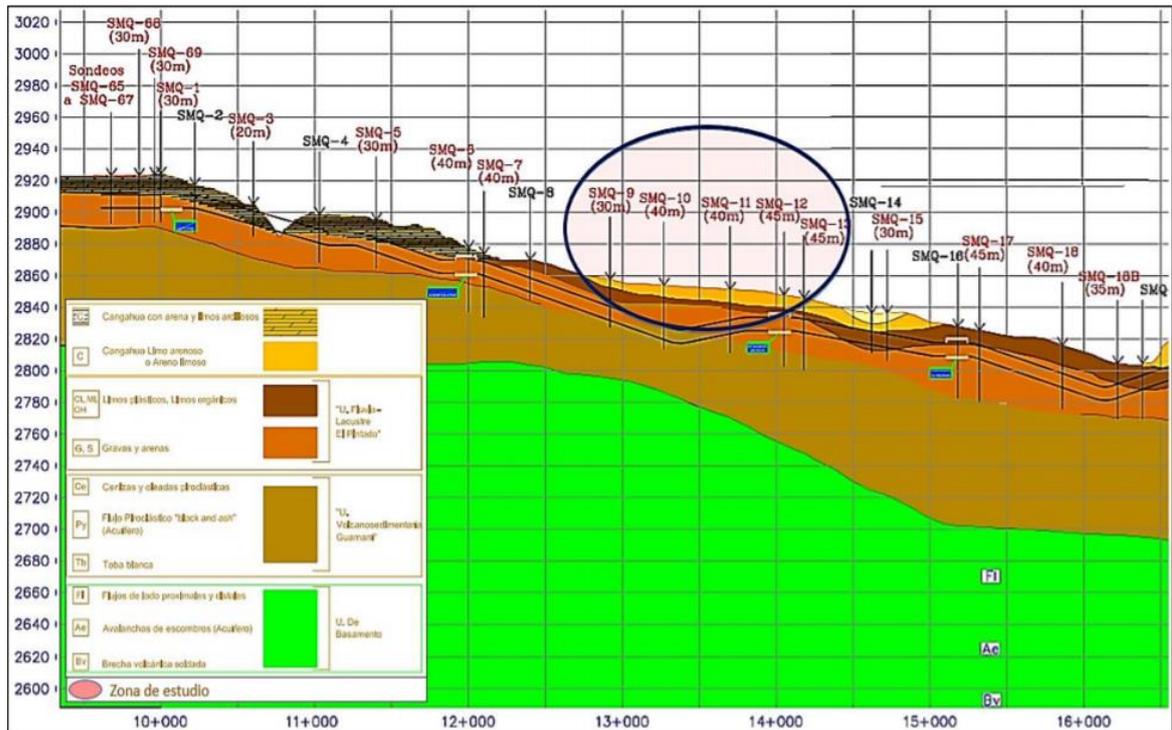
“La topografía del sector se define como una zona ligeramente plana, con ligeras pendientes casi nulas. La superficie del terreno también se considera plana, con un ligero desnivel ascendente, con relación al frente del mismo”. Empresa Pública Nacional de Hábitat y Vivienda (2015)

#### ***2.3.5.6. Estratigrafía***

La estratigrafía de la corteza superficial de la zona de estudio, está conformada por una capa superior, de hasta dos metros de espesor, de materiales de relleno, con materiales granulares, materia orgánica y raíces vegetales, de color café negruzco. Subyace un estrato de limos arenosos de color negro, de baja plasticidad, húmedos y con estructura blanda. Los limos contienen altos porcentajes de arenas de igual color negruzco, de grano medio a fino, de formas subredondeadas, mal gradadas, húmedas y con estructura suelta. Además, abarca bajas cantidades de grava de diámetros centimetrados, las cuales presentan formas subangulares, mal gradadas y con estructura suelta. Se aprecian bajos porcentajes de lapilli, en forma de partículas de pómez, de tamaños milimétricos, de manera aleatoria. Entre los tres y los cinco metros se encuentran lentes y bolsas de arenas finas, con bajos porcentajes de limos poco o nada plásticos, de color negro y estructura suelta a media. A los seis metros se encuentra un lente de suelos orgánicos de baja plasticidad, de color negro, muy húmedos y con estructura muy blanda. Empresa Pública Nacional de Hábitat y Vivienda (2015)

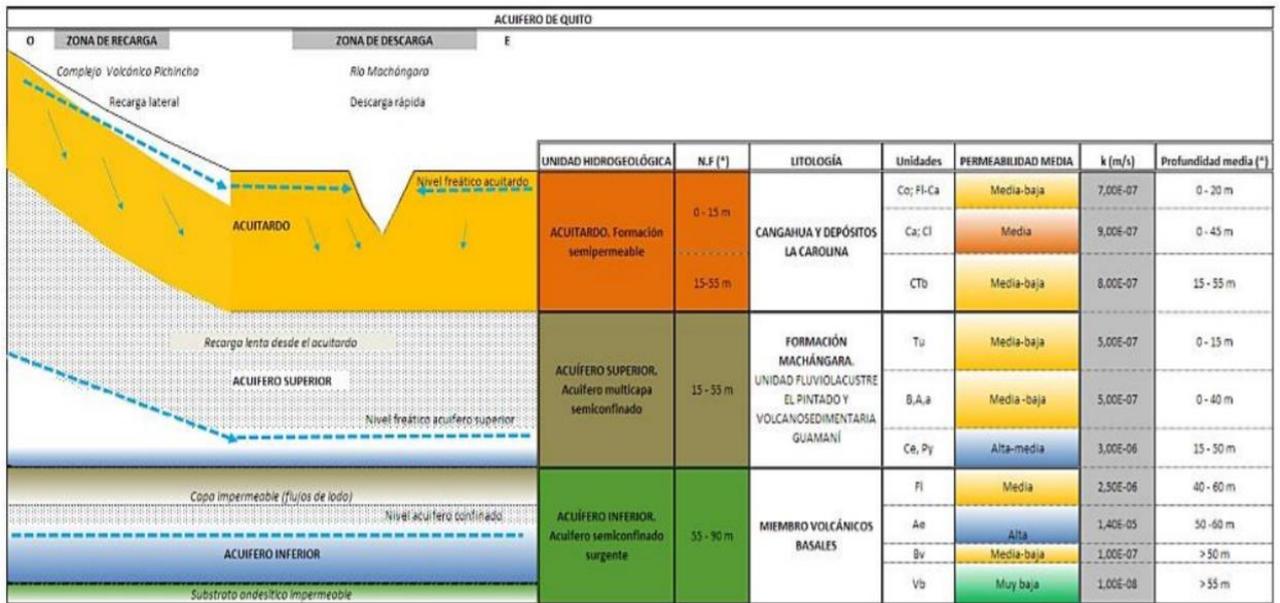
#### **Figura 6**

*Perfil estratigráfico de la cuenca del sur de Quito*



Tomado de: Metro de Quito (2013)

**Figura 7**  
Modelo Hidrogeológico para la cuenca sur-centro-norte de Quito



Tomado de: Metro de Quito (2013)

### 2.3.5.7. Aguas subterráneas

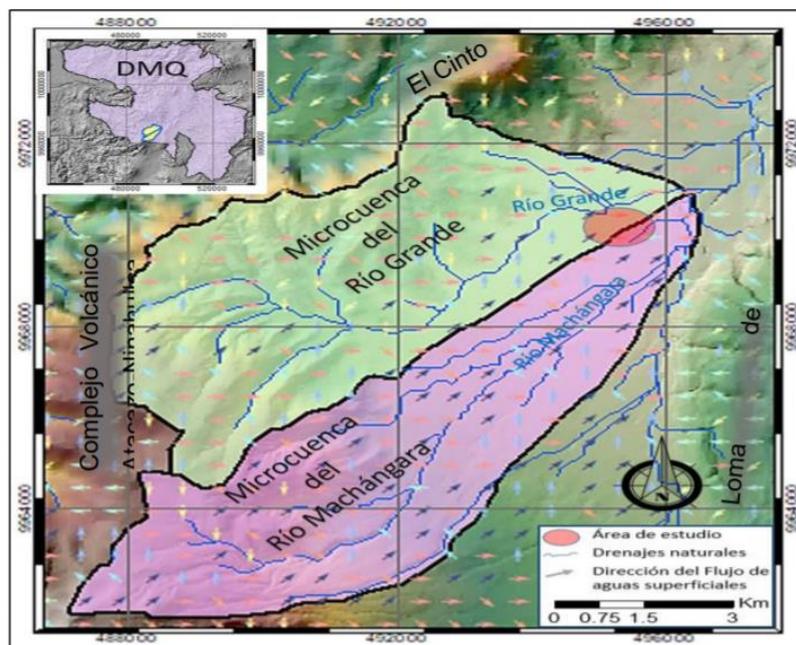
El flujo del agua subterránea de los yacimientos fluye a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración, y la descarga del flujo subterráneo se produce hacia los drenajes superficiales localizados en las microcuencas, cuando se intercepta el nivel de saturación con el nivel topográfico. Las condiciones hidrológicas en las microcuencas que influyen en la zona de estudio, teniendo como direcciones predominantes, la dirección E-O y la dirección SO-NE, determinando que la mayor influencia en las condiciones hidrológicas proviene del flanco occidental de la cuenca de Quito y en menor o escasa influencia el flanco oriental, que son las fuentes de recarga principal de las aguas subterráneas. Los factores que permiten el movimiento de las aguas subterráneas son la porosidad, permeabilidad o conductividad hidráulica y filtración dentro de cada acuífero. Bucheli y Realpe (2018)

En investigaciones realizadas por Peñafiel. Alrededor de los años 60 se observa un mayor aporte a la recarga de las aguas subterráneas debido a la infiltración natural, ya que existía una mayor área de recarga natural en la superficie, además de una recarga antrópica de agua, que provenía del regadío aplicado en los cultivos que predominaban en las haciendas de aquel entonces, esto implicaba una posible saturación de agua en las capas más superiores de los suelos y por ende un incremento del potencial hidráulico, posteriormente con el tiempo se denota una ligera disminución del potencial hidráulico hasta la actualidad, este descenso corresponde a la disminución de áreas naturales debido a la impermeabilización de los suelos generado por las construcciones antrópicas en superficie y la eliminación de la recarga artificial; Al tener una disminución de las cargas hidráulicas en el suelo, se genera una disminución de la presión intersticial del agua en los poros y como consecuencia una compactación de los estratos que contenían el agua, lo que ha ocurrido a largo plazo. Provocando en la actualidad un ligero descenso del nivel

freático. Además, se da el fenómeno de consolidación secundaria en el suelo que provoca una reducción del volumen del mismo ante un esfuerzo constante y es el resultado de la descomposición de la materia orgánica, y procesos de reacomodación del esqueleto mineral por cambios físicos y químicos del suelo a largo plazo. Peñafiel Aguilar (2009)

### Figura 8

*Flujo de aguas superficiales y delimitación de las cuencas hidrológicas de la zona de estudio*



Tomado de: Bucheli y Realpe (2018)

#### 2.3.5.8. Alcantarillas

Este tipo de deformaciones que se presentan en el suelo en la zona de estudio han generado grandes daños en las tuberías de abastecimiento del agua potable y en las redes de alcantarillado, provocando la ruptura de las mismas, obteniendo un dren de agua artificial y dependiendo de las características del fluido puede actuar como influente o efluente, si es el primero aportará con agua al suelo y si es el segundo el suelo drenará el fluido haciendo aún más grave la deformación del suelo.

Actualmente mediante entrevistas con los moradores del sector 1, nos han informado que en ciertas viviendas ha ocurrido el segundo caso, es decir el asentamiento de la estructura ha provocado la ruptura de las tuberías del alcantarillado, haciendo que en sus viviendas el suelo bajo las mismas sea más inestable, además de las molestias generadas por las aguas servidas que se quedan retenidas provocando malos olores y daños dentro de sus hogares.

A simple vista se puede observar que algunas alcantarillas se encuentran a un desnivel considerable respecto al nivel de la acera o vía.

#### ***2.3.5.9. Construcción del metro de Quito***

Una de las variables más a considerar dentro de este problema de subsidencia de las viviendas ha sido la construcción del Metro de Quito, el cual atraviesa por dicho sector, además de la construcción de una salida de emergencia y la extracción de agua subterránea que fue necesaria para la construcción de la misma.

El área de influencia de excavación del metro es de 35 m medidos desde la superficie. Una máquina tuneladora (TBM) fue empleada para los procesos de excavación y colocación del anillo de hormigón impermeable que forma el ducto del túnel. El proceso de excavación y construcción en este tipo de túneles, es obligatoriamente instrumentado para controlar o monitorear deformaciones en profundidad y superficie en un ancho cooperante desde el eje del túnel que supone la disipación de los cambios de esfuerzos generados por la excavación, así como también, control a lo largo de avance del equipo. Según los registros de la instrumentación a cargo de la empresa constructora del metro se han presentado deformaciones muy pequeñas dentro del área de influencia ya mencionada. Un fenómeno con seguridad no contemplada en los estudios originales

constituye la subsidencia a causa de la reacción del sistema múltiple de acuíferos que existe en el subsuelo del sector.

Hasta el 2018 no se registraban denuncias oficiales en la Secretaría de Seguridad por daños derivados de estos trabajos, pero con el pasar del tiempo se fueron evidenciando afectaciones y la población comenzó a denunciar, hasta la actualidad son alrededor de 400 viviendas afectadas y la población está convencida que la construcción del metro es la principal causa para que sus casas se estén cayendo, ya que ellos no tienen conocimiento acerca de las otras razones por las que se están desencadenando estos fenómenos de subsidencia. Se podría explicar que el metro es un factor que acelera de cierta manera los fenómenos de subsidencia, pero no se lo podría denominar el causante principal de la ocurrencia del fenómeno en este sector.

La extracción del agua subterránea para la construcción de la salida de emergencia pudo ser un factor importante ya que al quedar el suelo sin esta importante cantidad de agua el suelo se va a ir compactando poco a poco y por lo tanto aumentando la deformación de los estratos obteniendo como resultado la vivienda hundida.

Se ha conocido del fenómeno de subsidencia en otros países como China y México y se ha comprobado que el asentamiento ha sido causado por la extracción continua y cada vez mayor de acuíferos profundos, entonces esta hipótesis está perfectamente relacionada con el fenómeno de subsidencia en nuestra zona de estudio, es decir este fenómeno se da por el constante descenso del nivel freático. Según investigaciones los casos de subsidencia por causa de la extracción de agua de los acuíferos en el mundo han experimentado un aumento en los últimos 50 años, demostrando que están perfectamente relacionados. Bucheli y Realpe (2018)

## **2.4. Modelo BIM (Building Information Modelling)**

En español significa Modelado de Información de Construcción. Es una metodología que consiste en la creación, gestión y almacenamiento de información sobre todo lo que conlleva un proyecto constructivo, como su geometría, a la relación con el espacio, al emplazamiento geográfico y a todas las cantidades y componentes de un edificio. Es decir, es la administración de la información detallada de una edificación o proyecto constructivo, incluyendo aspectos como diseño y mantenimiento, teniendo como finalidad evitar la pérdida de recursos y administrar de manera más exacta el tiempo en la construcción de la estructura, o evitar costes innecesarios en futuras remodelaciones. Guadalajara (2017)

### **2.4.1. Uso de BIM**

El uso del BIM conforma pasa el tiempo es más frecuente en proyectos de arquitectura e ingeniería ya que brinda ventajas frente al proceso tradicional de diseño y construcción, BIM te brinda un ahorro de tiempo, mayor efectividad del trabajo, disminución de errores en los proyectos y un mayor control del trabajo, entre otras ventajas son las que aporta este software a los profesionales que lo usan. Guadalajara (2017)

BIM surge como una mejora ante la forma tradicional de planificar y realizar un proyecto. Los sectores más beneficiados con este software son el de la construcción, el energético y el industrial. Según Fuentes (2012): El sector de la construcción afecta directamente a los tres sectores de la economía:

- El Sector primario: industrias extractivas, obtención de materias primas.
- El Sector secundario: equipamientos, materiales ya procesados, constructoras.
- El Sector terciario: despachos de arquitectura, promotores, agencias inmobiliarias.

#### **2.4.2. BIM en Latinoamérica y Ecuador**

En Latinoamérica el uso del BIM se va abriendo camino, ya que es una metodología que se está usando a nivel mundial en el sector de la construcción. Según Alonso (2019), las previsiones del crecimiento de BIM para 2020 eran de un 11%, pero según expertos este crecimiento se ha ido dando mucho más lento conforme sigue transcurriendo el año.

**Figura 9**  
*BIM en Ecuador*



Tomado de: Editeca (2019)

En Ecuador todavía no existe un estándar para la implementación BIM, ya que actualmente se lo realiza dependiendo del tipo y necesidad del proyecto. Además, el estado tampoco ha mostrado un interés para implementar soluciones o normas BIM. Un experto ecuatoriano Héctor Santacruz, señala que el país se encuentra en niveles muy inferiores en cuanto a la implementación del BIM, demostrando que la falta de aprendizaje en esta materia es el talón de Aquiles del BIM en el Ecuador. Este retraso en la implementación del BIM se debe puntualmente a que las empresas no pueden ver todo el potencial y beneficio que les puede brindar esta metodología, además de un factor importante, el aprendizaje que se podrá obtener para los colaboradores y proveedores de las empresas, es decir, se necesita un esfuerzo extra en cuanto a tiempo y dinero por parte

de las empresas; lo que se traduce a posibles demoras en los proyectos en marcha y como resultado final un costo extra, lo que pocas empresas estarían dispuestas a pagar. Editeca (2019)

Por un lado, el sector público no se arriesga para apostar por el BIM, mientras que en el sector privado hay algunas iniciativas para ofrecer formación BIM en edificación e infraestructura. Las universidades poco a poco han ido incluyendo en su programación la formación en software BIM y así poder brindar nuevas opciones para el aprendizaje de sus estudiantes. Editeca (2019)

### ***2.5. UAV (Unmanned Aerial Vehicle) – Vehículo Aéreo no Tripulado***

Comúnmente conocido como dron, es una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente, esta aeronave es controlada mediante un sistema de comunicación o conexión por vía satélite, radiocontrol, bluetooth o Wifi. Un UAV es un vehículo capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado propulsado por un motor de explosión, eléctrico o de reacción, controlados por un software en combinación con un GPS. Rodriguez (2019)

#### ***2.5.1. Clasificación:***

Según Cantos (2015), para realizar una clasificación de estos equipos debemos basarnos en diferentes criterios, ya sea el tamaño, número de hélices, su uso, por forma de despegue, tipo de motor, etc.

En este caso vamos a clasificarlo de dos formas:

1. Dependiendo su uso
  - Militar: Usados para misiones militares, se los llama drones de combate.

- Civil: Usados para filmografía, cartografía, lúdico, etc.

## 2. Dependiendo el número de hélices

- Tricópteros de tres hélices
- Quadcópteros de cuatro hélices
- Hexacópteros de seis hélices
- Octocópteros de ocho hélices

### ***2.5.2. Usos del dron***

Estos equipos tienen usos infinitos y cómo se lo mencionó anteriormente se lo puede usar militarmente para asuntos de estado, pero también estos equipos se pueden usar en la ingeniería, ya sea en el sector de la construcción o en el sector ambiental para investigaciones atmosféricas, levantamientos topográficos, fotografías, inspecciones de lugares e infraestructuras, control medioambiental, gestión de riegos, control de desastres naturales, exploraciones geológicas o mineras, entre otros. Cantos (2015)

Existen en el mercado drones de diferentes modelos y precios y son muy accesibles para adquirirlos de acuerdo a la necesidad. Existen versiones más básicas y menos sofisticadas desde \$100 dólares o menos, hasta drones de última generación con cámaras full HD, gran autonomía, los cuales sobrepasan los \$3.000 dólares. Cantos (2015)

El equipo usado para la realización de este trabajo experimental es el Dron Phantom 4 PRO.

### ***2.5.3. Regulación de drones en Ecuador***

La Dirección General de Aviación Civil, DGAC (2015), en septiembre de 2015, dispuso la resolución 251-2015 para la regulación de la operación de drones en el país. En la resolución se detalla lo siguiente:

#### Art. 1 Operaciones en las cercanías de un aeródromo

- Se prohíbe la operación de los UAS en espacios aéreos controlados.
- La operación de los UAS se mantendrá durante toda la duración del vuelo, a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros (5 NM) de las proximidades de cualquier aeródromo o base aérea militar.

#### Art. 2 Altura máxima de vuelo

La operación de los UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno.

#### Art. 3 Horas de operación

Los UAS serán operados solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual, libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con el UAS.

#### Art. 4 Responsabilidad por la operación

La persona que opera los controles del UAS será responsable por la operación general de la misma durante todo el vuelo, en forma solidaria con el explorador o propietario de la aeronave.

#### Art. 5 Integridad fisiológica del operador de un UAS

Ninguna persona operará los controles de un UAS si:

- Se encuentra fatigado, o si se considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación.
- Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura.

#### Art. 6 Funciones de automatización

Si el UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave.

#### Art. 7 Limitaciones

La persona que opera los controles de un UAS es responsable por asegurarse que la misma sea operada de acuerdo con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante.

#### Art. 8 Seguros

El propietario o explorador está en la obligación de responder por los daños causados a terceros, como resultado de sus actividades de vuelo, para lo cual debe contratar una póliza de seguros de responsabilidad civil legal a terceros en los montos mínimos establecidos, los cuales se describen a continuación:

**Tabla 4**

*Tabla con los montos mínimos establecidos de seguros a terceros*

<b>De 02 a 25 Kg de masa máxima de despegue (MTOW)</b>	USD 3.000,00
<b>De más de 25 Kg de masa máxima de despegue (MTOW)</b>	USD 5.000,00

Tomado de: DGAC (2015)

En el país actualmente no se necesita contar con una licencia o tomar clases para poder controlar un UAS, lo primero que si se debe tomar en cuenta son los puntos antes mencionados de la Regulación 251-2015.

#### **2.5.4. Dron Phantom 4 PRO**

Es un dron de cuatro hélices, un quadróptero. Entre las características principales se puede mencionar que cuenta con un sensor de 1 pulgada de 20 MP, además puede grabar en 4K a 60 fps, tiene un obturador mecánico, doble codificación, alcance de transmisión 7 Km y una autonomía 30 minutos de vuelo, un aspecto importante de este equipo es la detección de obstáculos en 5 direcciones, lo que facilita el manejo del mismo en zonas muy estrechas o con alto riesgo de colisiones. El sistema Flight Autonomy tiene sensores adicionales en la parte trasera y lateral. Su control remoto cuenta con pantalla integrada. El Phantom 4 Pro es la primera aeronave de la marca DJI que utiliza un sistema de infrarrojos de detección. Los mismos que están dispuestos a la izquierda ya la derecha de la aeronave, su función principal es medir la distancia entre la aeronave y cualquier obstáculo usando la exploración 3D infrarroja. DJI (2021)

#### **Figura 10**

*Dron Phantom 4 PRO*



Tomado de: DJI (2021)

### 2.5.4.1. Especificaciones del Dron Phantom 4 PRO

**Tabla 5**

*Tabla de especificaciones de la aeronave*

<b>AERONAVE</b>	
Peso (batería y hélices incluidas)	1388 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m/s
	Modo P: 5 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m/s
	Modo P: 3 m/s
Máxima velocidad	Modo S: 45 mph (72 kph)
	Modo A: 36 mph (58 kph)
	Modo P: 31 mph (50 kph)
Ángulo de inclinación máxima	Modo S: 42 °
	Modo A: 35 °

	Modo P: 25 °	
Velocidad angular máxima	Modo S: 250 °/ s	
	Modo A: 150 °/ s	
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	19685 pies (6000 m)	
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m/s	
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 30 minutos	
Rango de temperatura de funcionamiento	32 °a 104 °F (0 °a 40 °C)	
Sistemas de posicionamiento satelital	GPS / GLONASS	
Rango de precisión de desplazamiento	Vertical	Horizontal
	± 0.1 m (con posicionamiento visual)	± 0.3 m (con posicionamiento visual)
	± 0.5 m (con posicionamiento GPS)	± 1.5 m (con posicionamiento GPS)

Tomado de: DJI (2021)

### Tabla 6

*Tabla de especificaciones de las rastas*

<b>RASTAS</b>	
Estabilización	3 ejes (cabeceo, balanceo, guiñada)
Rango controlable	Paso: -90° a + 30°
Velocidad angular máxima controlable	Paso: 90°/s
Rango de vibración angular	± 0.02°

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 7***Tabla de especificaciones del control remoto*

<b>CONTROL REMOTO</b>	
Frecuencia de operación	2.400 - 2.483 GHz y 5.725 - 5.825 GHz
Distancia máxima de transmisión	2.400 - 2.483 GHz (sin obstáculos, sin interferencias)
	FCC: 4.3 mi (7 km)
	CE: 2.2 mi (3.5 km)
	SRRC: 2.5 mi (4 km)
	5.725 - 5.825 GHz (sin obstáculos, sin interferencias)
	FCC: 4.3 mi (7 km)
	CE: 1.2 mi (2 km)
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)
Batería	6000 mAh LiPo 2S
Corriente de funcionamiento / voltaje	1.2 A@ 7.4 V
Puerto de salida de video	GL300E: HDMI
	GL300F: USB

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 8***Tabla de especificaciones del sistema de visión*

<b>SISTEMA DE VISIÓN</b>	
Sistema de visión	Sistema de visión hacia adelante Sistema de visión hacia atrás Sistema de visión hacia abajo
Rango de velocidad	≤ 31 mph (50 kph) a 6.6 pies (2 m) sobre el suelo
Rango de altitud	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Rango de operación	0 - 33 pies (0 - 10 m)
Obstáculo Rango sensorial	2 - 98 pies (0.7 - 30 m)

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 9***Tabla de especificaciones de la batería de vuelo inteligente*

<b>BATERIA DE VUELO INTELIGENTE</b>	
Capacidad	5870 mAh
Voltaje	15,2 V
Tipo de batería	LiPo 4S
Energía	89,2 Wh
Peso neto	468 g
Rango de temperatura de carga	41 ° a 104 ° F (5 ° a 40 ° C)
Máxima potencia de carga	160 vatios

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 10***Tabla de especificaciones de la cámara*

<b>CAMARA</b>	
Sensor	Píxeles efectivos CMOS de 1": 20M
Lente	FOV 84 ° 8.8 mm / 24 mm (equivalente en formato de 35 mm) f / 2.8 - f / 11 enfoque automático a 1 m - ∞
Rango ISO	Video: 100 - 3200 (Automático) 100 - 6400 (Manual) Foto: 100 - 3200 (Automático) 100 - 12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8 - 1/2000 s
Velocidad de obturación electrónica	8 - 1/8000 s
Tamaño de la imagen	Relación de aspecto 3: 2: 5472 × 3648 Relación de aspecto 4: 3: 4864 × 3648 Relación de aspecto 16: 9: 5472 × 3078
Tamaño de imagen PIV	4096 × 2160 (4096 × 2160 24/25/30/48 / 50p) 3840 × 2160 (3840 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p) 2720 × 1530 (2720 × 1530 24/25/30/48 / 50 / 60p) 1920 × 1080 (1920 × 1080 24/25/30/48/50/60 / 120p) 1280 × 720 (1280 × 720 24/25/30/48/50/60 / 120p)

Modos de fotografía fija	<p>Disparo en ráfaga de disparo único: 3/5/7/10/14 cuadros</p> <p>Horquillado de exposición automática (AEB): 3/5 cuadros entre corchetes a 0.7 EV</p> <p>Intervalo de sesgo: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s</p>
Modos de grabación de video	<p>H.265</p> <p>C4K: 4096 × 2160 24/25 / 30p @ 100Mbps</p> <p>4K: 3840 × 2160</p> <p>24/25 / 30p @ 100Mbps 2.7K: 2720 × 1530 24/25 / 30p @ 65Mbps</p> <p>2.7K: 2720 × 1530 48/50 / 60p @ 80Mbps FHD: 1920 × 1080 24/25 / 30p @ 50Mbps</p> <p>FHD: 1920 × 1080 48/50 / 60p @ 65Mbps</p> <p>FHD: 1920 × 1080 120p @ 100Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 24/25 / 30p @ 25Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 48/50 / 60p @ 35Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 120p @ 60Mbps</p> <p>H.264</p> <p>C4K: 4096 × 2160 24/25/30/48/50 / 60p @ 100Mbps</p> <p>4K: 3840 × 2160 24/25/30/48 / 50 / 60p @ 100Mbps</p> <p>2.7K: 2720 × 1530 24/25 / 30p @ 80Mbps 2.7K: 2720 × 1530 48/50 / 60p @ 100Mbps</p> <p>FHD: 1920 × 1080 24/25 / 30p @ 60Mbps</p> <p>FHD: 1920 × 1080 48 / 50/60 @ 80Mbps FHD: 1920 × 1080 120p @ 100Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 24/25 / 30p @ 30Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 48/50 / 60p @ 45Mbps</p> <p>HD: 1280 × 720 120p @ 80Mbps</p>
Max Video Bitrate	100 Mbps
Sistemas de archivos compatibles	FAT32 (≤32 GB); exFAT (> 32 GB)
Foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG

Vídeo	MP4 / MOV (AVC / H.264; HEVC / H.265)
Tarjetas SD compatibles	Micro SD Capacidad máxima: 128 GB Velocidad de escritura $\geq 15$ MB / s, se requiere clase 10 o clasificación UHS-1
Rango de temperatura de funcionamiento	32 ° a 104 ° F (0 ° a 40 ° C)

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 11**

*Tabla de especificaciones del cargador*

<b>CARGADOR</b>	
Voltaje	17.4 V
Potencia nominal	100 vatios

Tomado de: DJI (2021)

**Tabla 12**

*Tabla de especificaciones de la aplicación*

<b>APLICACIÓN / VISTA EN VIVO</b>	
Aplicación móvil	DJI GO 4
Frecuencia de trabajo de visualización en vivo	2.4 GHz ISM, 5.8 GHz ISM
Calidad de visualización en vivo	720P a 30 fps
Latencia	Phantom 4 Pro: 220 ms (según las condiciones y el dispositivo móvil) Phantom 4 Pro +: 160 - 180 ms

Tomado de: DJI (2021)

## **2.6. GPS (Global Positioning System) - Sistema de Posicionamiento Global**

Según Ayala y Hasbun (2012), el GPS es un sistema que permite determinar la posición de un objeto en cualquier parte de la Tierra, cuenta con una precisión de hasta centímetros. El Departamento de Defensa de Estados Unidos diseñó, desarrolló e instaló el sistema y actualmente es propiedad de la Fuerza Espacial

de los Estados Unidos. Cuando se requiere determinar su posición, un usuario utiliza cuatro o más satélites y utiliza la trilateración.

El GPS funciona mediante una red de mínimo veinticuatro satélites en órbita sobre el planeta Tierra, estos satélites se encuentran a aproximadamente 20.000 km de altura, sus órbitas están distribuidas para que en todo momento haya al menos cuatro satélites visibles en cualquier punto de la tierra. pp. (19-46)

### **2.6.1. Elementos del GPS**

El Sistema de posicionamiento global GPS, está integrado por tres componentes:

- **Espacial:** compuesto por 24 satélites dispuestos en seis órbitas a razón de 4 equipos en cada órbita. Los satélites orbitan alrededor de la Tierra a una altura de 20200 kilómetros. La velocidad de rotación es de una vuelta a la Tierra cada 12 horas, siguiendo una ruta con una inclinación de 55° respecto al Ecuador celeste y una diferencia de 90° de arco de los satélites entre sí. A esto se han de sumar los satélites geoestacionarios de amplia cobertura del sistema WAAS/EGNOS.
- **Terrestre:** también llamado de control. Corrige la señal obtenida de los satélites, así como posibles desviaciones de la órbita. El sector terrestre lo componen 9 estaciones: 1 general, 5 de rastreo y 3 de datos.
- **Usuario:** compuesto por antena, amplificador y receptor. Se encarga de seleccionar los satélites que deben aportar la información para calcular la posición, medir el tiempo entre transmisiones y la hora.

La combinación de estos tres componentes proporciona el tiempo y la posición de un objeto con una cobertura global, garantizando que cualquier usuario disponga en todo momento de entre 6 y 8 satélites visibles sobre el horizonte. Azimut Marine (2013)

## **2.6.2. Funcionamiento del GPS**

El funcionamiento del GPS radica en los siguientes aspectos:

### **2.6.2.1. La posición:**

La situación de los satélites puede ser determinada de antemano por el receptor con la información del llamado almanaque (un conjunto de valores con cinco elementos orbitales), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de los almanaques de toda la constelación se completa cada 12- 20 minutos y se guarda en el receptor GPS. La información que es útil al receptor GPS (ubicado en el punto que queremos medir) para determinar su posición se llama efemérides. En este caso cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora atómica, información doppler, etc. El receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites (hora en la que emitieron las señales, localización de los mismos) y trata de sincronizar su reloj interno con el reloj atómico que poseen los satélites. La sincronización es un proceso de prueba y error que en un receptor portátil ocurre una vez cada segundo. Una vez sincronizado el reloj, puede determinar su distancia hasta los satélites y utiliza esa información para calcular su posición en la tierra. Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor. Ayala y Hasbun (2012)

### **2.6.2.2. La distancia:**

La distancia entre el receptor GPS y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida a partir del satélite por su rapidez de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio se necesita que los relojes de los satélites y de los receptores se encuentren sincronizados y que generen una serie de códigos digitales, con una cierta sucesión, para que se les logre comparar de forma sencilla y sin ambigüedad, puesto que tienen que crear al mismo tiempo el mismo código. Una vez que el receptor obtiene el código se mira retrospectivamente para ver hace cuanto se generó allí aquel mismo código, conociendo así el tiempo transcurrido a partir de que el mismo código específico partió del satélite y arribó al receptor. Las distancias con errores debidos al sincronismo se llaman pseudodistancias. Con base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia llevando a cabo un movimiento temporal de su código pseudoaleatorio hasta conseguir la coincidencia con el código recibido; este movimiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal. Este proceso se hace de manera automática, continua y rápida en cada receptor. Ayala y Hasbun (2012)

#### ***2.6.2.3.Sincronización:***

La precisión y la exactitud en la medida de la distancia a los satélites son cruciales para el perfecto manejo del GPS. Para eso, se debería contar con relojes de gran precisión, debido a que una milésima de segundo a la velocidad de la luz puede dar por sentado un error de 300 km. Para los satélites esto no implica un problema debido a que todos ellos disponen de un reloj atómico en uso al menos en su interior. Desafortunadamente, por el precio y tamaño, es imposible contar con un reloj atómico en un receptor GPS. Pero para ofrecer solución a este problema, los ingenieros que desarrollaron el GPS han tenido la brillante iniciativa de simular un "reloj atómico" por medio de la recepción de la señal de un satélite extra. La

recepción de una señal extra posibilita que el receptor logre calcular los errores cometidos en la medición y comparación del tiempo y compensarlos, de allí la necesidad de utilizar cuatro satélites para la medición de nuestra posición, en lugar de tres como sería lo común en un sistema tridimensional. Debido a este "reloj atómico", los receptores tienen la posibilidad de emplearse para algo más que el cálculo de posiciones. Ayala y Hasbun (2012)

#### **2.6.2.4. Posición:**

El Departamento de Defensa de Estados Unidos ejerce un control permanente de cada satélite, para lo que tiene establecidas una serie de estaciones de control y para tal objetivo cada satélite pasa sobre todas las estaciones de control dos veces al día; así se puede obtener su altitud, posición y velocidad pudiendo calcular con esto los errores de "efemérides", provocados por la tracción lunar y solar y otros fenómenos celestes; después de hacer los ajustes que corresponden se transmite la información al satélite, que después emite las pequeñas correcciones junto con la información de tiempo. Por consiguiente, los satélites no solo transmiten los códigos para medir el tiempo transcurrido sino además datos acerca de su estado de salud y posición orbital precisa. Ayala y Hasbun (2012)

#### **2.6.2.5. Receptores GPS**

Los diferentes tipos de receptores que se encuentran disponibles en el mercado para su uso según su importancia en el orden de prestación se presentan los siguientes:

##### *2.6.2.5.1. Receptores de navegación*

Económicamente son los más cómodos, normalmente son receptores bastante pequeños y portátiles. En su pantalla aparecen las coordenadas en el sistema

WGS-84, aunque ciertos equipos muestran la posibilidad de mostrar coordenadas en el sistema local. Teniendo presente que dichos equipos no son aptos para utilizar las técnicas diferenciales, donde un solo receptor bastaría, la precisión a la que pueden llegar no sobrepasa los  $\pm 10\text{m}$ . Ciertos aparte de presentar las características ya mencionadas cuentan con la alternativa de almacenamiento en memoria de datos vigilados, haciendo más fácil con esto el procesamiento posterior de dichos datos. Ayala y Hasbun (2012)

### **Figura 11**

*Receptor GPS de navegación portátil*



Tomado de: Ayala y Hasbun (2012)

#### *2.6.2.5.2. Receptores de posicionamiento mono frecuencia*

Esta clase de receptor funciona en modo diferencial donde son usados dos receptores simultáneamente. Un receptor es ubicado en un punto con coordenadas conocidas al cual se le llama receptor base en lo que el otro receptor se desplaza sobre los puntos que van a ser medidos, a este se le llama receptor móvil. El receptor base se puede ubicar en un vértice geodésico o hay la probabilidad además de usar una estación CORS por medio de sus datos de Internet. La mono frecuencia supone que el receptor obtiene únicamente la onda portadora L1, con esto se tiene la posibilidad de solucionar ambigüedades menos potentes. Con un

óptimo receptor de este tipo se puede llegar a precisiones submétricas en una distancia de 5 a 10 km, entre ambos receptores. Ayala y Hasbun (2012)

### **Figura 12**

*Receptor GPS de mono frecuencia*



Tomado de: Ayala y Hasbun (2012)

#### *2.6.2.5.3. Receptores de posicionamiento doble frecuencia*

Los receptores geodésicos de doble frecuencia tienen las características de los anteriores y añade a la medición la onda portadora L2, dando un paso más hacia el decrecimiento de errores sistemáticos, en particular los que se refieren a la dispersión de la señal en la ionosfera, permitiendo de esta forma conseguir las mejores precisiones en mediciones con GPS. Esta clase de receptor está provisto de una antena con un trípode y un colector separado y enlazado por un cable a la antena. Su utilidad se encontró en la densificación geodésica, levantamientos de detalles, replanteos, control de movimientos tectónicos, entre otros. Con los mejores equipos de este tipo puede llegarse a obtener precisiones de hasta  $\pm 5\text{mm}$ ,  $\pm 1\text{ppm}$ . Ayala y Hasbun (2012)

### **Figura 13**

*Receptor GPS de posicionamiento de doble frecuencia*



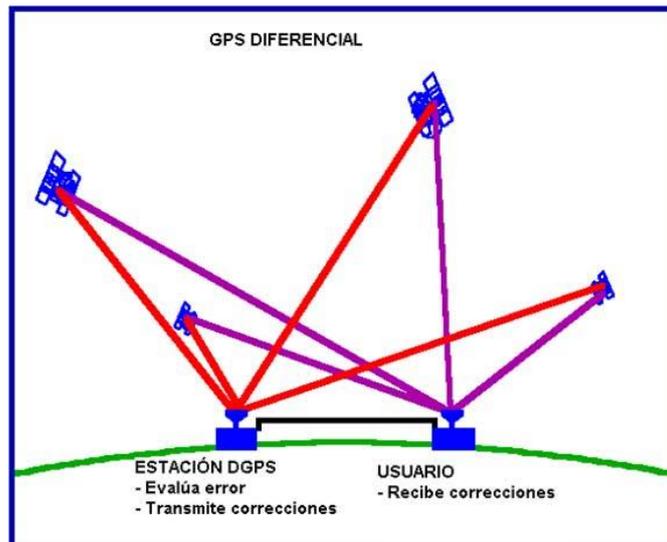
Tomado de: Ayala y Hasbun (2012)

### ***2.7. DGPS - Sistema de Posicionamiento Global Diferencial***

Según AZIMUT Marine (2013), es un sistema que brinda a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de obtener una mayor precisión en la posición calculada. El conjunto está compuesto por una serie de estaciones terrestres fijas, para las que se conoce su situación exacta. Así se puede comparar la situación real con la suministrada por el GPS y obtener el error para cada instante.

El error calculado se comunica y emite, siendo recibido por las antenas de usuario, cuyos equipos se ocupan de conseguir la posición correcta, con un margen máximo de 10 metros. Actualmente el DGPS está siendo ampliado para ofrecer una cobertura global, tanto a usuarios de tierra, como de aire y mar.

**Figura 14**  
*GPS Diferencial*



Tomado de: <http://www.proteccioncivil.org/>

### *2.7.1. Elementos del GPS como elemento topográfico*

- **Antena:** Recibe y amplifica la señal que llega de los satélites.
- **Receptor:** Recibe la señal recogida por la antena y la decodifica y convierte en información legible.
- **Terminal GPS o Unidad de Control:** Muestra la información transmitida por los satélites y recoge todos los datos útiles para su posterior cálculo en aplicaciones topográficas. AZIMUT Marine (2013)

### *2.7.2. Estructura DGPS*

**Estación monitorizada:** Conoce su posición con una precisión muy alta. Está compuesta por:

- Un receptor GPS.

- Un microprocesador, que calcula los errores del GPS y genera la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
- Transmisor, establece un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales.
- Equipo de usuario, compuesto por un receptor DGPS. Valero (2014)

El GPS Diferencial utilizado en nuestro trabajo experimental es el e-Survey E300 PRO.

### ***2.8. GPS e-Survey E300 PRO***

Este GPS proviene de una nueva serie de navegación inercial RTK, que utiliza la nueva tecnología GNSS. El diseño de la forma del E300 Pro está inspirado en un platillo volador, es compatible con la diferencia de estación satelital y la vida útil de la cadena satelital, conexión rápida, voz inteligente, levantamiento de inclinación, etc. Tiene mejores características EMC, crea una sensación estética de alto grado, simple pero sofisticada. Cuanto más pequeño, más poderoso.

El GPS E300 PRO con la ayuda del algoritmo de filtro Kalman puede crear dinámicamente la información de posición, velocidad y actitud. Puede medir y realizar muestreos dinámicos en tiempo real sin la necesidad de nivelación. Para una mejor calidad de señal de radio, el equipo integra GNSS, Bluetooth, wifi, antenas principales y auxiliares 4G en la parte superior del receptor para asegurar la mejor recepción de señal en cada una de las direcciones. El innovador conector RF mejoró en gran medida la confiabilidad de la conexión, al tiempo que disminuyó la pérdida de ganancia. eSurvey GN (2021)

**Figura 15**

*GPS e-Survey E300 - PRO*



Tomado de: <https://bmprensa.cl/producto/e-survey-e300-pro-compatible-con-otras-marcas/>

### 2.8.1. Especificaciones del e-Survey E300 PRO

**Tabla 13**

*Especificaciones del sistema de rastreo*

<b>Rastreo</b>	
Canales	800
GPS	L1CA/L1P/L1C/L2P/L2C/L5
GLONASS	G1/G2/G3
BeiDuo	B1I/B2I/B3I/B1C/B2a/B2b/ACEBOC
Galileo	E1/E5a/E5b/ALTBOC/E6

Tomado de: eSurvey GN (2021)

**Tabla 14**

*Especificaciones del sistema de precisión*

<b>Precisión</b>	
PP estático Largo horizontal	2.5 mm + 0.5 ppm (rms)
PP estático Largo vertical	5 mm + 0.5 ppm (rms)
RTK horizontal	8 mm + 1 ppm (rms)
RTK vertical	15 mm + 1 ppm (rms)

Tomado de: eSurvey GN (2021)

**Tabla 15**

*Especificaciones de la interfaz*

<b>Interfaz</b>	
Teclado	1 botón (encendido /apagado)
Información LED	4 indicadores: Rastreo Satelital, Data Link, Batería, Bluetooth
Tarjetas	SIM
Memoria	16 GB

Tomado de: eSurvey GN (2021)

**Tabla 16**

*Especificaciones del sistema de comunicación*

<b>Comunicación</b>	
GSM / GPRS	GSM cuatribanda 4G/módulo UMTS pentabanda (800/850/900/1900/2100MHz)
Radio UHF	Transceptor 1W, 410-470 MHz
Bluetooth	Bluetooth 2.1 + EDR/ V4.1 Dual Mode, clase 2
Conector TNC	Antena UHF
Puerto de comunicación	Serial y de Alimentación

Tomado de: eSurvey GN (2021)

**Tabla 17**

*Características físicas del GPS*

<b>Características Físicas</b>	
Dimensiones	158mm x 53mm
Pesos	940 gr con batería
Temperaturas de trabajo	-30°C hasta 65°C
Protección	IP67 resistencia al polvo y agua
Humedad	100% Condensación
Vibración	MIL-STD-810F
Caída	Aguanta una caída libre de 2 m.

Tomado de: eSurvey GN (2021)

**Tabla 18**

*Especificaciones del sistema de alimentación*

<b>Alimentación</b>	
Batería	1 interna de ion litio 7.2V – 6800 mAh
Tiempo de funcionamiento	12 horas (GNSS activado, y GSM o UHF Rx activado)
Alimentación externa	9-28 V DC

Tomado de: eSurvey GN (2021)

## **2.9. Satélites**

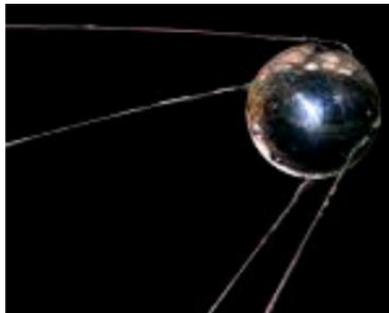
Según la RAE (2021), se puede definir a un satélite de comunicación como “un satélite artificial estacionado en el espacio con el propósito de recibir señales enviadas a partir de

una estación terrestre y retransmitirlas a otro satélite o de vuelta a los receptores terrestres”.

Andrango (2006), menciona que el satélite se comporta como un repetidor cuya funcionalidad es recibir, amplificar y transportar en frecuencia señales para enviarlas en dirección a las estaciones de destino. p. (14)

Según menciona Pueyo (1991), el lanzamiento del primer satélite artificial nombrado Sputnik- 1 (URSS) se produjo en 1957, el cual contaba con un radiofaro que emitía una señal en dos frecuencias de 20 y 40 MHz, la misma que podía ser recibida por simples receptores. p (73)

**Figura 16**  
*Satélite Sputnik-1*



Tomado de: Universidad de las Américas Puebla (2018)

Cabe recalcar que los primeros satélites fueron diseñados para funcionar en modo pasivo, es decir se limitaban a transmitir las señales emitidas a partir de las estaciones terrestres, debido a que las señales se enviaban en cada una de las direcciones probables para que se logren captar en cualquier instante.

En la actualidad las comunicaciones vía satélite son por sistemas activos, es decir, cada satélite artificial cuenta con su propio equipo de recepción y emisión. Hay miles de satélites en órbita actualmente, que obtienen las señales de una estación terrestre, la

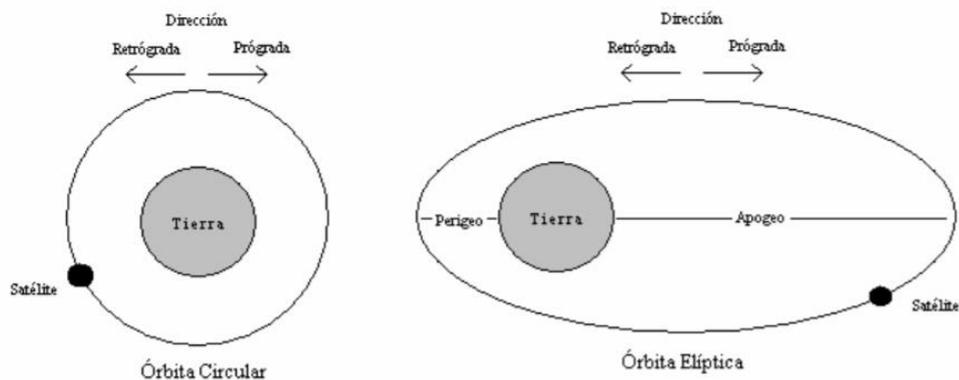
amplifican y retransmiten con una frecuencia distinta a otra estación. Universidad de las Américas Puebla (2018)

### 2.9.1. Órbitas de los satélites

Todos los satélites artificiales están asignados a una órbita ya definida, estas órbitas pueden ser de tipo circular o elíptica, generalmente las mismas se mueven en el mismo sentido que el de la tierra. Si un satélite recorre su órbita en el mismo sentido que la tierra se denomina satélite asíncrono y si el satélite recorre en sentido opuesto al de la tierra se denomina satélite retrógrado y como nunca los satélites se encuentran fijos a un mismo punto, se dice que solo se usa cuando estén disponibles y por lo general en un tiempo de 15 minutos. Universidad de las Américas Puebla (2018)

#### Figura 17

*Formas de las trayectorias de las órbitas*



Tomado de: Universidad de las Américas Puebla (2018)

### 2.9.2. Sistemas de posicionamiento global usados en la investigación

En la investigación se configuró el equipo GPS para obtener información proveniente de cuatro sistemas globales de navegación por satélites, los cuales se detallan a continuación:

### 2.9.2.1.GPS

Constelación de satélites que transmite rangos de señales usadas para el posicionamiento y ubicación en cualquier parte del globo terrestre, así sea en tierra, mar o aire. Dichos equipos permiten obtener las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como consecuencia de la recepción de señales provenientes de constelaciones de satélites artificiales de la Tierra para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras ocupaciones afines.

Un sistema de navegación con base en satélites artificiales puede brindar a los usuarios datos sobre la posición y la hora con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas. GPS es el sistema más conocido, realmente es solo uno de los sistemas satelitales de navegación existentes. El GPS se refiere a la constelación de satélites NAVSTAR del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. Ávila y Cruz (2020)

#### **Figura 18**

*Constelación de satélites US GPS*



Tomado de: Laboratorio de Astronomía Geodesia y Cartografía de EEUU

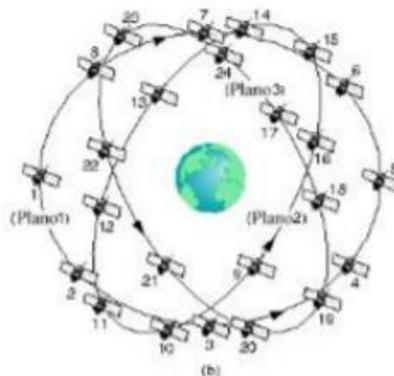
### 2.9.2.2. GLONASS

Sistema de navegación global por satélite son las siglas del GNSS desarrollado por Rusia para la ubicación geográfica sobre la superficie terrestre. Hablamos de una de las alternativas al sistema GPS de Estados Unidos.

El sistema emplea un grupo de satélites que orbitan sobre la superficie terrestre, y que recibe el nombre de Constelación de Satélites. La constelación de satélites que usa el sistema GLONASS consta de 31 satélites (24 en activo, 3 satélites de repuesto, 2 en mantenimiento, uno en servicio y otro en pruebas). Aun cuando los satélites se comenzaron a poner en órbita en el año 1982, no fue funcional hasta 1996, consiguiendo la cobertura de todo el territorio de Rusia desde el año 2007. Actualmente cubren todo el planeta, siendo su utilización de acceso libre. Rusia sigue actualizando su constelación de satélites, con el modelo de tercera generación GLONASS-K. En 2010 se presentó en Rusia el primer teléfono con un receptor para el posicionamiento con satélites GLONASS. AristaSur (2019)

**Figura 19**

*Constelación de satélites GLONASS*



Tomado de: García Alvarez y Universidad Autónoma de Madrid (2008)

### 2.9.2.3. BeiDou

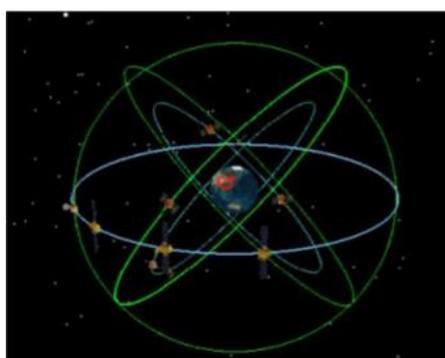
Es un sistema compuesto por dos constelaciones separadas por satélites: el BeiDou -1 denominado oficialmente Satellite Navigation System Experimental Beidou, y el BeiDou-2 denominado Satellite Navigation System Beidou.

Beidou -1: Este primer sistema está compuesto por tres satélites, que brindan una cobertura limitada. Viene trabajando desde el 2000.

Beidou - 2: Este sistema se lo conoce como brújula, sistema mundial de navegación conformado por 35 satélites, de los cuales 10 se encuentran en uso desde diciembre del 2011 y el resto se está construyendo desde enero del 2013. Este sistema es compatible con otros sistemas de posicionamiento global y está diseñado para proporcionar una precisión de 10 metros, además usa satélites en órbita geostacionaria. Esto se puede considerar un punto positivo y negativo a misma vez, ya que por un lado no requiere de una gran constelación de satélites, pero además limita la cobertura de la tierra y visibilidad de los satélites. Rodas y Sigcho (2016)

#### **Figura 20**

*Constelación de satélites COMPASS Beidou*



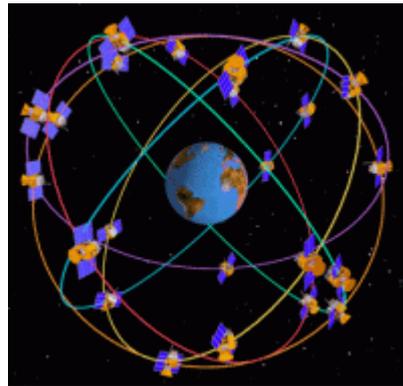
Tomado de: Universidad de las Américas Puebla (2018)

#### 2.9.2.4. GALILEO

Sistema desarrollado por la unión soviética para no depender de los sistemas GPS y GLONASS, este sistema es de uso civil a diferencia de los antes mencionados. La posición en órbita es más inclinada, en dirección de los polos lo que permite tener una mayor precisión. Tiene un sistema de funcionamiento similar a los anteriores sistemas, basado en una constelación de satélites, Galileo da la vuelta a la tierra en pocas horas. El centro principal del sistema lo conforman relojes atómicos de alta precisión los cuales se encuentran en cada uno de los satélites. Galileo permite determinar la posición de un objeto con una elevada precisión en espacio y tiempo. Consta de 30 satélites, distribuidos en tres planos inclinados a  $56^\circ$ . Cada plano consta de 10 satélites con un tiempo máximo de 14 horas para completar la órbita de la tierra. Rodas y Sigcho (2016)

#### Figura 21

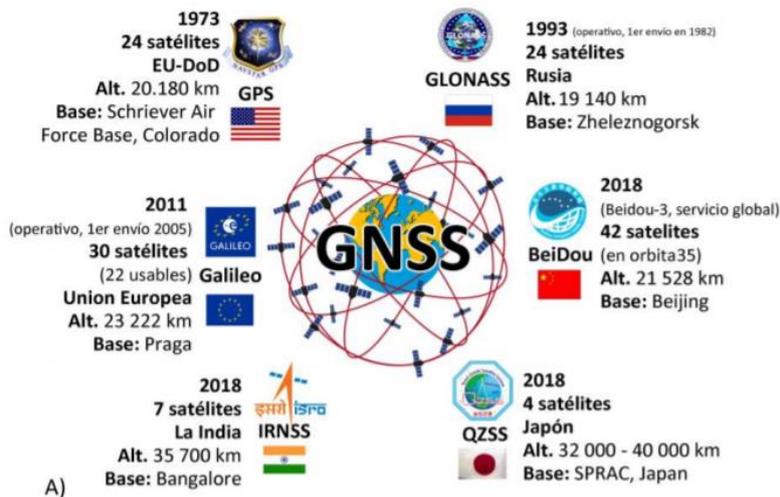
*Constelación de satélites Galileo*



Tomado de: Rodas y Sigcho (2016)

#### Figura 22

*Representación de sistemas globales de navegación satelital actualmente operativos*



Tomado de: Ávila y Cruz (2020)

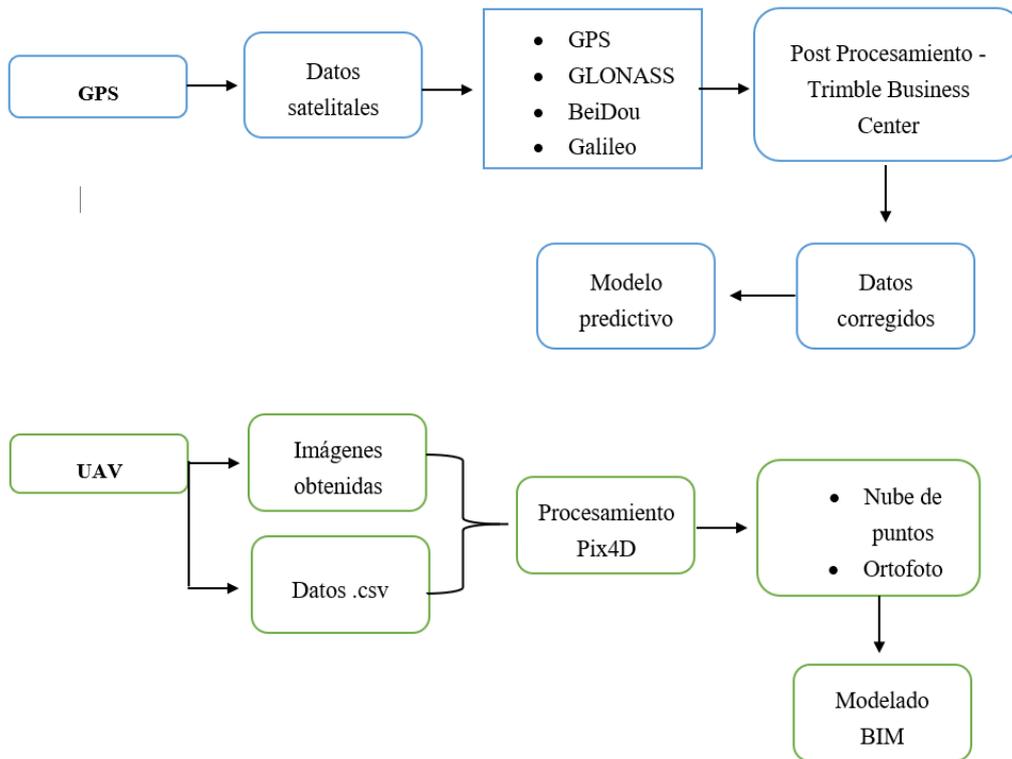
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Metodología aplicada

La metodología aplicada (ver figura 23) está basada en la elaborada por Yaprak, et al., (2018), en su estudio “The Role of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Monitoring Rapidly Ocurring Landslides”, donde se lleva a cabo cada uno de los pasos con el fin de obtener un procesamiento de los datos del GPS con las imágenes procedentes del vehículo aéreo no tripulado y así obtener una nube de puntos.

**Figura 23**

*Esquema de la metodología aplicada en el trabajo de investigación*



La metodología está dividida en dos fases principalmente: **El procesamiento de los puntos GPS** y **el procesamiento de las imágenes procedentes del UAV**.

Fuente: Investigación

### 3.2. Descripción de la zona de estudio y muestra

La investigación realizada se llevó a cabo en la provincia de Pichincha, cantón Quito, en el sur del Distrito Metropolitano, en el barrio Solanda, sector 1. Lugar donde se observa mayor parte de viviendas afectadas por los hundimientos. El trabajo experimental se realizó a lo largo de cuatro meses.

La zona de influencia directa es en el sector del Parque del Laberinto, esta zona se encuentra dentro del sector 1 del barrio Solanda.

Estos fenómenos de subsidencia no solo se limitan al sector 1, ya que existen más afectaciones a lo largo de todo el barrio de Solanda, además las mismas son irregulares

en algunos sitios y al parecer son más agresivas en otros lugares. Pero para determinar de mejor manera la zona de estudio se delimito mediante un mapa elaborado con las herramientas de Google Earth Pro, el cual permitió especificar el Sector 1 - la zona el parque del laberinto.

**Figura 24**  
*Solanda – sector 1*



Fuente: La investigación

Durante la visita se determinó la colocación de los puntos control en los lugares de mayor afectación, los cuales, posteriormente servirían para la georreferenciación de la zona.

### **3.3. Hardware empleado en la investigación**

Se utilizó una computadora de escritorio con procesador Intel Core i9, la misma cuenta con la capacidad para procesar imágenes satelitales, desarrollar, almacenar y ejecutar los diferentes softwares. Tiene capacidad de 1 terabyte.

### **3.4. Softwares empleados en la investigación**

Para el desarrollo de todo el trabajo experimental se utilizaron los siguientes softwares.

#### **3.4.1. Pix4Dmapper**

Es un software experto en fotogrametría para mapeo profesional con drones. Captura imágenes RGB, térmicas o multiespectrales con cualquier tipo de cámara. Este software convierte las imágenes en modelos espaciales digitales. Además, ayuda a crear mapas y modelos 3D fácilmente a partir de las imágenes aéreas, este software permite pasar menos tiempo en campo, incrementando la productividad al mismo tiempo. (Pix4D SA, 2021)

### **3.4.2. REVIT**

Según menciona el portal RendersFactory (2020), es un software de diseño usado para el modelado BIM para arquitectura e ingeniería. Lo destacado del programa es que se modela mediante objetos inteligentes y obtenidos en 3D a medida que se va desarrollando el proyecto. Revit permite básicamente tres funciones:

- **Diseñar:** Elaborar un proyecto desde cero, se puede realizar cambios, representar varias fases de proyecto en el mismo archivo, simulaciones energéticas, etc.
- **Colaborar:** Revit tiene funcionalidades propias para todas las disciplinas implicados en el proceso de creación de un proyecto de construcción, ya que trabaja de manera unificada en una única plataforma, fomentando el trabajo colaborativo en la Metodología BIM.
- **Visualizar:** El programa permite visualizar de una manera más real en conjunto el trabajo y obtener una visión más realista del proyecto en cada etapa.

### **3.4.3. Trimble Business Center**

Según menciona el portal Netcoretechno (2015), es una aplicación de escritorio que permite procesar y administrar datos de nubes de puntos, fotogrametría, instrumentos ópticos y GNSS. Cuenta con funciones como procesamiento de datos GNSS, dibujo de

secciones transversales y fotogrametría integrada, este software permite trabajar inmediatamente con los datos de campo para generar los resultados que se requieran. De la misma manera, permite obtener datos GNSS con gran exactitud.

#### **3.4.4. RStudio**

Forma parte del software R, el cual es un software libre que permite realizar análisis estadísticos y gráficos de los mismos. Se puede hacer análisis y un desarrollo general para los datos con R ya que cuenta con un lenguaje de programación compatible y relativamente sencillo.

### **3.5. Fases de estudio**

#### **3.5.1. Fase de planificación**

La fase de planificación está dada por el tiempo implementado en la recopilación de información bibliográfica, la misma que se obtuvo a partir de estudios anteriormente realizados por distintas instituciones de la ciudad y el municipio de Quito. Además de la planificación de los vuelos de acuerdo a los muestreos realizados, identificación de los puntos de muestro y los softwares a usarse tanto para el vehículo aéreo no tripulado y para el post proceso de los puntos antes de acudir al campo.

##### **3.5.1.1. Planificación de los vuelos y toma de fotografías**

Usando el software DroneDeploy se realizaron los planes de vuelo mensuales para el área de estudio siguiendo la ruta de los puntos de control, esto con la finalidad de obtener imágenes del área exacta donde se encuentran los puntos con el GPS. El shape con los puntos que se usó para crear el plan de vuelo se lo realizó en Google earth. Posteriormente las imágenes obtenidas por el dron se procesan con el software Pix4D.

**Tabla 19**

*Fechas de vuelos con el dron*

N.º de vuelo	Fecha del vuelo	Altitud del vuelo (m)
1	31 - marzo - 2021	55
2	30 - abril - 2021	55
3	28 - mayo - 2021	55

Tomado de: La investigación

**Figura 25**

*Plan de vuelo*



Fuente: La investigación

### **3.6. Fase de campo**

En la fase de campo se recolectó la información en bruto en Solanda, sector 1, en el parque del laberinto para posteriormente ser procesada, esta fase consta la toma de puntos con el GPS y la obtención de las imágenes aéreas.

#### **3.6.1. Toma de puntos**

Para realizar el muestreo en la zona de estudio se requirió de un GPS Diferencial, puntos de control, un frasco de pintura en aerosol y una libreta de anotaciones.

Se tomaron 36 puntos de control, para seleccionar los mismo se escogió previamente los lugares con más afectación respecto a hundimientos, cuarteaduras, viviendas con mayor riesgo, entre otros factores. Al escoger cada punto se marca con una pintura de aerosol para una mejor identificación en los muestreos.

En los muestreos se utilizó el método estático ya que, por las características de nuestra zona de estudio, es el método más factible. El equipo GPS se encuentra con su antena ubicado en un trípode previamente nivelado. Posteriormente con la controladora se conecta el equipo mediante bluetooth y se procede a configurarlo respecto los requerimientos que especifica la realización de este proyecto, finalmente toma los datos de cada punto elegido previamente. El equipo se queda en cada punto y no se mueve por un tiempo determinado, para nuestro caso el tiempo es de 45 minutos. Este proceso nos brinda mayor precisión.

**Figura 26**

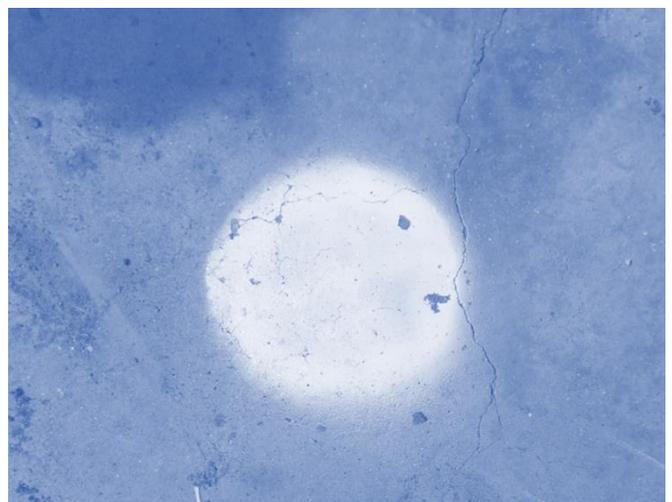
*GPS montado en la zona de estudio*



Fuente: La investigación

**Figura 27**

*Punto de control*



Fuente: La investigación

### **3.6.2. Configuración de la controladora**

Se enciende la controladora y se selecciona el software, en este caso el software para el GPS e-survey es el SurPad 4.0. Una vez abierto el programa se selecciona crear un proyecto nuevo en el cual se debe completar los parámetros de acuerdo a las características del lugar de levantamiento y de las características del proyecto.

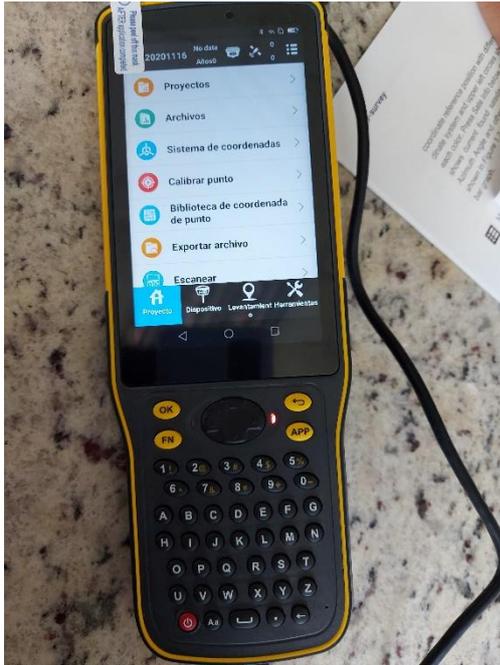
Una vez creado el proyecto, se conecta el equipo GPS con la controladora mediante bluetooth, y se procede a configurar los aspectos que requeridos respecto a la tomas de los datos, como son el ángulo de enmascaramiento, el tipo de solución requerida; como en este caso específicamente de modo estático, se trabajó con una solución de tipo sencilla para luego realizar una corrección en los datos para finalmente obtener la solución fija en los mismos, además de la configuración de algunos protocolos para poder recolectar los datos de la mejor manera.

#### **Figura 28**

*Controladora encendida – ventana proyecto*

#### **Figura 29**

*Controladora - ventana dispositivo*

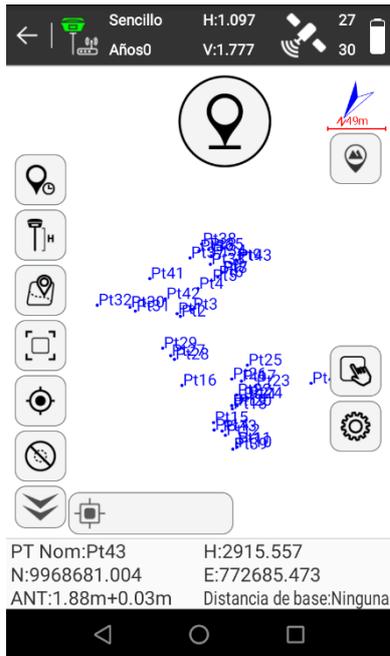


Fuente: La investigación



Fuente: La investigación

**Figura 30**  
*Controladora – Puntos levantados*



Fuente: La investigación

### 3.6.3. Toma de imágenes aéreas

Para obtener las imágenes aéreas de la zona de estudio se empleó el dron phantom 4 PRO, previo al vuelo se elaboró un mapa de delimitación en GoogleEarth Pro y se consideraron varios factores como el clima, velocidad del viento, lugar y hora del lanzamiento del dron. El vuelo del dron de principio a fin fue guiado y monitoreado por la aplicación DroneDeploy, Para lo cual, se empleó una herramienta del programa que permite subir el mapa en formato kmz. El área de vuelo delimitada fue 16,647 m<sup>2</sup> durante 15 minutos a una velocidad de 4m/s y una altura de 55m dando como resultado alrededor de 350 imágenes, para el posterior tratamiento.

**Figura 31**

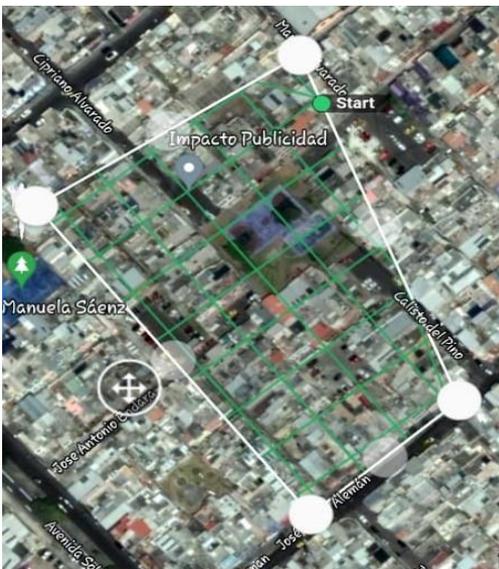
*Dron listo para volar*



Fuente: La investigación

**Figura 32**

*Plan de vuelo*



Fuente: La investigación

### 3.7. Fase de procesamiento

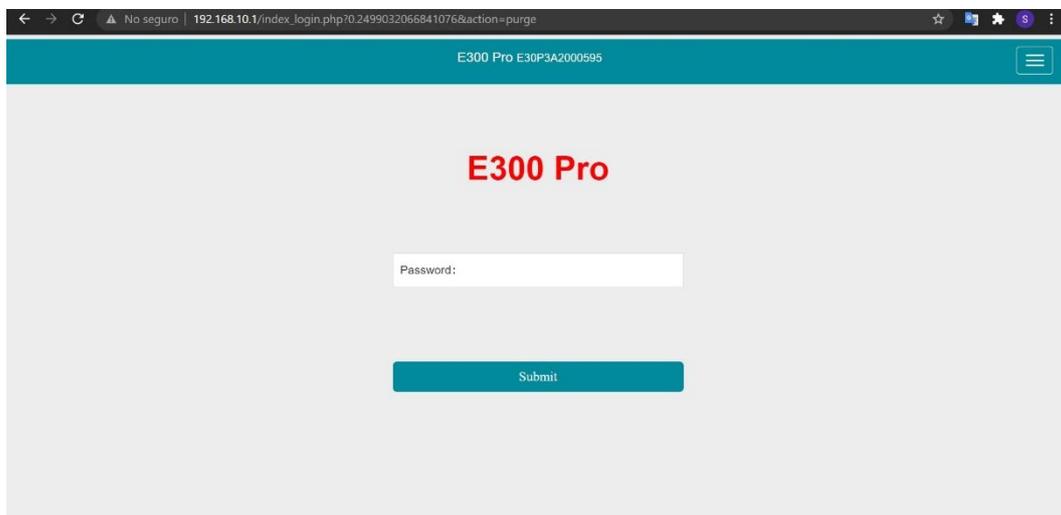
#### 3.7.1. *Procesamiento de datos*

Una vez finalizado el proceso de toma de puntos, los datos se quedan guardados en la controladora, al descargar los mismos mediante bluetooth se obtiene un Excel con la información de cada punto, este archivo se descarga con extensión .csv para procesarlo junto con las imágenes en el software Pix4D.

Por otro lado, los datos crudos con información de los satélites respecto a cada punto se obtienen con extensión rinex mediante wifi, se conecta el ordenador a la red del equipo que se utilizó y se ingresa a la dirección ip del equipo. La misma que redirige a la página del equipo, donde podemos encontrar toda la información del mismo, como su estado, cuanto tiempo trabajo y además ahí podemos encontrar los archivos rinex de los datos crudos para su posterior descarga.

### Figura 33

*Página principal del E300 Pro*



Fuente: La investigación

**Figura 34**  
*Información detallada del GPS*

**E300 Pro E30P3A2000595**

- Status
- Position
  - System Mode: Rover
  - Longitude: -78.550304616 °
  - Latitude: -0.284169617 °
  - Height: 2565.786 m
- Datalink
- Satellites
  - Status: Single
  - Satellites: 0
- Information
  - PDOP: 12.915
  - HDOP: 5.314
  - TDOP: 10.447
  - HRMS: 10.628
  - VRMS: 23.542
- Settings
- Working Mode
- Satellite Settings
  - Local Time: 2021-06-18 23:40:33
  - UTC Time: 2021-06-18 15:40:33
- Device Configuration
- NMEA Message
- View Logs
- Configuration Set

Fuente: La investigación

**Figura 35**  
*Detalle de los archivos rinex*

**E300 Pro E30P3A2000595** English

Select	Name	Size (MB)	Antenna Height (m)	Start Time	End Time	Operation
<input type="checkbox"/>	01__0301.dat	0.001	1.880	2016-01-30 05:37:38	2016-01-30 05:37:45	Convert Download Delete Edit
<input type="checkbox"/>	01__0302.dat	0.001	1.880	2016-01-30 05:37:50	2016-01-30 05:37:54	Convert Download Delete Edit
<input type="checkbox"/>	01__0762.dat	4.488	1.675	2021-03-17 23:59:25	2021-03-18 00:44:29	Convert Download Delete Edit
<input type="checkbox"/>	01__0762_RINEX210.zip	1.442	-	-	-	Download Delete
<input type="checkbox"/>	01__1591.dat	0.022	1.880	2021-06-08 00:03:54	2021-06-08 00:04:06	Convert Download Delete Edit
<input type="checkbox"/>	01__1592.dat	0.219	1.675	2021-06-08 01:17:16	2021-06-08 01:18:33	Convert Download Delete Edit

Fuente: La investigación

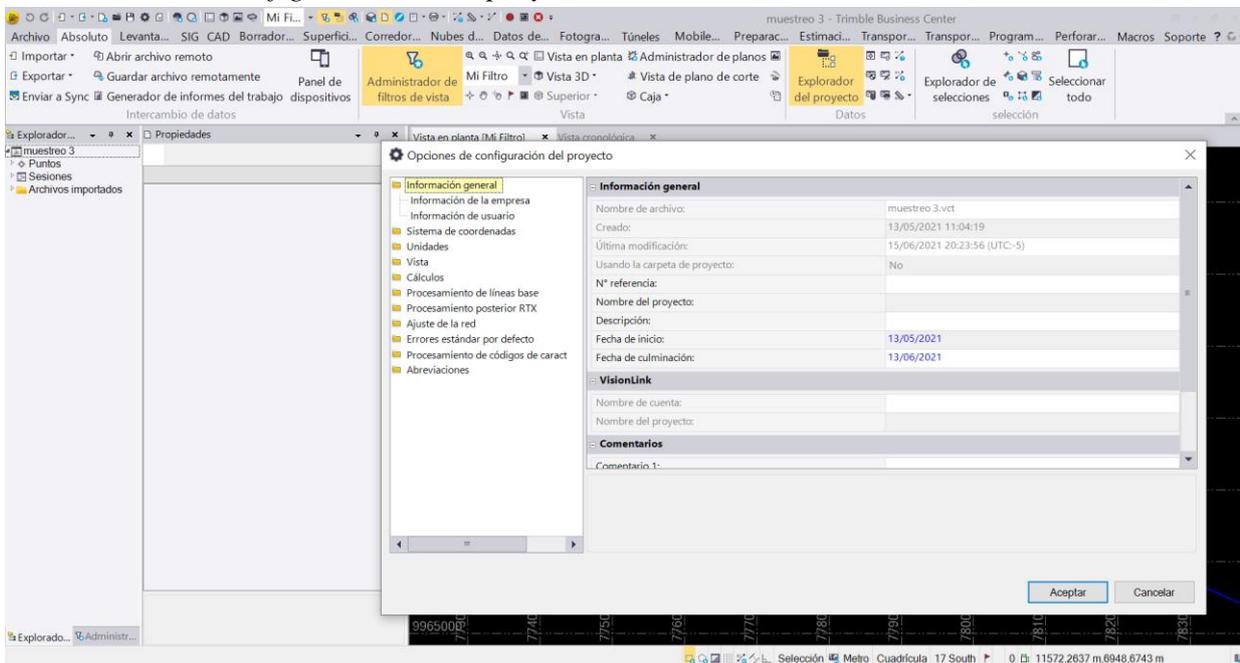
Con los archivos rinex se realizó un post procesamiento de los datos, el software utilizado fue el Trimble Business Center. Para el procesamiento se tomó como estación de referencia, la estación meteorológica de la ESPE (EPEC). Con los datos de esta estación se realizó el post proceso de nuestros datos. El post procesamiento brinda como resultado

final datos corregidos respecto a la estación de la ESPE y en solución fija, estos datos ya corregidos son los que posteriormente se usan para realizar el modelo predictivo.

Una vez en el software Trimble se configura una plantilla de acuerdo a los requerimientos del proyecto. En esta plantilla se configura los datos como información general de la empresa o usuario que lo realiza, el sistema de coordenadas, las unidades en las que se va a trabajar, procesamiento de línea base, los satélites a utilizar, entre otros aspectos. Una vez configurada la plantilla se procede a importar los datos de la estación de referencia, en este caso la estación EPEC, posterior a esto se importan los datos obtenidos del GPS de cada punto de control.

**Figura 36**

*Consola de configuraciones del proyecto en Trimble Business Center*



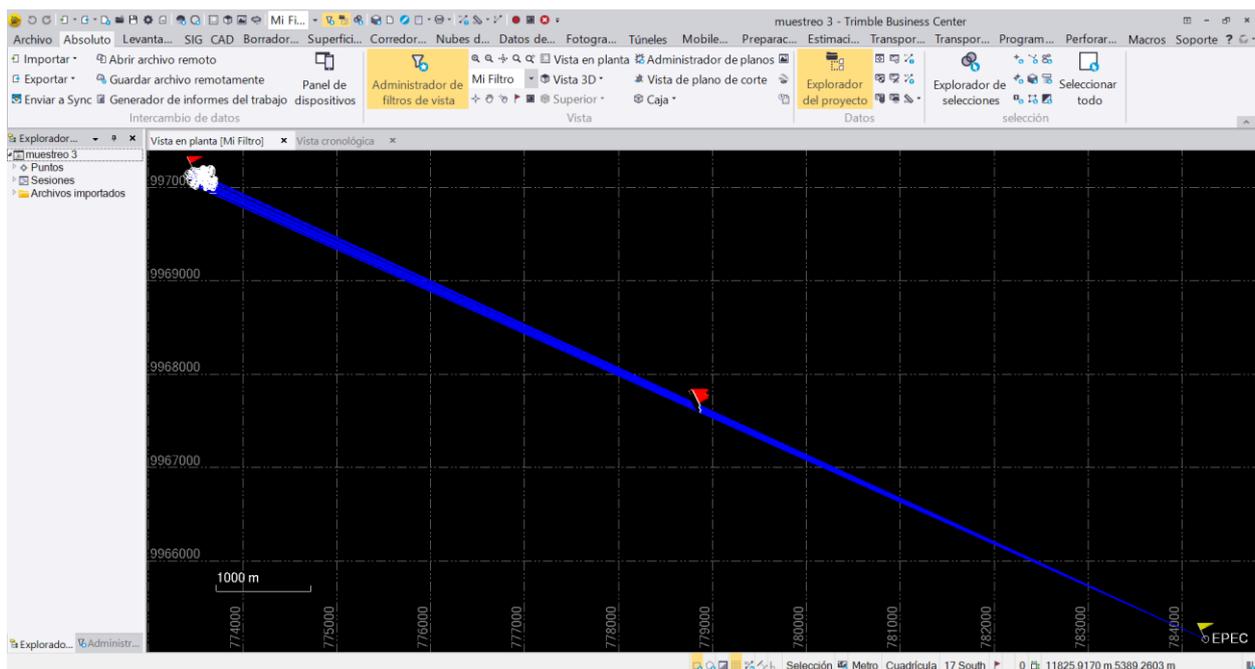
Fuente: La investigación

Una vez importados los datos se puede revisar las propiedades de los mismos y se requiere alguna modificación se lo puede realizar.

Posteriormente, se procesa cada línea base de cada punto de muestreo, una vez realizado el procesamiento de las líneas base se puede obtener la información con los resultados por medio de diversos tipos de informes que brinda el programa. Cada informe proporciona una información específica del procesamiento.

**Figura 37**

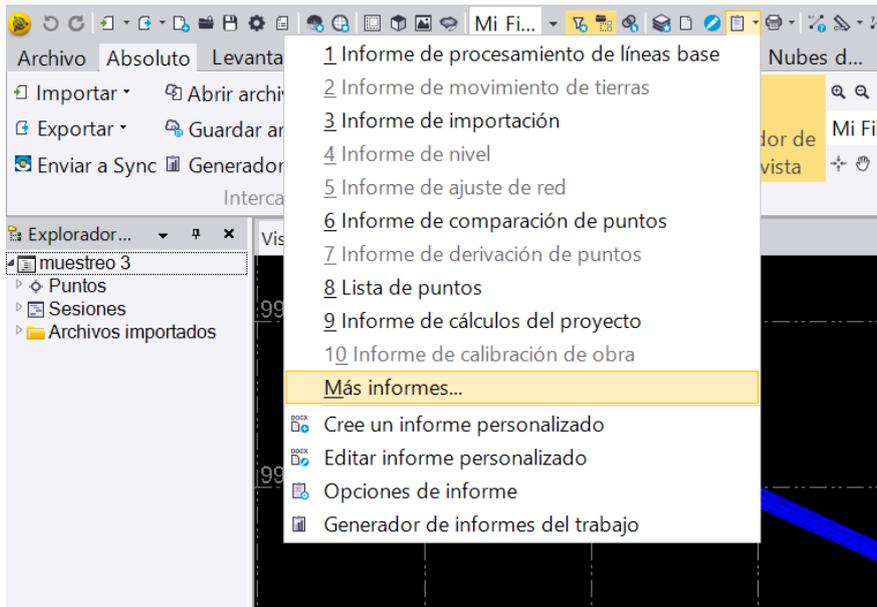
*Pantalla principal con los puntos y la estación de referencia EPEC – Líneas base procesadas*



Fuente: La investigación

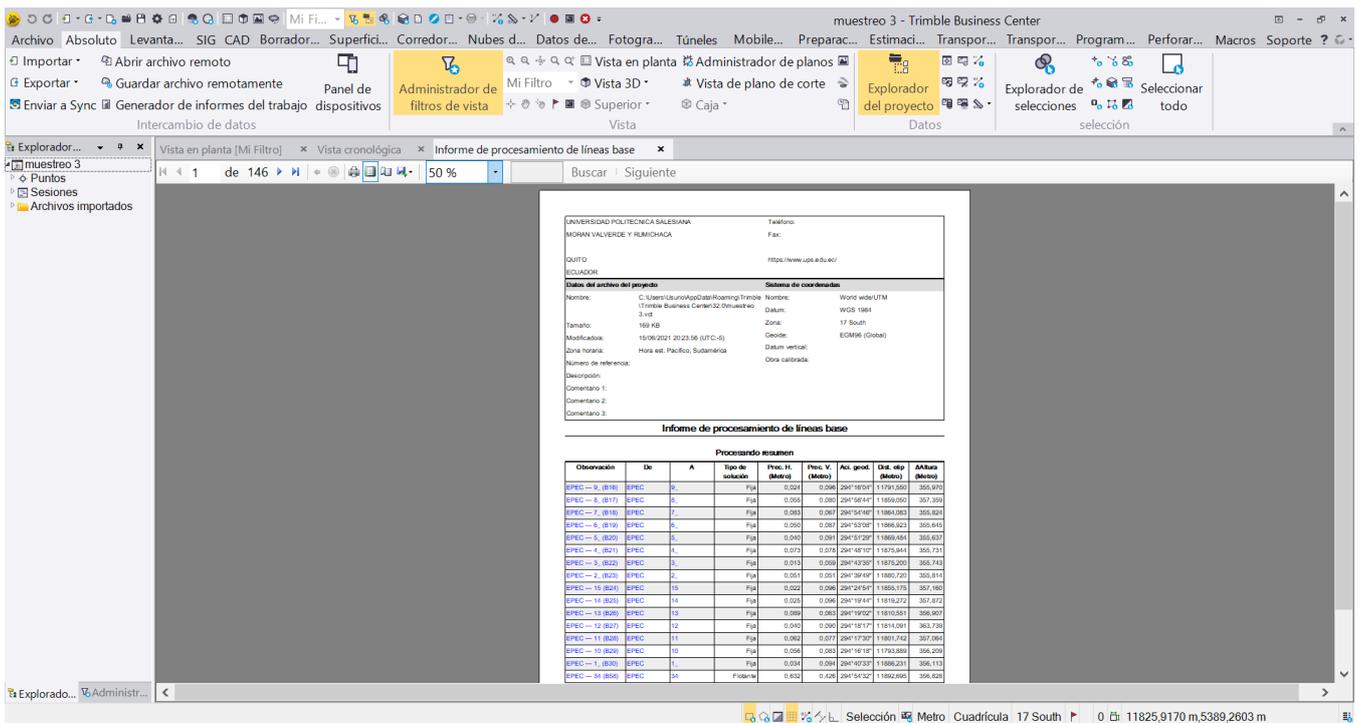
**Figura 38**

*Lista de informes disponibles del procesamiento de líneas base*



Fuente: La investigación

**Figura 39**  
*Informe de procesamiento de líneas base*



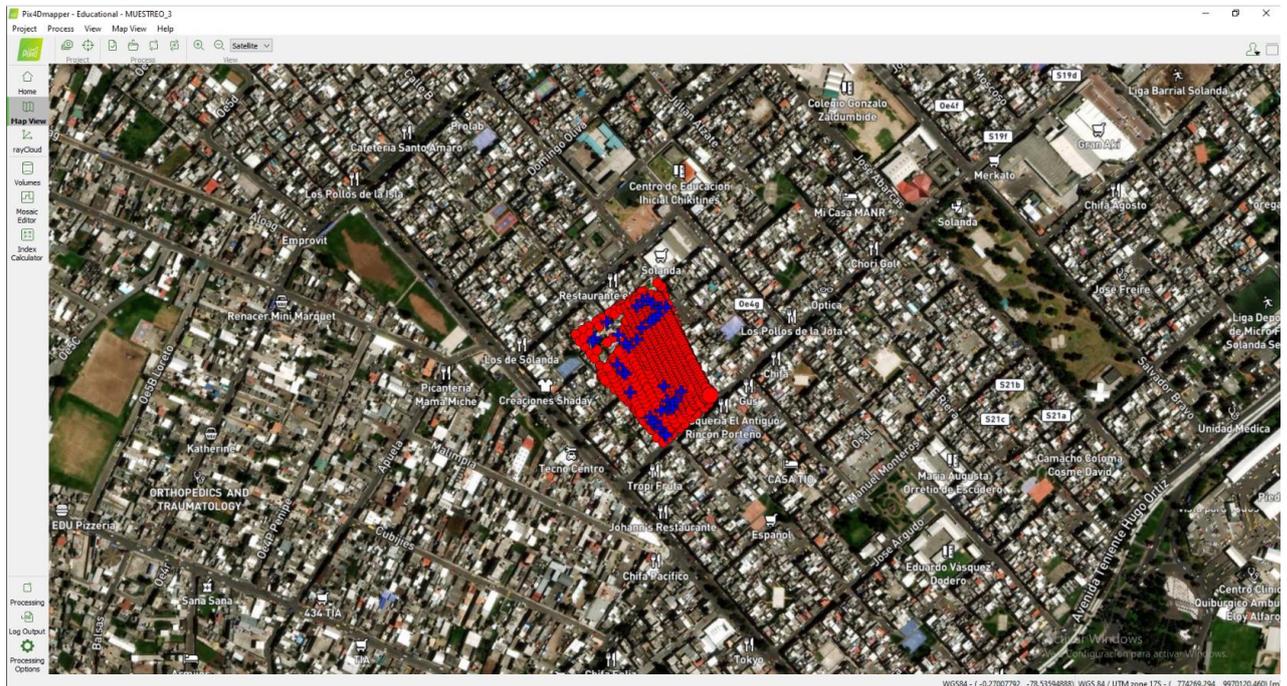
Fuente: La investigación

### 3.7.2. *Procesamiento de imágenes*

Una vez obtenidas las imágenes del dron se las procesan para obtener una nube de puntos y una orto foto de la zona de estudio. Las imágenes junto a los datos en Excel con extensión .csv se procesan en el programa Pix4D en tres pasos: El primero un procesamiento inicial de las fotos obtenidas del dron, segundo paso la creación de la nube de puntos, en este punto se adjunta el archivo .csv con los datos de coordenadas y altura de cada punto y el último paso es la creación de la ortofoto. Una vez obtenida la nube de puntos se la sube en el software Revit y se la procesa para poder visualizar el modelo en 3D.

**Figura 40**

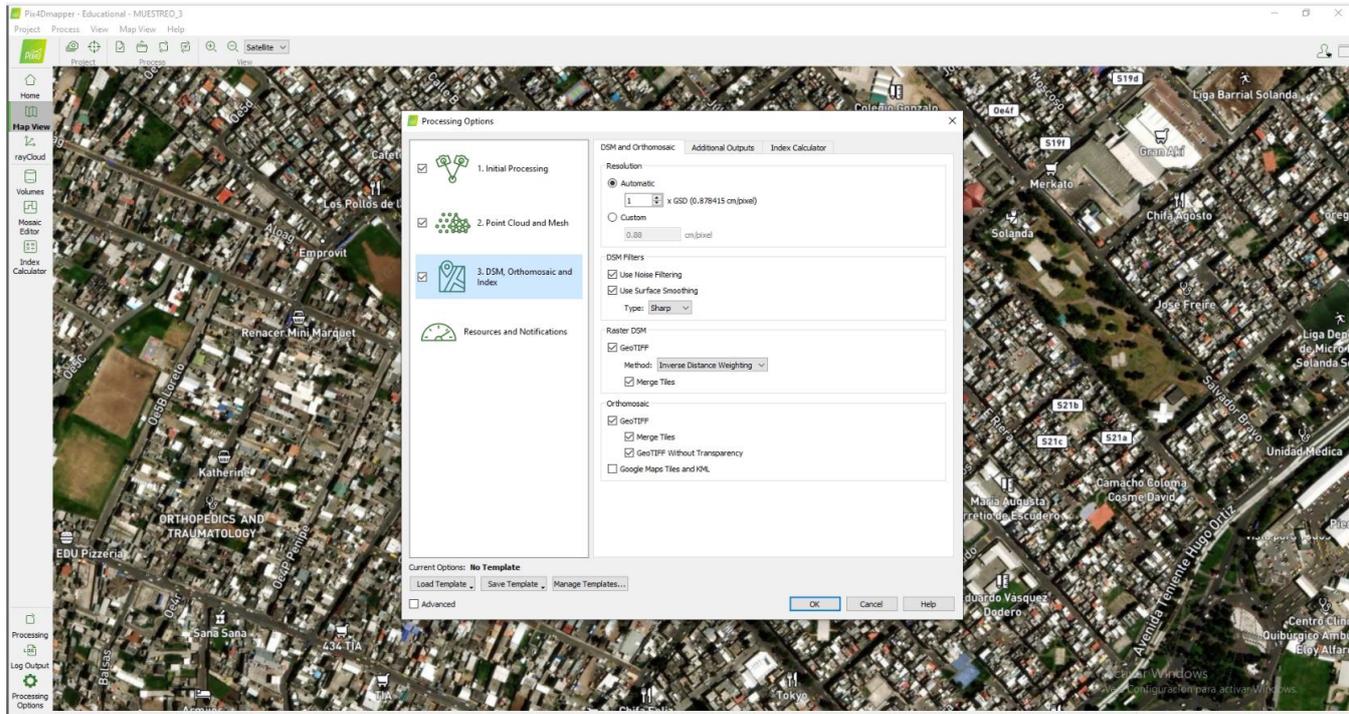
*Consola principal del programa Pix4D - Puntos de muestreo y fotografías*



Fuente: La investigación

**Figura 41**

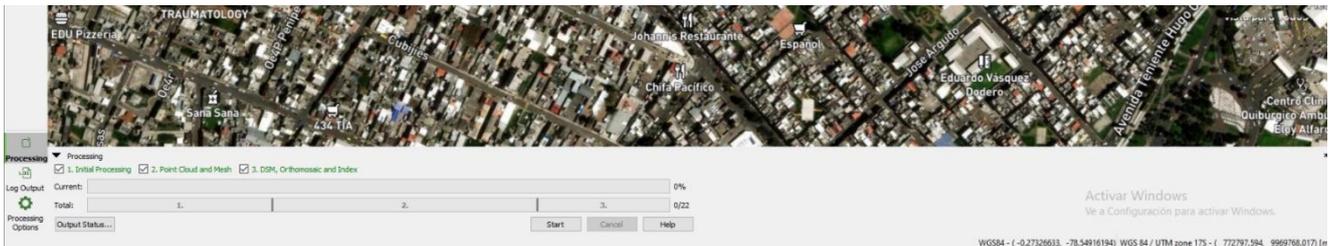
## Opciones de procesamiento en el Pix4D



Fuente: La investigación

**Figura 42**

*Barra de procesamiento Pix4D*



Fuente: La investigación

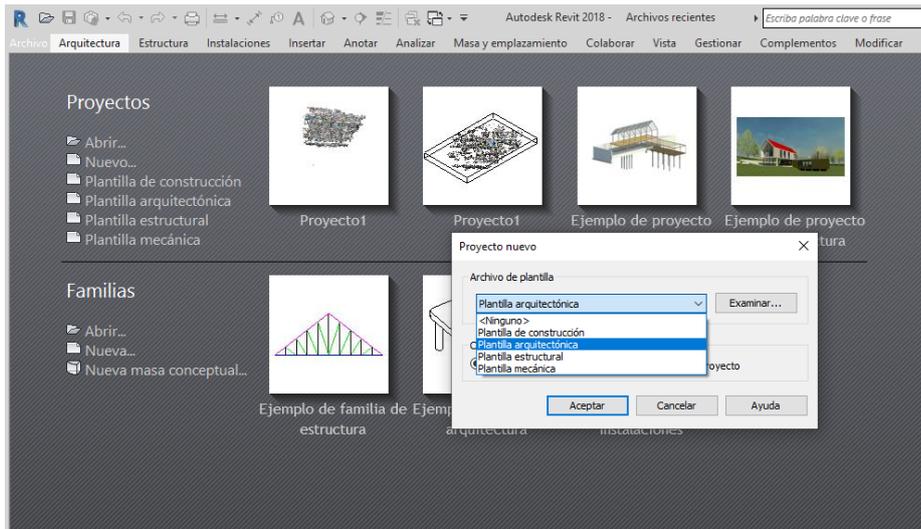
### 3.7.3. *Procesamiento de nube de puntos y modelamiento BIM*

#### 3.7.3.1. *Modelado*

El software Revit fue descargado de la página de Autodesk, e instalado en la versión educativa en español de forma gratuita.

Para iniciar seleccionar proyecto-nuevo-plantilla arquitectónica-Aceptar

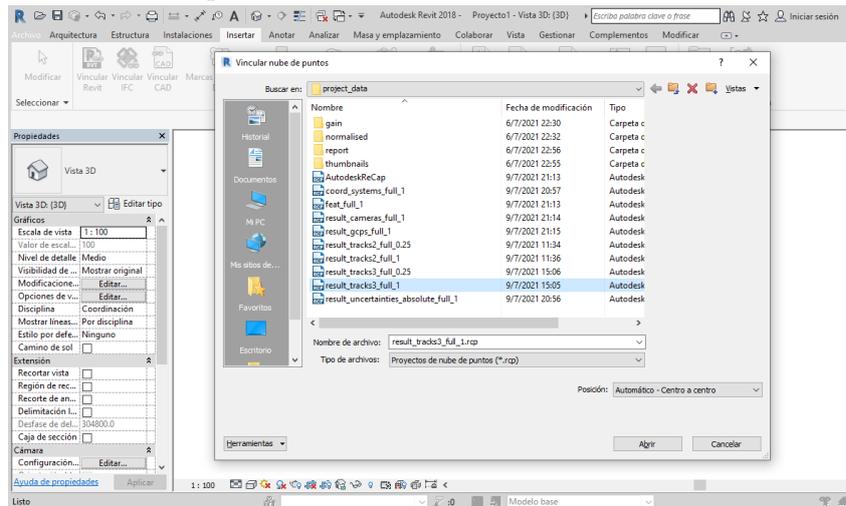
**Figura 43**  
Plantilla de inicio en Revit



Fuente: La investigación

A continuación, seleccionar la pestaña insertar-nube puntos-buscar-tipo de archivo rcp-  
result\_tracks3\_full\_1.rcp-Abrir.

**Figura 44**  
Importación de nube de puntos



Fuente: La investigación

Una vez ejecutados los pasos se sube la nube de puntos automática y se observa que se asemeja a la ortofoto producida en pix4d.

### 3.8. Modelo predictivo ARIMA

Según Campos (2018). ARIMA son las siglas de AutoRegressive Integrated Moving Average. Regresión Automática (AR) término que hace referencia a los retardos de las series diferenciadas (T-i), Media Móvil (MA) hace referencia a los retardos de los errores y la integración (I) es el número de diferencias usadas para hacer que la serie de tiempos sea estacionaria

Para que el modelo se pueda realizar los datos deben cumplir ciertas condiciones:

- Los datos deben ser estacionarios, es decir que las propiedades de la serie no dependen del momento en que se capturan.
- Los datos deben ser univariantes, ARIMA trabaja en una sola variable. La regresión automática tiene que ver con la regresión de los valores pasados.

Posterior a este proceso se realiza un análisis para determinar la no estacionariedad exacta y la estacionalidad en los datos, denominado análisis exploratorio de datos.

#### 3.8.1. *Análisis Exploratorio de Datos (EDA)*

Campos (2018) Explica las fases del análisis exploratorio de datos o EDA.

- **Análisis de autocorrelación** examina la dependencia en serie. Se utiliza para estimar qué valor en el pasado tiene una correlación con el valor actual. Proporciona la estimación p, d, q para los modelos ARIMA.

- **Análisis espectral** examina el comportamiento cíclico. Se realiza para describir cómo la variación en una serie temporal puede ser explicada por componentes cíclicos.
- **Estimación y descomposición de la tendencia** se utiliza para el ajuste estacional. Busca construir, a partir de una serie temporal observada, una serie de componentes donde cada una de ellas tiene una característica determinada.

Antes de realizar cualquier EDA en los datos, se debe tener en cuenta los tres componentes de los datos de una serie temporal:

- **Tendencia:** Es un aumento o disminución a largo plazo de los datos. No tiene por qué ser necesariamente lineal. Es el patrón subyacente en los datos a lo largo del tiempo.
- **Estacional o Periódico:** cuando una serie está influenciada por factores estacionales, es decir, un trimestre del año, mes o días de una semana, la estacionalidad existe en la serie. Siempre es de un período fijo y conocido.
- **Cíclico:** cuando los datos muestran subidas y caídas que no son del período fijo, lo llamamos patrón cíclico.

Fernández (2012) explica que para realizar el modelo predictivo se utiliza la metodología de Box y Jenkins la cual se resume en cuatro fases:

- **Primera fase:** Se identifica el posible modelo Arima que se utilizara dependiendo si la serie se adapta y que lo requiere, es decir el decidir qué transformaciones aplicar para convertir la serie observada en una serie

estacionaria y determinar un modelo para la serie estacionaria, es decir, los órdenes p y q de su estructura autorregresiva y de media móvil.

- Segunda Fase: Es la estimación, donde los parámetros AR y MA del modelo se estiman por máxima verosimilitud y se obtienen sus errores estándar y los residuos del modelo.
- Tercera fase: Es el diagnóstico, aquí se comprueba que los residuos no tienen estructura de dependencia y siguen un proceso de ruido blanco. Si los residuos muestran estructura se modifica el modelo para incorporarla y se repiten las etapas anteriores hasta obtener un modelo adecuado.
- Cuarta fase: Es la predicción, una vez que se ha obtenido un modelo adecuado se realizan predicciones con el mismo.

Según lo especifica Gallego, et al., (2018) El modelo general ARIMA (p,d,q) se denomina proceso autorregresivo integrado de medias móviles de orden p, d, q y toma la expresión general de la siguiente ecuación:

$$(1-a_1L^1-a_2L^2-\dots-a_pL^p) (1-L)^d Y_t=(1-b_1L^1-b_2L^2-\dots-b_qL^q)\varepsilon_t$$

Siendo:

$Y_t$ : valor de la variable en el momento t.

L: operador de retardos ( $Y_{t-1}=Y_t*L$ ).

$a_p$ : coeficientes del operador de retardos para el componente autorregresivo.

$b_q$ : coeficientes del operador de retardos para el componente de medias móviles.

$\varepsilon_t$ : componente aleatoria.

El término de error se denomina ruido blanco y tiene que ser de media nula, varianza constante y covarianza nula entre errores de observaciones diferentes.

La verificación de la constancia temporal de la serie, en media, se puede realizar de diferentes maneras. Normalmente, el gráfico permite determinar fácilmente si existe tendencia o es estable durante periodos temporales determinados. p. (4)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de datos

A continuación, se muestran tres tablas de datos por cada muestreo, ya corregidos que posteriormente se van a utilizar para realizar el modelo predictivo. Inicialmente se eligieron 36 puntos de muestreo, pero después del post procesamiento solamente se conservaron los puntos que obtuvieron una solución fija, quedando descartados nueve puntos y finalmente para obtener una muestra de 27 puntos ya con solución fija.

**Tabla 20**  
*Datos muestreo 1*

MUESTREO 1 (marzo 2021)						
ID	Este	Norte	Elevación	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)
1	773444,9729	9970128,550	2855,0716	Fija	0,060	0,060
2	773459,2521	9970133,355	2854,5988	Fija	0,043	0,079
3	773475,9125	9970155,697	2854,5858	Fija	0,074	0,042
4	773480,5232	9970159,794	2854,6082	Fija	0,060	0,080
5	773485,4983	9970163,807	2854,8128	Fija	0,050	0,074
6	773497,2651	9970174,656	2855,5298	Fija	0,020	0,362
7	773497,4840	9970012,074	2854,5168	Fija	0,040	0,092
8	773491,3962	9970023,055	2858,7124	Fija	0,044	0,095
9	773480,8476	9970029,201	2856,3954	Fija	0,065	0,085
10	773475,4336	9970035,235	2856,7754	Fija	0,020	0,093
11	773450,6022	9970066,407	2856,0488	Fija	0,015	0,094
12	773496,8425	9970044,978	2860,6434	Fija	0,042	0,097
13	773495,6193	9970044,759	2855,6628	Fija	0,071	1,514
14	773499,6084	9970048,761	2858,0802	Fija	0,013	0,090
15	773505,4179	9970052,704	2855,8499	Fija	0,031	0,066
16	773497,5982	9970055,629	2856,1164	Fija	0,030	0,097
17	773515,3198	9970067,998	2855,2117	Fija	0,058	0,081
18	773508,4581	9970056,476	2855,3227	Fija	0,038	1,151
19	773493,2777	9970073,978	2855,8719	Fija	0,028	0,091
20	773441,6977	9970092,038	2855,1220	Fija	0,031	0,089
21	773444,5330	9970089,985	2855,0410	Fija	0,040	0,094
22	773434,3697	9970101,583	2854,9023	Fija	0,014	0,094
23	773492,0136	9970174,528	2858,3994	Fija	0,038	1,626
24	773472,7373	9970183,555	2854,0229	Fija	0,026	0,090
25	773466,2848	9970182,147	2855,8081	Fija	0,013	1,459
26	773416,1861	9970155,657	2854,7071	Fija	0,031	0,056
27	773436,3054	9970139,120	2853,5601	Fija	0,050	0,094



Fuente: La investigación

**Tabla 21**

*Datos muestreo 2*

MUESTREO 2 (abril 2021)						
ID	Este	Norte	Elevación	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)
1	773445,2576	9970127,828	2853,6313	Fija	0,024	0,095
2	773459,7048	9970132,736	2853,5333	Fija	0,022	0,081
3	773476,4008	9970155,190	2853,0317	Fija	0,053	0,090
4	773480,8976	9970159,411	2852,7645	Fija	0,047	0,096
5	773485,9989	9970163,162	2853,4059	Fija	0,027	0,067
6	773497,7442	9970173,998	2854,1530	Fija	0,013	0,933
7	773497,9399	9970011,456	2853,1281	Fija	0,013	0,083
8	773490,1695	9970020,961	2854,4089	Fija	0,045	0,084
9	773483,6645	9970028,214	2853,9151	Fija	0,041	0,078
10	773479,6889	9970034,645	2854,3169	Fija	0,065	0,093
11	773451,0760	9970065,754	2854,7118	Fija	0,012	0,443
12	773498,6079	9970044,930	2855,7688	Fija	0,037	0,086
13	773497,4158	9970044,698	2855,1352	Fija	0,050	0,845
14	773499,3045	9970047,080	2854,4472	Fija	0,052	0,092
15	773504,2671	9970051,728	2854,2488	Fija	0,022	0,080
16	773498,1368	9970054,881	2854,4649	Fija	0,023	0,088
17	773508,9600	9970055,831	2853,9758	Fija	0,018	1,646
18	773515,7360	9970067,401	2853,8517	Fija	0,045	0,086
19	773493,7337	9970073,364	2854,5568	Fija	0,012	0,094
20	773445,0677	9970089,394	2853,5855	Fija	0,041	0,068
21	773442,1993	9970091,414	2853,5238	Fija	0,020	0,056
22	773434,8365	9970100,961	2853,3785	Fija	0,027	0,082
23	773485,7759	9970172,952	2855,7149	Fija	0,054	0,060
24	773473,1099	9970182,978	2854,4162	Fija	0,015	0,056
25	773466,7628	9970181,498	2854,4136	Fija	0,012	0,059
26	773419,5257	9970154,914	2855,4658	Fija	0,060	0,062
27	773436,0023	9970138,264	2853,4068	Fija	0,060	0,057

Fuente: La investigación



**Tabla 22**

*Datos muestreo 3*

MUESTREO 3 (mayo 2021)						
ID	Este	Norte	Elevación	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)
1	773444,9989	9970127,817	2854,0643	Fija	0,034	0,096
2	773459,4023	9970132,714	2853,6939	Fija	0,013	0,067
3	773476,0548	9970155,114	2853,5876	Fija	0,040	0,091
4	773480,7814	9970159,214	2853,5950	Fija	0,050	0,078
5	773485,7289	9970163,121	2853,7742	Fija	0,083	0,059
6	773496,0801	9970173,428	2855,3093	Fija	0,055	0,051
7	773496,2365	9970011,756	2853,9157	Fija	0,024	0,096
8	773488,9711	9970020,448	2855,0104	Fija	0,062	0,063
9	773483,1032	9970028,865	2854,8538	Fija	0,089	0,077
10	773476,1575	9970034,682	2855,8191	Fija	0,025	0,083
11	773450,7913	9970065,731	2855,1090	Fija	0,022	0,094
12	773490,0286	9970042,690	2854,7412	Fija	0,076	0,426
13	773504,2440	9970045,798	2855,9058	Fija	0,025	0,068
14	773499,2220	9970046,905	2854,7520	Fija	0,055	0,097
15	773497,8093	9970054,907	2854,8167	Fija	0,032	0,080
16	773503,9794	9970051,749	2854,4833	Fija	0,026	0,094
17	773508,6429	9970055,869	2854,3684	Fija	0,020	0,098
18	773515,3254	9970066,949	2854,0176	Fija	0,005	0,064
19	773493,4767	9970073,474	2854,4096	Fija	0,028	0,063
20	773444,7435	9970089,315	2853,8568	Fija	0,026	0,066
21	773441,9400	9970091,387	2853,7779	Fija	0,019	0,095
22	773434,5364	9970100,921	2853,7348	Fija	0,018	0,098
23	773489,0840	9970172,961	2854,6135	Fija	0,057	0,092
24	773472,9447	9970183,005	2854,5790	Fija	0,031	0,097
25	773466,4655	9970181,516	2854,8583	Fija	0,011	0,095
26	773421,6152	9970154,360	2854,7119	Fija	0,065	0,092
27	773435,7433	9970138,303	2853,7263	Fija	0,041	0,079

Fuente: La investigación

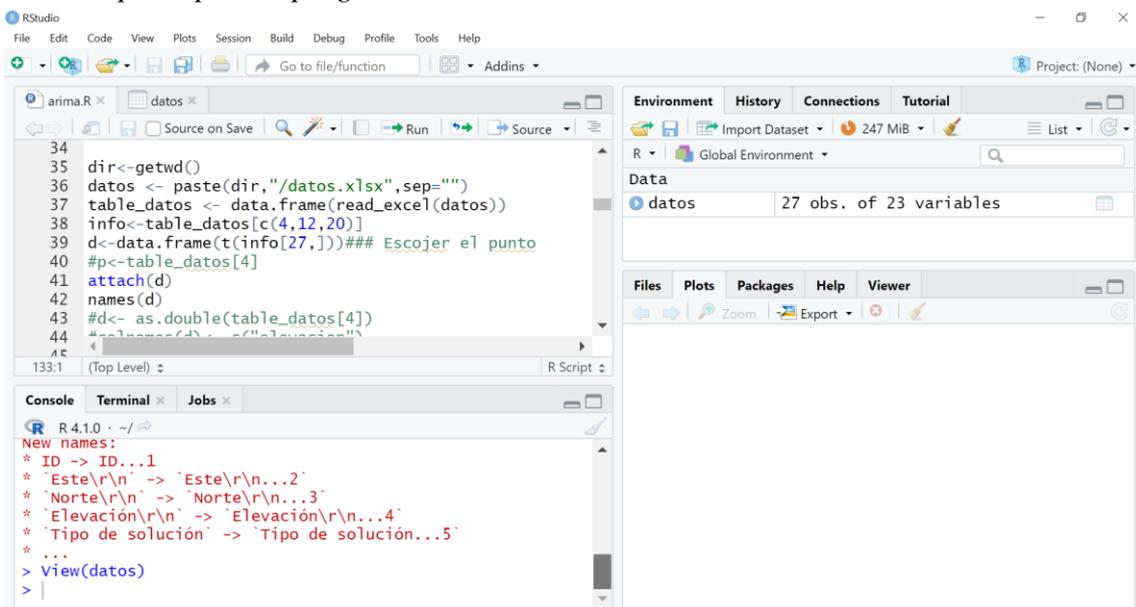


En cada una de las tablas se muestran los datos de coordenadas x, y además de la elevación z. También se especifica el tipo de solución a la que se llegó después del proceso de corrección, la solución fija es la adecuada para trabajar en modelos predictivos ya que presenta un error en la precisión tanto horizontal y vertical de menos de 0.10 m.

Para la realización del modelo predictivo Arima se utiliza una sola variable ya que eso es una de las características del modelo, los datos deben ser univariantes. Como el modelo predictivo horizontal se basa en el porcentaje de hundimiento, solo se usará la variable de elevación.

El modelo predictivo se lo realiza en RStudio.

**Figura 45**  
*Consola principal del programa RStudio*



Fuente: La investigación

## 4.2. Script o código del modelo predictivo

1. En el primer bloque del código se cargan las librerías.

```
library(lubridate)
library(tseries)
library(lubridate)
library(tidyverse)
library(car)
library(astsa)
library(foreign)
library(timsac)
library(vars)
library(lmtest)
library(mFilter)
library(dynlm)
library(nlme)
library(lmtest)
library(broom)
library(kableExtra)
library(knitr)
library(MASS)
library(parallel)
library(car)
library(mlogit)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(forecast)
library(fpp2)
library(stats)
library(quantmod)
library(readxl)
```

2. En el segundo bloque se importa el archivo de datos de Excel escribiendo la ubicación del archivo, en la siguiente línea se realiza un data.frame llamado (d) del archivo de Excel, seguido se selecciona las columnas con las que se va a trabajar en nuestro caso son las columnas con los datos de elevación o altura. Luego se selecciona el punto del muestreo con el que trabajamos y se realiza un attach para la tabla d con el nombre x1.
3. Seguido se realiza otro data.frame llamado (punto) donde se combinarán los meses y la información de la altura del punto específico. Finalmente se realiza un plot del data.frame denominado punto.

```

#PUNTO 1

datos <- paste("C:/Users/Usuario/Desktop/datos.xlsx", sep="")
tabla_datos <- data.frame(read_excel(datos))
info<-tabla_datos[c(4,12,20)]
d<-data.frame(t(info[1,]))
attach(d)
names(d)
punto<-data.frame(mes=c(3,4,5),t(info[1,]))
plot(punto,main="Punto 1", ylab="Altura",xlab="Mes",
      col="red",type ="o")

```

4. En el siguiente bloque se transforman los datos a una serie de tiempo univariada. Inicialmente se crea una serie de tiempo con el comando .ts a partir de nuestra tabla d, luego se establece el inicio y fin de los datos y la frecuencia de los mismos, que en este caso será mensual. Los datos empiezan em marzo del 2021 y finalizan en mayo del 2021, por eso se escribe el número 12 en frecuencia.

```

#Series de Tiempo Univariadas

d.ts=ts(d, start=c(2021,03),frequency = 12)
print(d.ts)
class(d.ts)
start(d.ts)
end(d.ts)

```

5. En este paso se realiza las pruebas para indicar si la serie de datos es estacionaria, la primera línea es para determinar si los datos (d.ts) son estacionarios. En este caso sale error, por lo tanto, se realiza la prueba del logaritmo con el comando serielog de datos (d.ts), seguido a esto se realiza un plot de la serielog y luego se un act de la serielog para determinar si es estacionaria o no.
6. Luego se realiza la prueba de Dickey Fuller con una y dos diferencias, posteriormente se genera un plot para visualizar de mejor manera los resultados y seguido a esto igualmente se realiza acf de cada serie para graficar. Finalmente se

obtiene el comando `ndiffs` para determinar el número de diferencias que se requiere para que la serie sea estacionaria.

```
#Pruebas para identificar serie estacionaria
adf.test(d.ts,alternative = "stationary")

#Prueba por logaritmo
serie=log(d.ts)
serie=log(serie)
plot(serie,main="Prueba de logaritmo",ylab="Altura",
      xlab="Mes",col="red",type = "o")
acf(serie)

#Prueba de DickeyFuller con una diferencia
seriedif=diff(d.ts)
plot(seriedif,type="o")
acf(seriedif)

adf.test(seriedif)

#Prueba de Dickey Fuller con dos diferencias

seriedif2=diff(d.ts, differences =2)
adf.test(seriedif2)
adf.test(seriedif2,alternative = "stationary")
plot(seriedif2, type="o", lty="dashed",main="Serie de Tiempo",
      col="red")

ndiffs(seriedif)
```

7. En este bloque se realiza el modelo arima, es decir mediante las pruebas realizadas anteriormente determinamos el número de autoregresiones, diferencias y medias móviles (0,0,0), se obtiene un resumen del modelo y un diagnóstico del mismo, donde se visualiza si hay ruido blanco en el modelo y se realiza una confirmación con una prueba con el comando `box.test` del tipo Ljung-Box.
8. Además, se calcula el error con los residuales de los datos obtenidos anteriormente y se lo grafica mediante un plot para una mejor visualización.

### #Modelo Arima

```
modelo1=arima(d.ts,order=c(0,0,1))
summary(modelo1)
tsdiag(modelo1)
Box.test(residuals(modelo1),type="Ljung-Box")

error=residuals(modelo1)
plot(error)
```

9. En el bloque final se realiza el pronóstico con el comando forecast del modelo generado e indica a cuánto tiempo se desea realizar el pronóstico, luego se finaliza esta parte con un plot.
10. En la última parte se calcula el promedio del pronóstico, para luego obtener el valor máximo y mínimo. Por último, para obtener el porcentaje de hundimiento de cada punto se realiza una operación relacionando el 100% con los valores máximos y mínimos y el valor obtenido de esta operación restamos del 100% y finalmente se tiene el porcentaje de hundimiento.

### #Pronosticos Arima

```
pronostico=forecast::forecast(modelo1,h=5)
pronostico
plot(pronostico)

promedio <- mean(pronostico$mean)
maxd<-max(pronostico$mean)
mind<-min(pronostico$mean)
porcent<-(100*mind)/maxd
porcentaje.hundimiento <- 100-porcent
```

## 4.3. Discusión

En los datos crudos obtenidos desde el GPS, se encontró algunas variaciones en las alturas, esto se debió a que los satélites no se encuentran siempre en la misma posición

todos los días, se realizó el muestreo a pesar de hacer el mismo procedimiento para el levantamiento, luego se determinó la corrección de los datos en el software, Trimble Business Center donde solo se consideraron los datos con solución fija, es decir de los 36 puntos totales solo se consideraron para el muestreo 27 puntos.

En los resultados arrojados del modelo predictivo se pudo determinar que el modelo si cumple, ya que arroja los resultados deseados, es decir un porcentaje de hundimiento el cual es un valor muy pequeño, esto se debe a la naturaleza de los datos levantados, tres datos por punto los cuales fueron tomados en tres meses respectivamente. Este tipo de modelo predictivo arroja un pronóstico que se puede ver de mejor manera en los gráficos explicados más adelante.

Lo ideal para este tipo de modelos predictivos sería el contar con una data mucho más grande que la nuestra y con una frecuencia anual, ya que de esta manera podemos pronosticar de mejor manera el porcentaje de hundimiento de la zona deseada. En los datos se obtuvo valores que de acuerdo a la metodología del modelo Arima si cumplían con los requisitos para poder realizar un pronóstico. Primeramente, se convirtió los datos en una serie de tiempo, posterior a esto se realizó diversas pruebas para determinar si la serie de tiempo era estacionaria ya que ese es un punto primordial para realizar el pronóstico. Estas pruebas realizadas son logaritmos, de Dickey Fuller con diferencias y las de ruido blanco para poder determinar si era factible realizar el modelo con la data obtenida. En las dos primeras pruebas, las de logaritmos y de Dickey Fuller no se pudo obtener resultados concretos para saber si eran series estacionarias o no ya que por la muestra con la que se trabajo era imposible determinarlo, este tipo de pruebas funcionan mucho mejor con gran cantidad de datos, pero al visualizar los gráficos finales de cada prueba que brinda el programa con el comando (acf) se pudo determinar que si podían ser estacionarios, pero se debía concluir con otra prueba más. Es por esto que se realizó la

prueba de ruido blanco, en donde si  $H_0 > 0,05$  hay ruido blanco y por lo tanto el modelo se ajusta y si  $H_1 < 0,05$  no hay ruido blanco. Los resultados se obtuvieron mediante el uso de un box.plot a través de la forma Ljung Box Test donde el valor que se obtiene de  $p$  fue mayor a 0,05 en todos los casos, es así que se pudo concluir que la serie de tiempo si era estacionaria y se podía realizar el modelo predictivo. Para el orden del modelo en  $(p,d,q)$ , donde  $p$  significa regresión automática,  $d$  diferencias y  $q$  las medias móviles. Estos se determinaron a través de la realización de las pruebas anteriormente mencionadas. El valor de  $p$  de medias móviles se obtuvo de la prueba de Ljung Box Test, el valor de  $d$ , de diferencias se obtuvo a través del comando `ndiffs`, el cual determina el número de diferencias que se requiere para que una serie de tiempo sea estacionaria, este valor en todos los casos resultó cero por la naturalidad de nuestros datos. Finalmente, el valor de  $q$  del coeficiente de autoregresión se obtuvo de las pruebas realizadas con diferencias por Dickey Fuller, esto se determina mediante el gráfico, dando como resultado en la mayoría de los casos un valor de cero.

Por otro lado ya realizado el modelo se analiza los valores que se obtienen en el diagnóstico del mismo el más importante en el MAPE, el cual significa el error absoluto medio porcentual, el cual dice que mientras más pequeño sea este valor, más ajustado será el modelo que se está pronosticando, en el caso de nuestro modelo en todos los casos se obtuvieron valores como 0,033%, lo que nos indica que nuestro modelo si se encuentra ajustado en las condiciones de Arima.

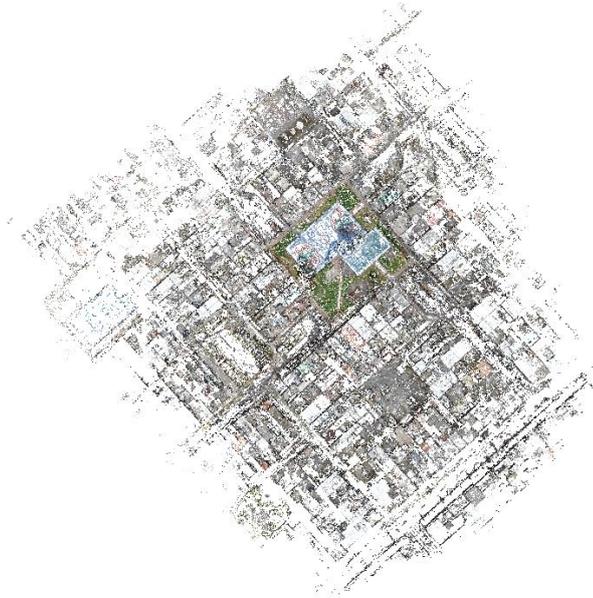
Por otra parte, al momento de realizar el diagnóstico se despliega lo datos del que se genera para el tiempo determinado en un intervalo de confianza del 80 y 95% con un límite inferior y superior, es decir nuestro pronostico puede estar en ese intervalo de confianza.

**Figura 46**  
*Ortofoto Sector 1*



Fuente: La investigación

**Figura 47**  
*Nube de puntos Sector 1*



Fuente: La investigación

En cuanto a la nube de puntos y modelado BIM se esperó un modelo tridimensional que permitiera tener una visión general de la zona de estudio y detectar los problemas que genera la subsidencia en las viviendas. Desafortunadamente, la nube de puntos generada en pix4d no contiene la suficiente información de cada vivienda afectada por la subsidencia, esto se debió a las características urbanas de la zona, como la urbanización desigual, vías de acceso delimitadas, líneas de transmisión y alta tensión mal ubicadas, estos factores han provocado una baja disponibilidad de captura de imágenes, por ello una baja calidad de resolución en la nube de puntos.

Sin embargo, al comparar la Figura 46 y 47 se puede deducir que en Pix4d los resultados no han sido los esperados debido a que pix4d no es capaz de unir correctamente las imágenes, en la figura 47 se observa un modelo mal definido y poco detallado.

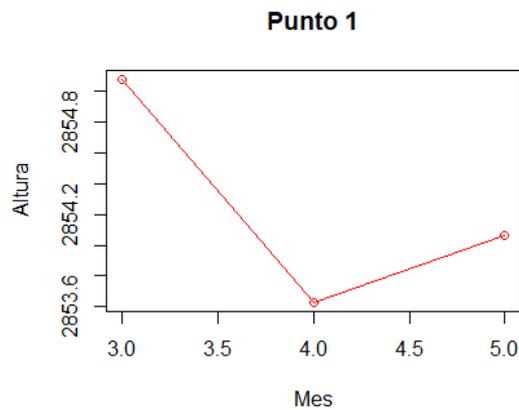
Con respecto georreferenciación obtenida del flujo de trabajo entre receptores GPS, AUV, y Pix4D presenta un índice de error promedio de 3,84 m, esto se debe a la superposición de imágenes pues es la que garantiza la mayor precisión del mapeo.

#### 4.4. Presentación de resultados Modelo Predictivo

##### PUNTO 1

#### Figura 48

*Datos de Altura del punto 1 respecto a los meses muestreados*

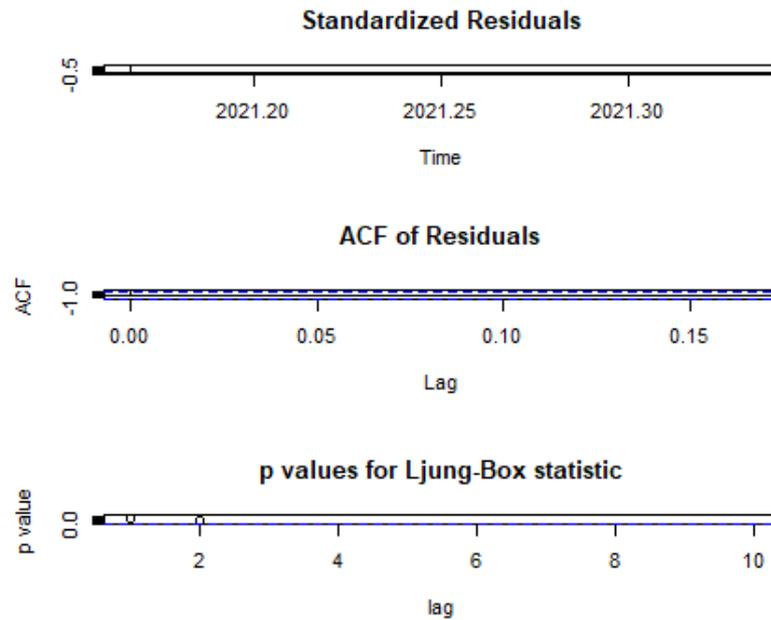


Fuente: La investigación

En la figura 48 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 1.

#### Figura 49

*Diagnóstico del modelo 1*

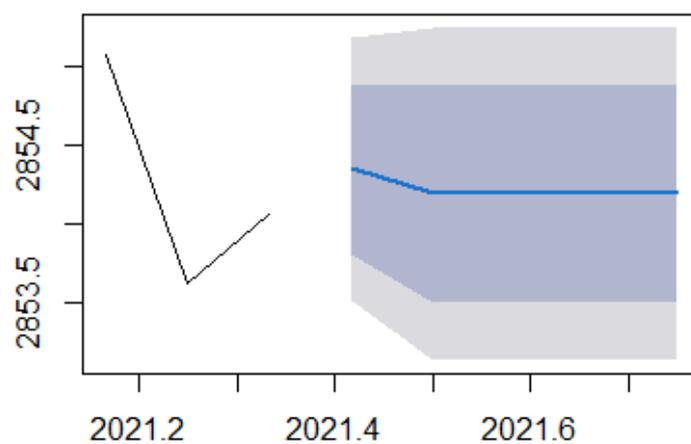


Fuente: La investigación

En la figura 49 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 1.

**Figura 50**  
*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

### Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero me



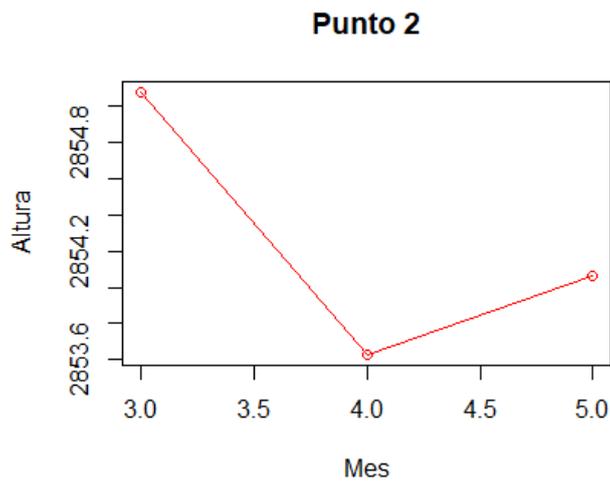
Fuente: La investigación

En la figura 50 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 2

**Figura 51**

*Datos de Altura del punto 1 respecto a los meses muestreados*

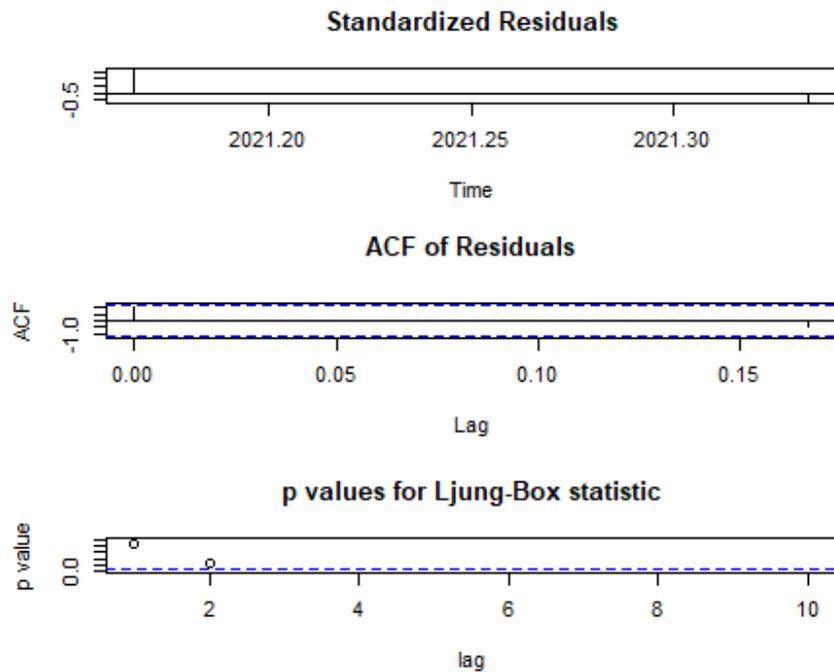


Fuente: La investigación

En la figura 51 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 2.

**Figura 52**

*Diagnóstico del modelo*

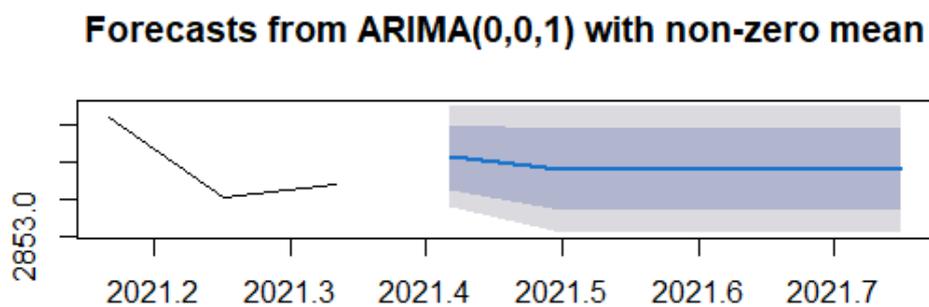


Fuente: La investigación

En la figura 52 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 2.

### Figura 53

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



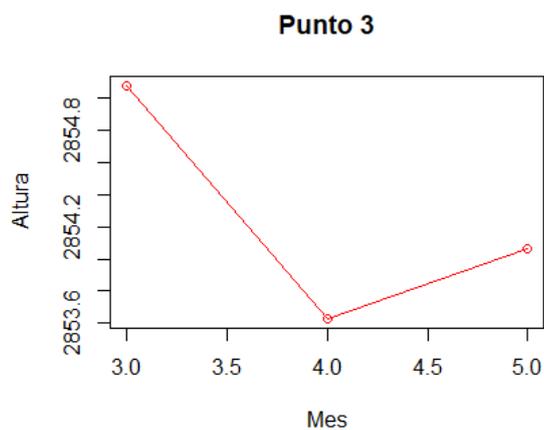
Fuente: La investigación

En la figura 53 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

### PUNTO 3

#### Figura 54

*Datos de Altura del punto 3 respecto a los meses muestreados*

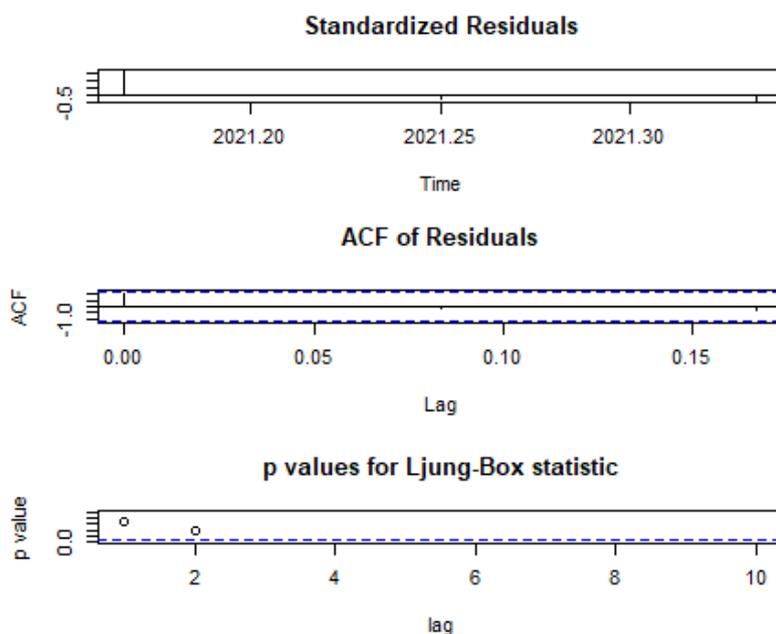


Fuente: La investigación

En la figura 54 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 3.

#### Figura 55

*Diagnóstico del modelo*



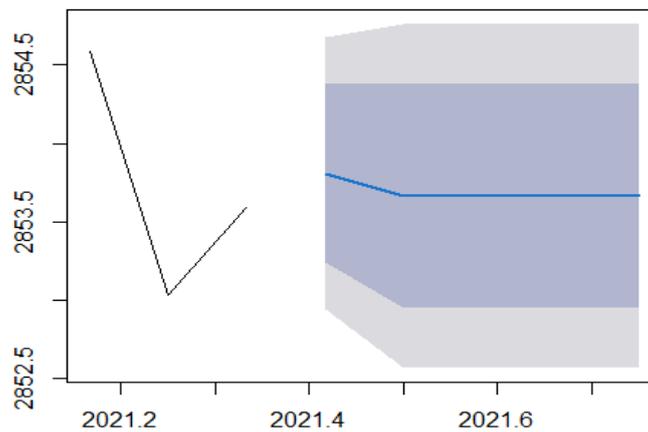
Fuente: La investigación

En la figura 55 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 3.

**Figura 56**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



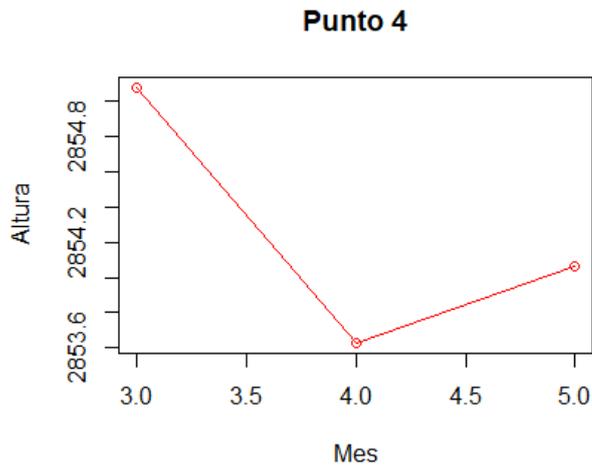
Fuente: La investigación

En la figura 56 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

**PUNTO 4**

**Figura 57**

*Datos de Altura del punto 4 respecto a los meses muestreados*

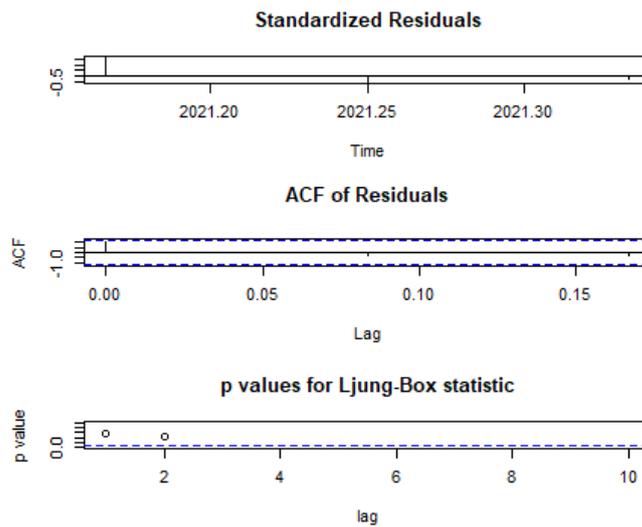


Fuente: La investigación

En la figura 57 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 4.

**Figura 58**

*Diagnóstico del modelo*



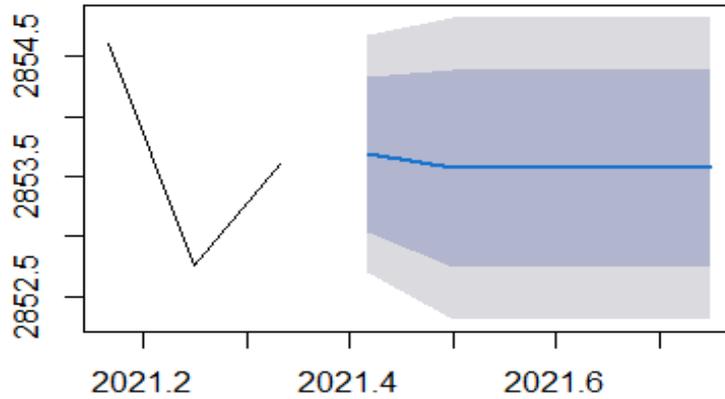
Fuente: La investigación

En la figura 58 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 4.

**Figura 59**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero me**



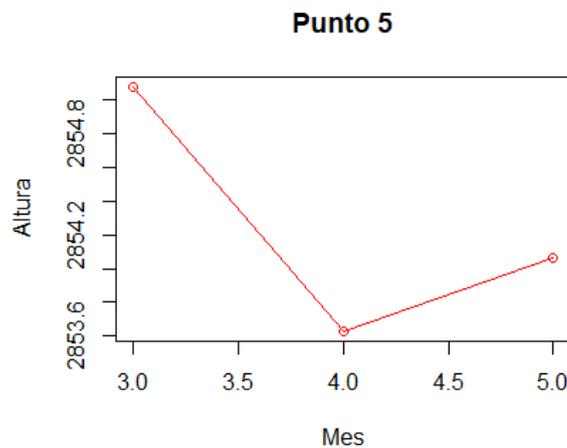
Fuente: La investigación

En la figura 59 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

**PUNTO 5**

**Figura 60**

*Datos de Altura del punto 5 respecto a los meses muestreados*

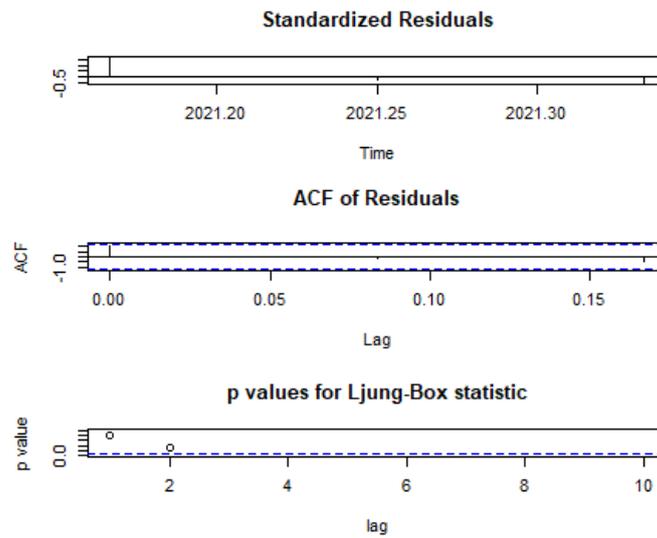


Fuente: La investigación

En la figura 60 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 5.

**Figura 61**

## Diagnóstico del modelo



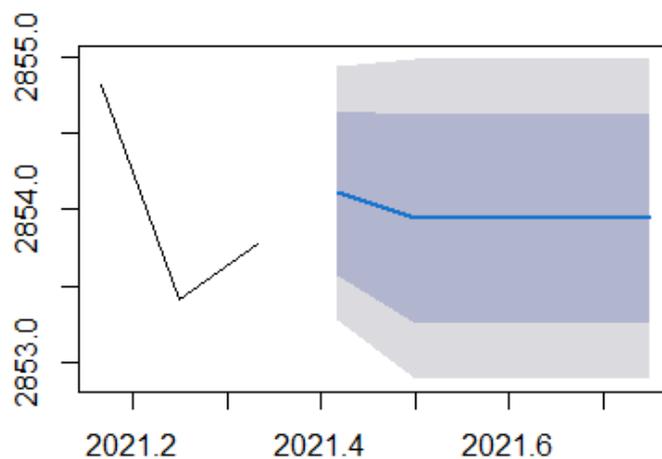
Fuente: La investigación

En la figura 61 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 5.

## Figura 62

Pronóstico Arima de orden  $(0,0,1)$

### Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero me



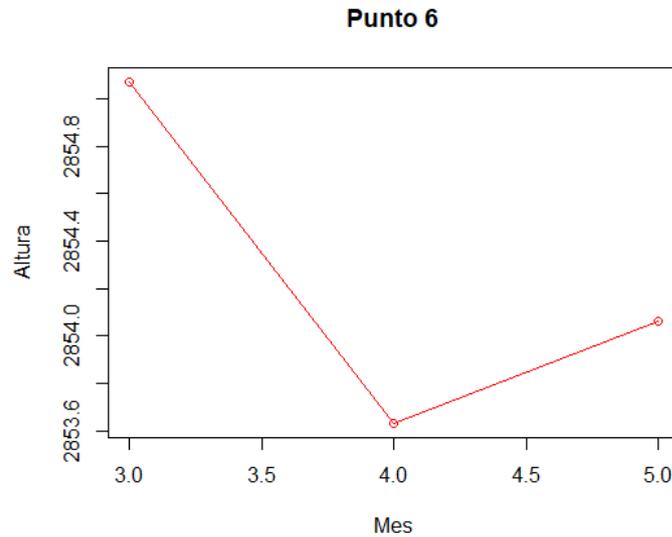
Fuente: La investigación

En la figura 62 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 6

**Figura 63**

*Datos de Altura del punto 6 respecto a los meses muestreados*

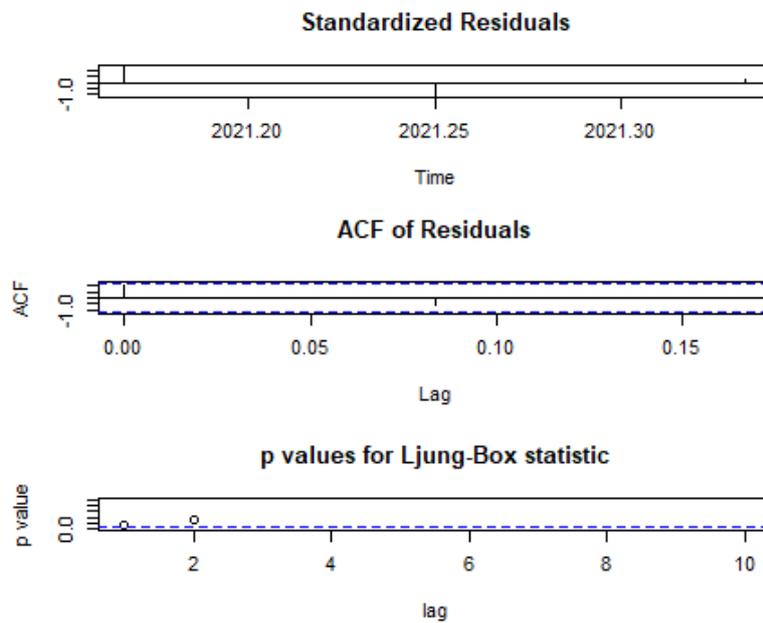


Fuente: La investigación

En la figura 63 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 6.

**Figura 64**

*Diagnóstico del modelo*



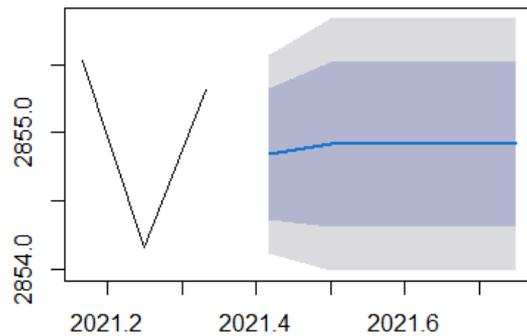
Fuente: La investigación

En la figura 64 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 6.

**Figura 65**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero me**



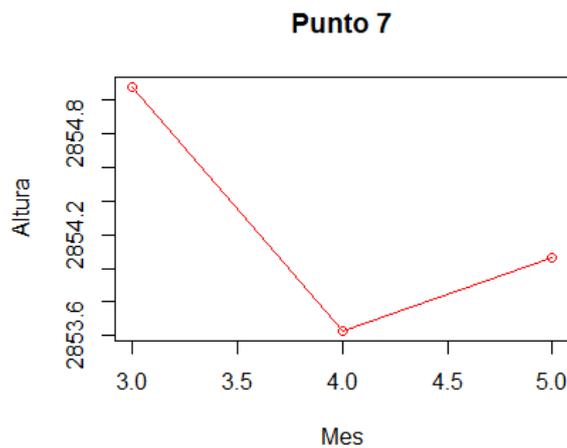
Fuente: La investigación

En la figura 65 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, para este caso el modelo realizado no se ajustó para el punto en cuestión por la cantidad de observaciones trabajadas.

**PUNTO 7**

**Figura 66**

*Datos de Altura del punto 7 respecto a los meses muestreados*

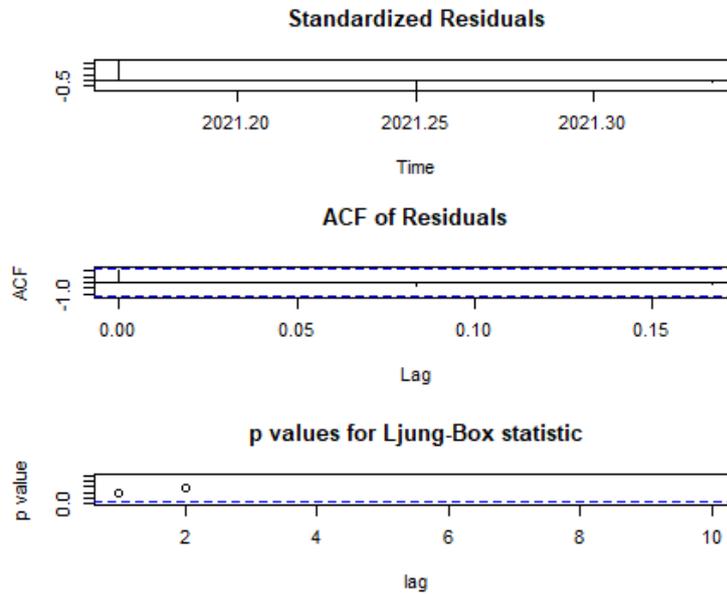


Fuente: La investigación

En la figura 66 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 7.

**Figura 67**

*Diagnóstico del modelo*



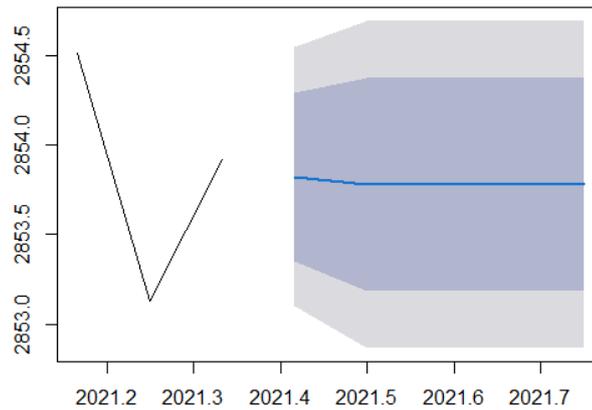
Fuente: La investigación

En la figura 67 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 7.

**Figura 68**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean



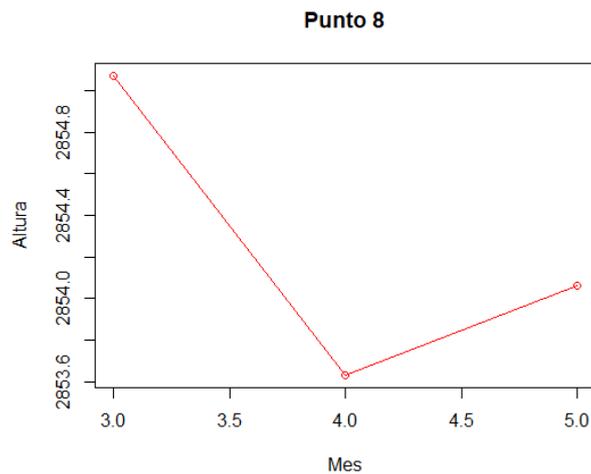
Fuente: La investigación

En la figura 68 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

#### PUNTO 8

#### Figura 69

*Datos de Altura del punto 8 respecto a los meses muestreados*

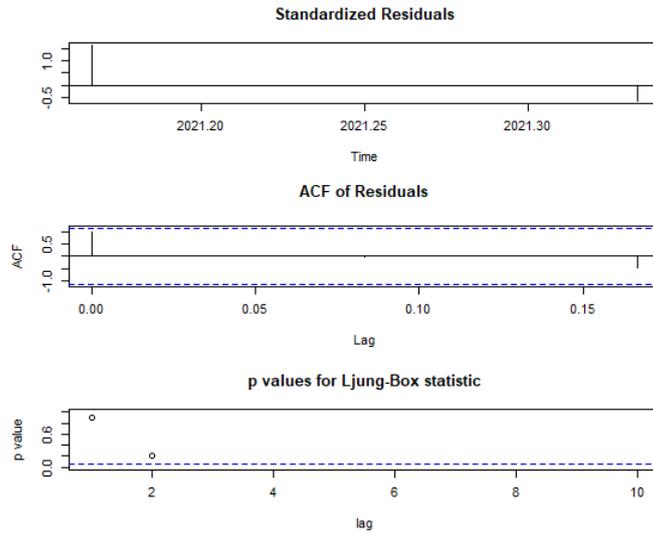


Fuente: La investigación

En la figura 69 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 8.

#### Figura 70

*Diagnóstico del modelo*

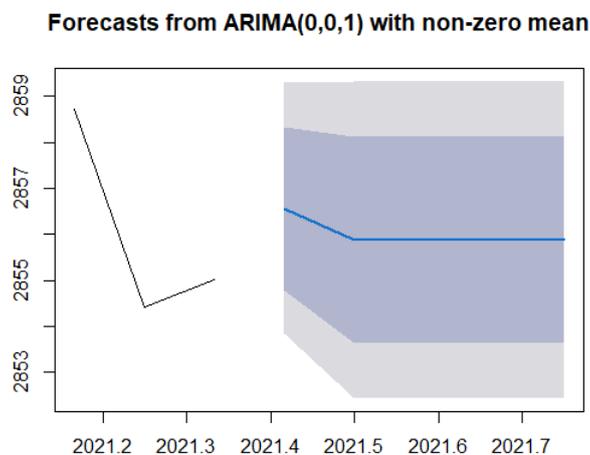


Fuente: La investigación

En la figura 70 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 8.

### Figura 71

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



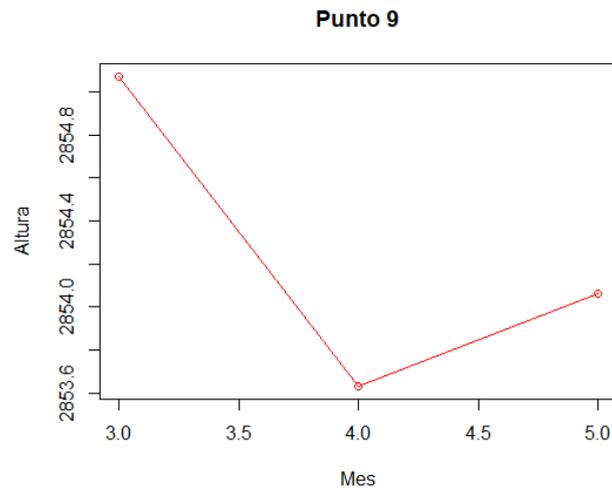
Fuente: La investigación

En la figura 71 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

## PUNTO 9

### Figura 72

*Datos de Altura del punto 9 respecto a los meses muestreados*

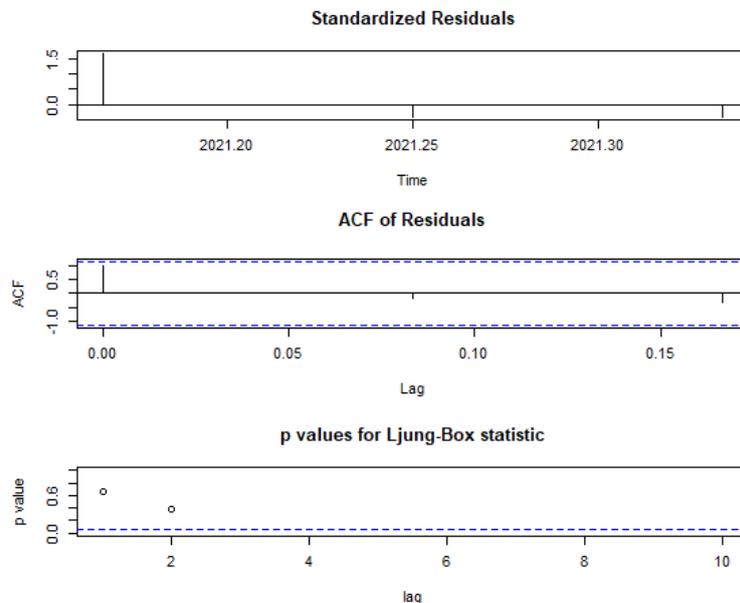


Fuente: La investigación

En la figura 72 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 9.

### Figura 73

*Diagnóstico del modelo*



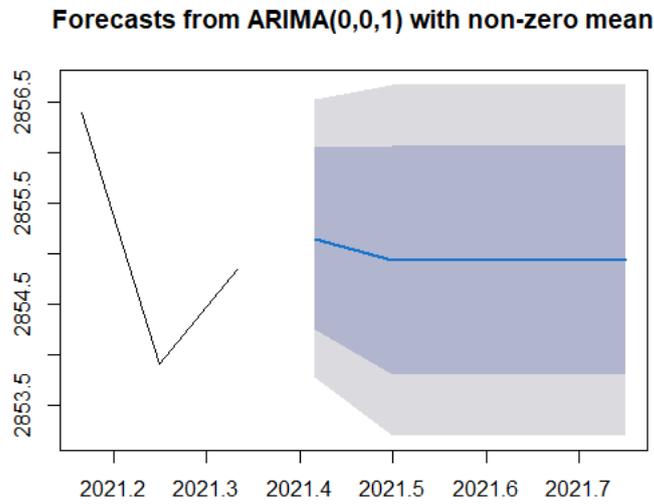
Fuente: La investigación

En la figura 73 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 9.

**Figura 74**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



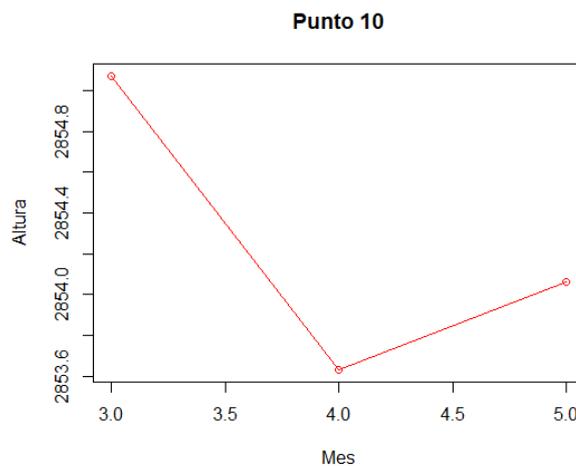
Fuente: La investigación

En la figura 74 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

**PUNTO 10**

**Figura 75**

*Datos de Altura del punto 10 respecto a los meses muestreados*

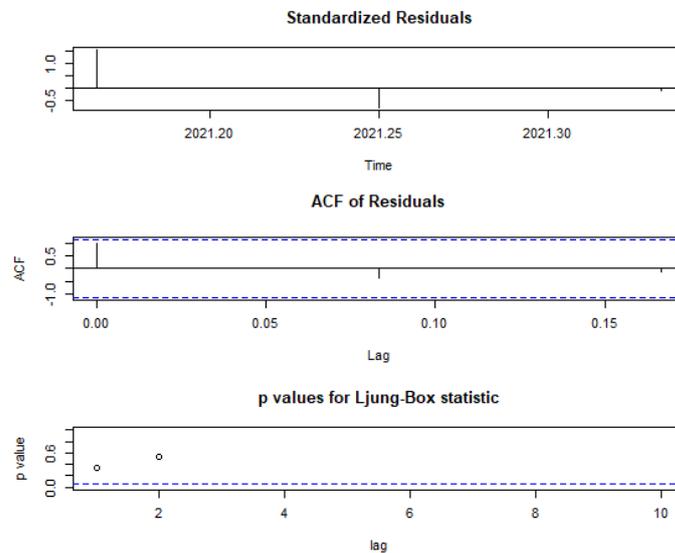


Fuente: La investigación

En la figura 75 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 10.

### Figura 76

*Diagnóstico del modelo*

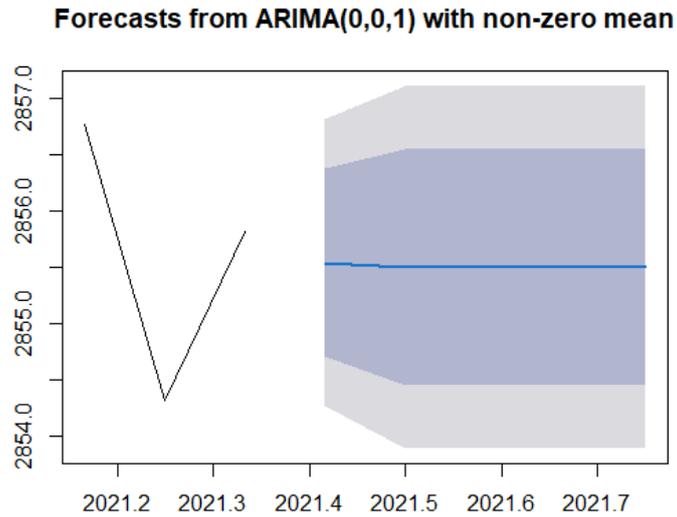


Fuente: La investigación

En la figura 76 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 10.

### Figura 77

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



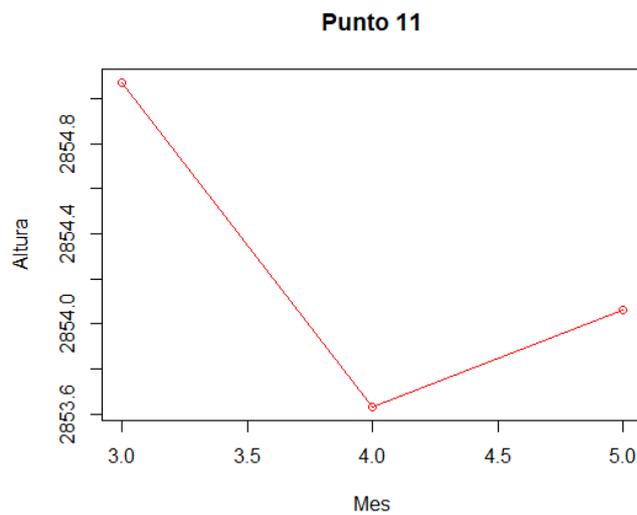
Fuente: La investigación

En la figura 77 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 11

**Figura 78**

*Datos de Altura del punto 11 respecto a los meses muestreados*

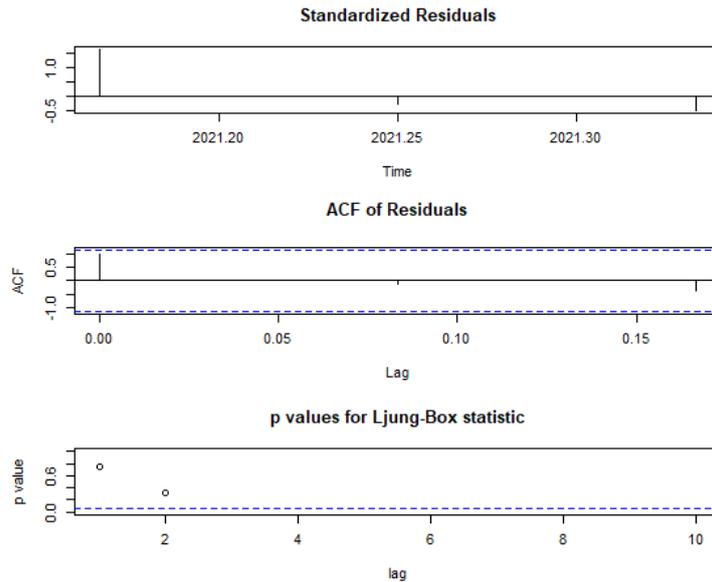


Fuente: La investigación

En la figura 78 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 11.

**Figura 79**

*Diagnóstico del modelo*



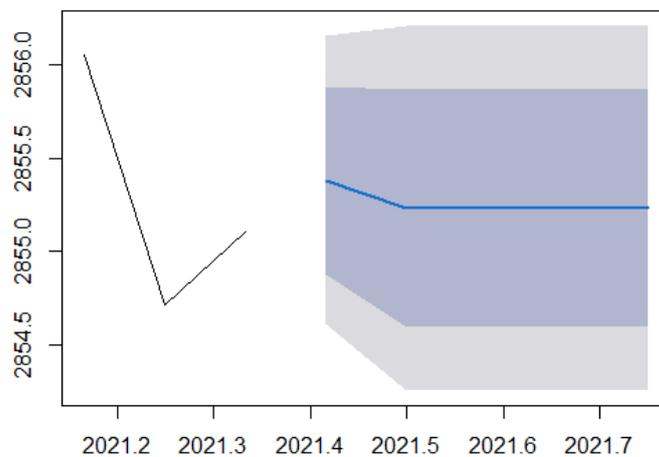
Fuente: La investigación

En la figura 79 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 11.

### Figura 80

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



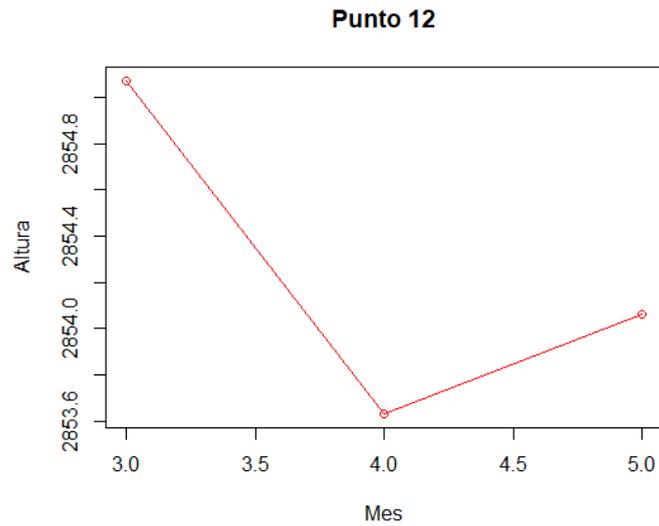
Fuente: La investigación

En la figura 80 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

## PUNTO 12

### Figura 81

*Datos de Altura del punto 12 respecto a los meses muestreados*

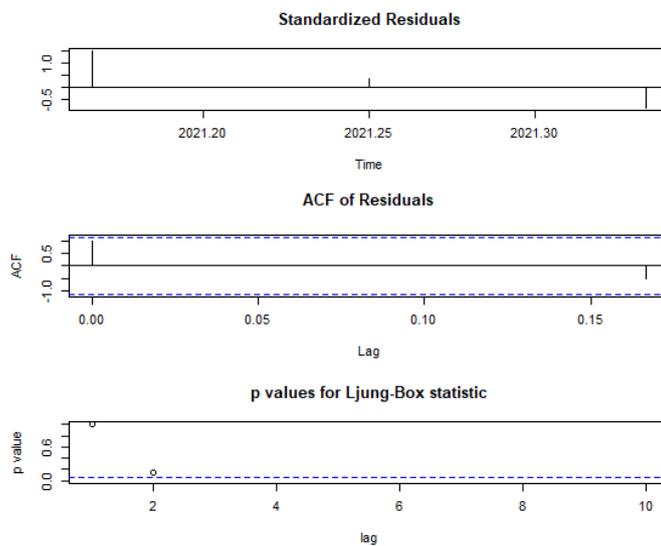


Fuente: La investigación

En la figura 81 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 12.

### Figura 82

*Diagnóstico del modelo*



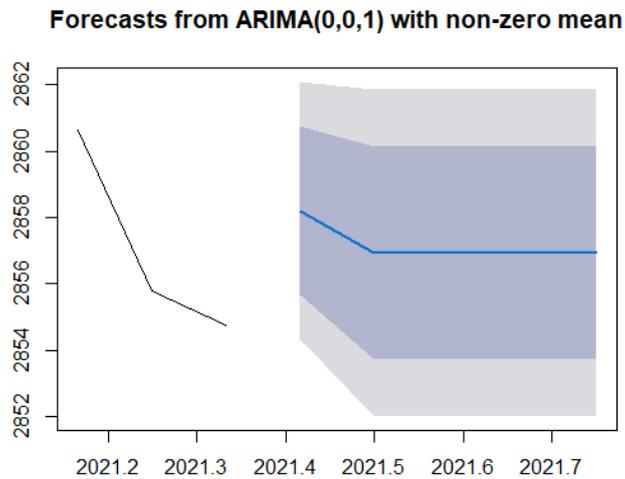
Fuente: La investigación

En la figura 82 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 12.

### Figura 83

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



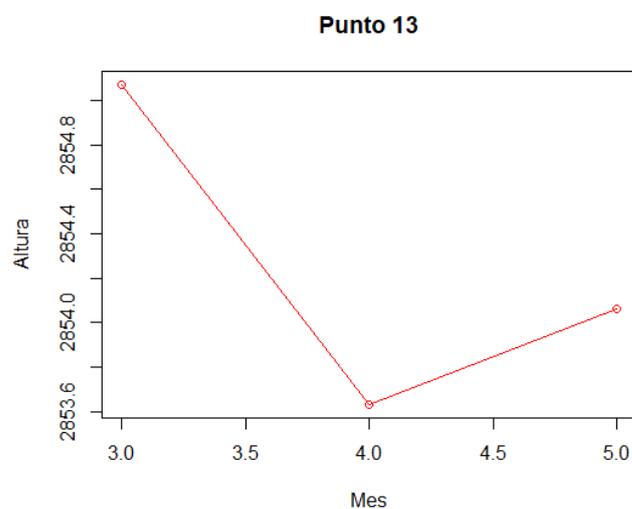
Fuente: La investigación

En la figura 83 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

### PUNTO 13

### Figura 84

*Datos de Altura del punto 13 respecto a los meses muestreados*

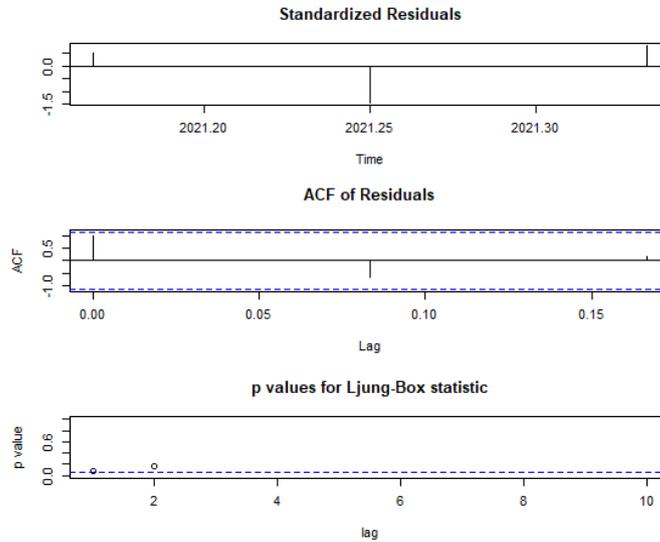


Fuente: La investigación

En la figura 84 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 13.

**Figura 85**

*Diagnóstico del modelo*



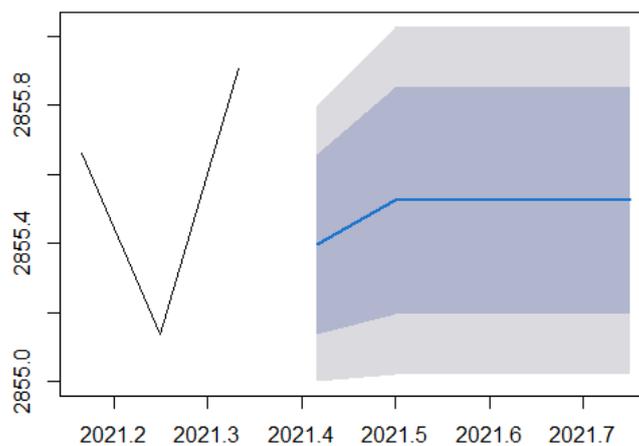
Fuente: La investigación

En la figura 85 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 13.

**Figura 86**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



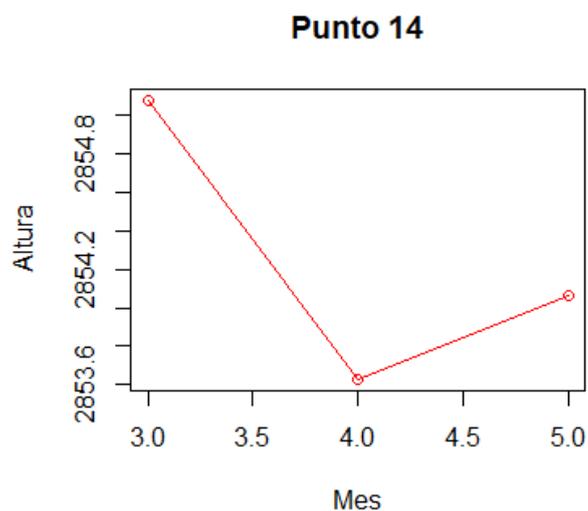
Fuente: La investigación

En la figura 86 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, para este caso el modelo realizado no se ajustó para el punto en cuestión por la cantidad de observaciones trabajadas.

PUNTO 14

**Figura 87**

*Datos de Altura del punto 14 respecto a los meses muestreados*

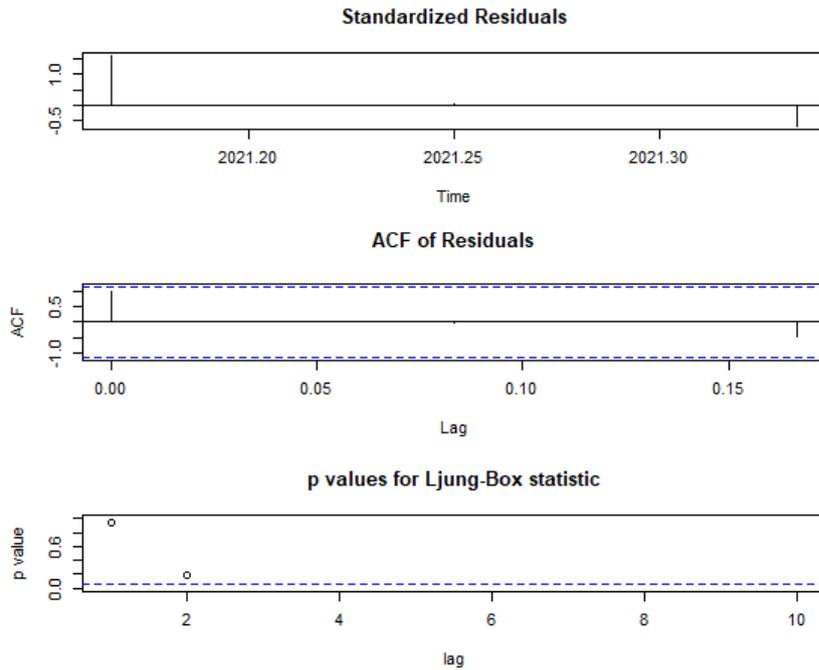


Fuente: La investigación

En la figura 87 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 14.

**Figura 88**

*Diagnóstico del modelo*



Fuente: La

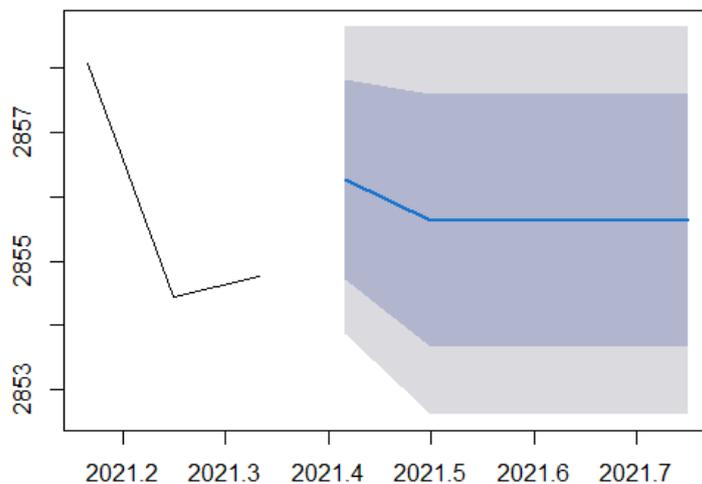
investigación

En la figura 88 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 14.

### Figura 89

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



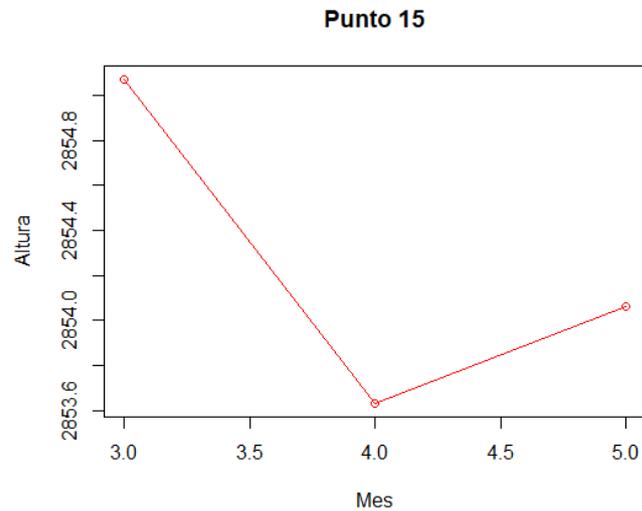
Fuente: La investigación

En la figura 89 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 15

**Figura 90**

*Datos de Altura del punto 15 respecto a los meses muestreados*

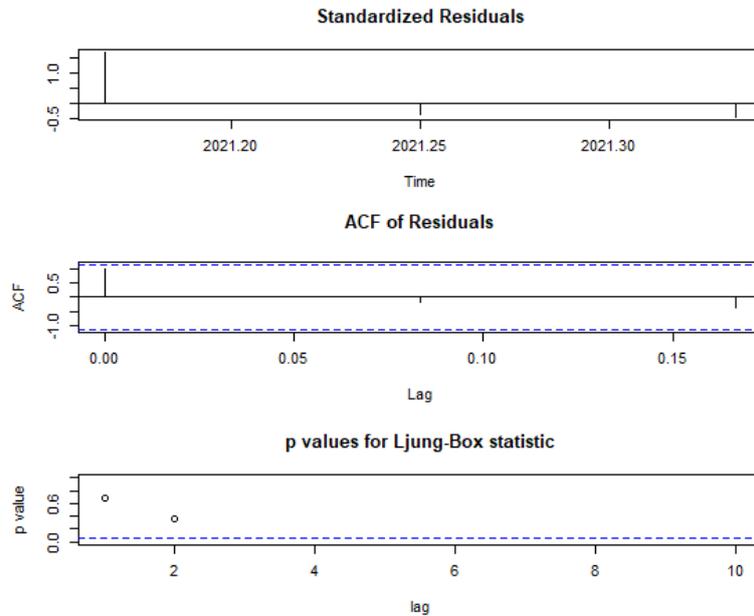


Fuente: La investigación

En la figura 90 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 15.

**Figura 91**

*Diagnóstico del modelo*

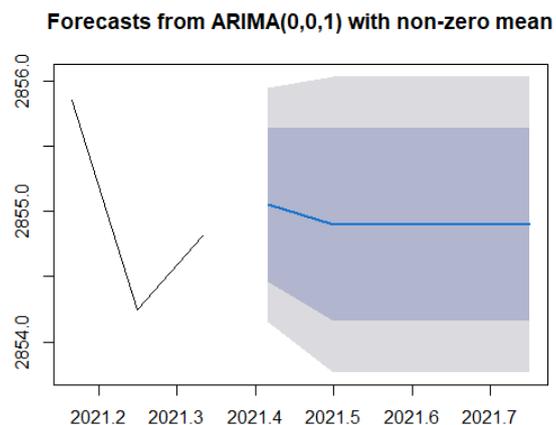


Fuente: La investigación

En la figura 91 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 15.

## Figura 92

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



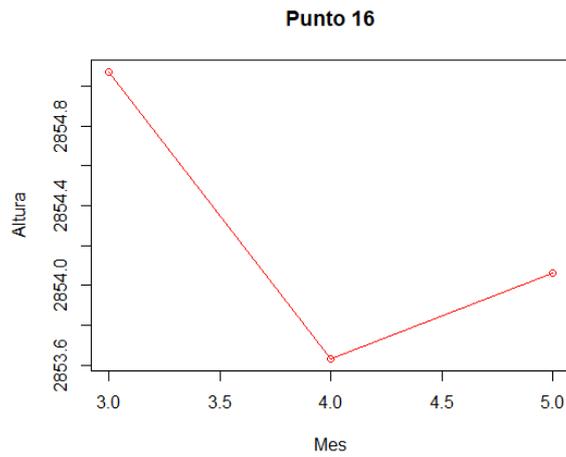
Fuente: La investigación

En la figura 92 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 16

**Figura 93**

*Datos de Altura del punto 16 respecto a los meses muestreados*

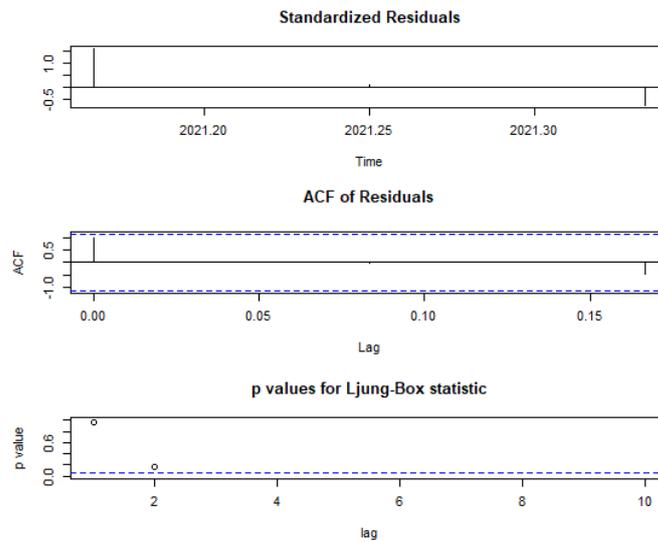


Fuente: La investigación

En la figura 93 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 16.

**Figura 94**

*Diagnóstico del modelo*

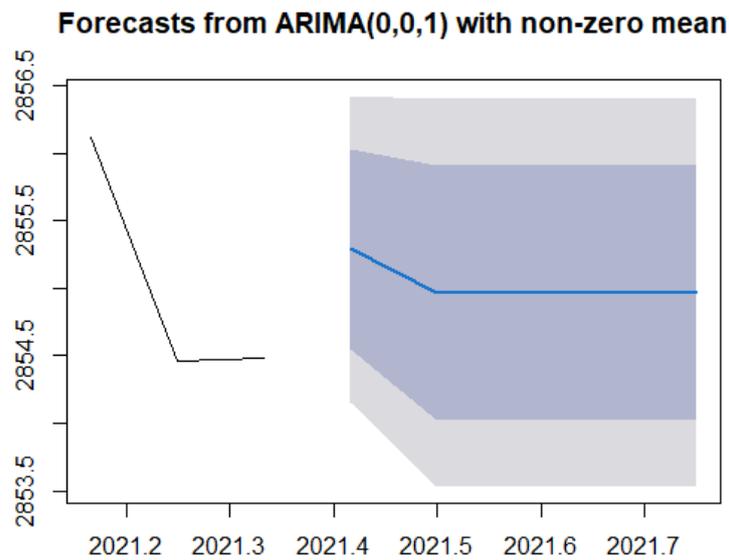


Fuente: La investigación

En la figura 94 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 16.

### Figura 95

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



Fuente: La investigación

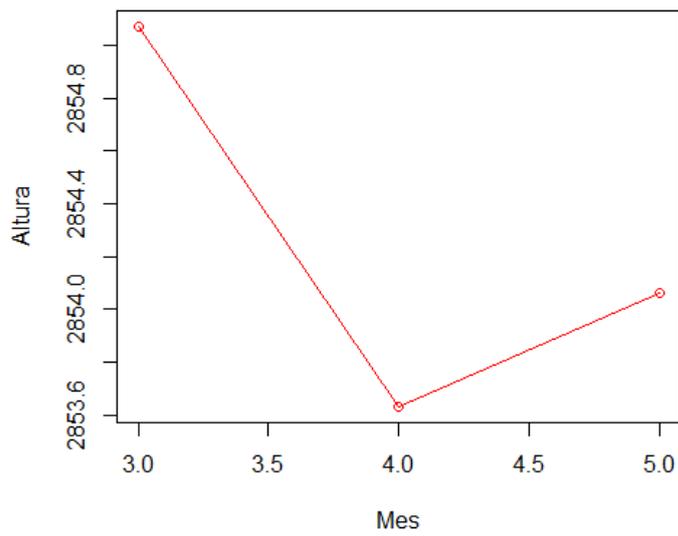
En la figura 95 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 17

### Figura 96

*Datos de Altura del punto 17 respecto a los meses muestreados*

### Punto 17

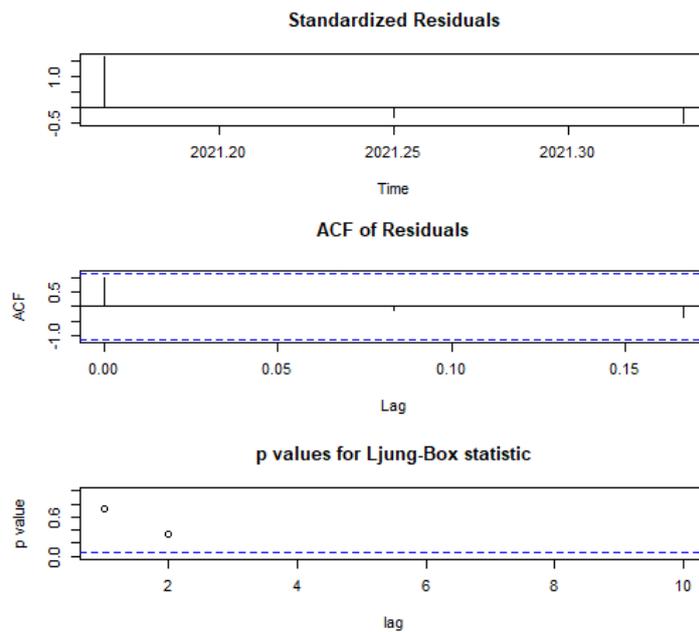


Fuente: La investigación

En la figura 96 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 17.

### Figura 97

*Diagnóstico del modelo*



Fuente: La investigación

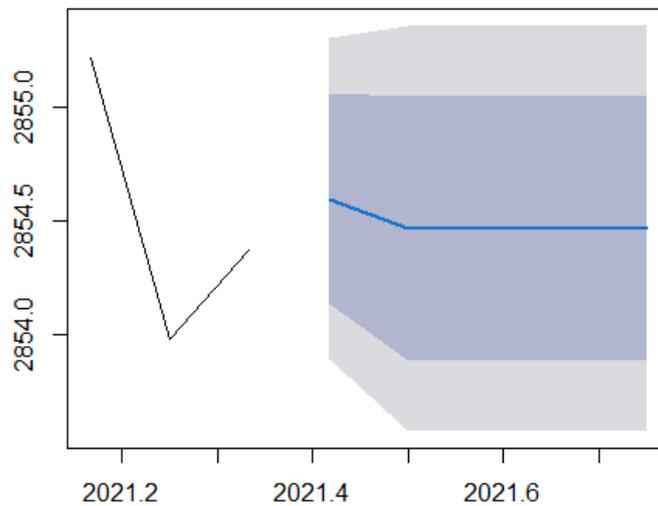
En la figura 97 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 17.

**Figura 98**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



Fuente: La investigación

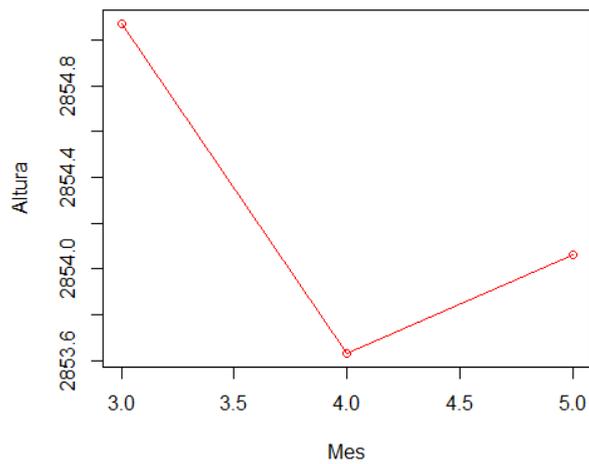
En la figura 98 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 17.

**PUNTO 18**

**Figura 99**

*Datos de Altura del punto 18 respecto a los meses muestreados*

**Punto 18**

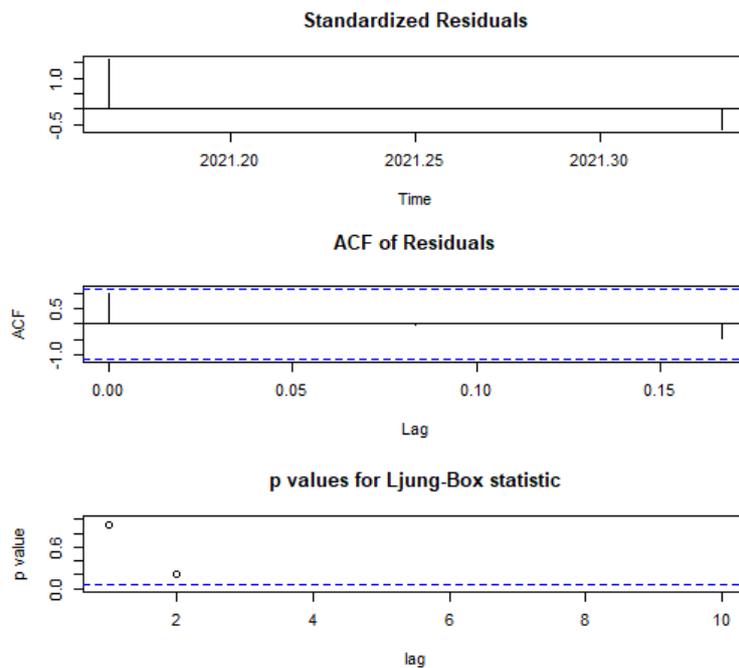


Fuente: La investigación

En la figura 99 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 18.

**Figura 100**

*Diagnóstico del modelo*



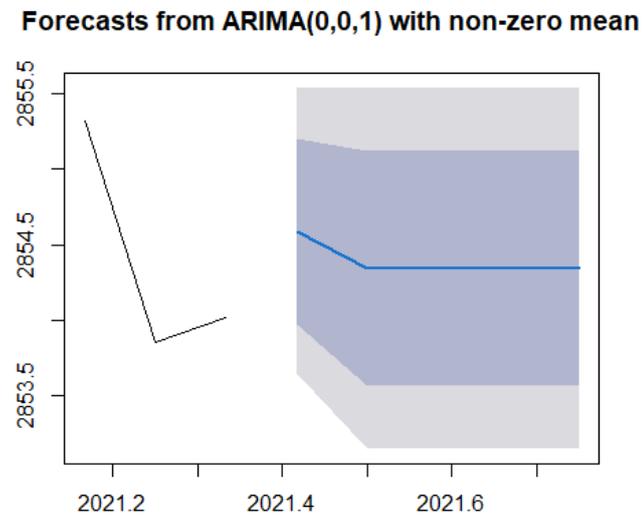
Fuente: La investigación

En la figura 100 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de  $p$  obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 18.

### Figura 101

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



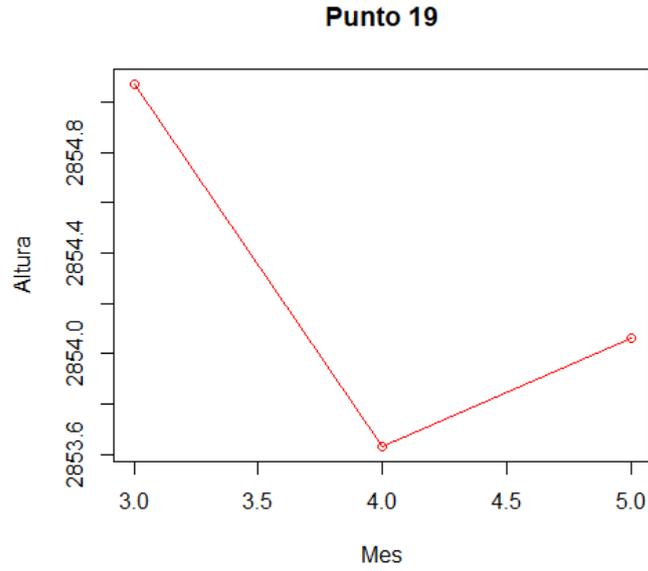
Fuente: La investigación

En la figura 101 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 18, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 19

### Figura 102

*Datos de Altura del punto 19 respecto a los meses muestreados*

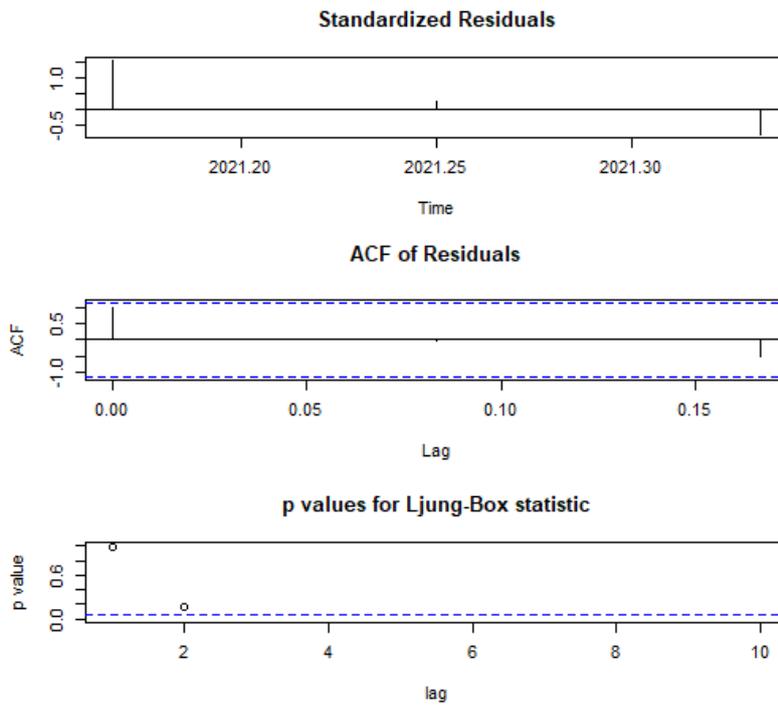


Fuente: La investigación

En la figura 102 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 19.

**Figura 103**

*Diagnóstico del modelo*



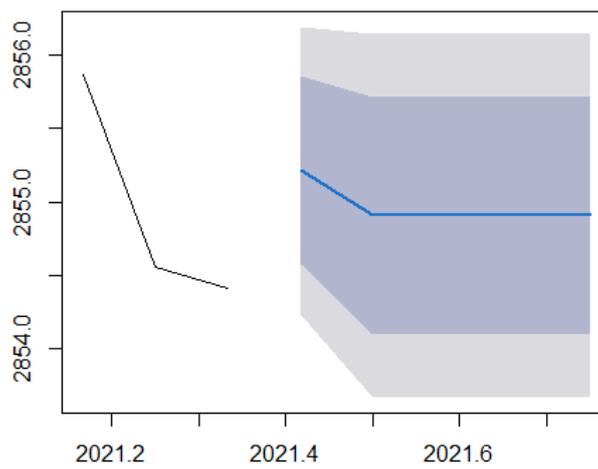
Fuente: La investigación

En la figura 103 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 19.

### Figura 104

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



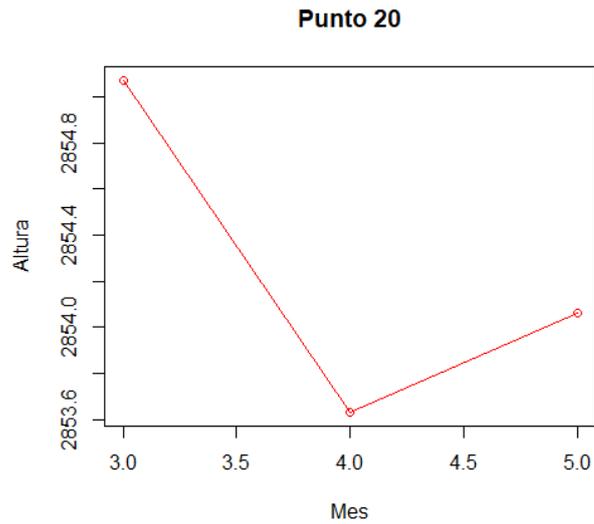
Fuente: La investigación

En la figura 104 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 19, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 20

### Figura 105

*Datos de Altura del punto 20 respecto a los meses muestreados*

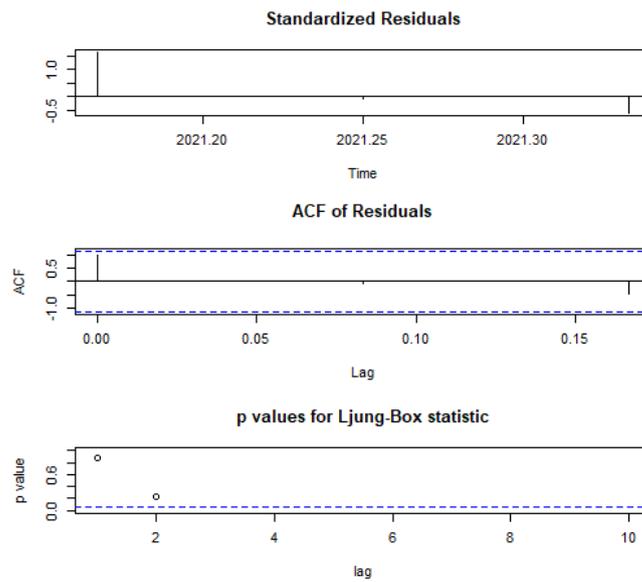


Fuente: La investigación

En la figura 105 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 20.

**Figura 106**

*Diagnóstico del modelo*

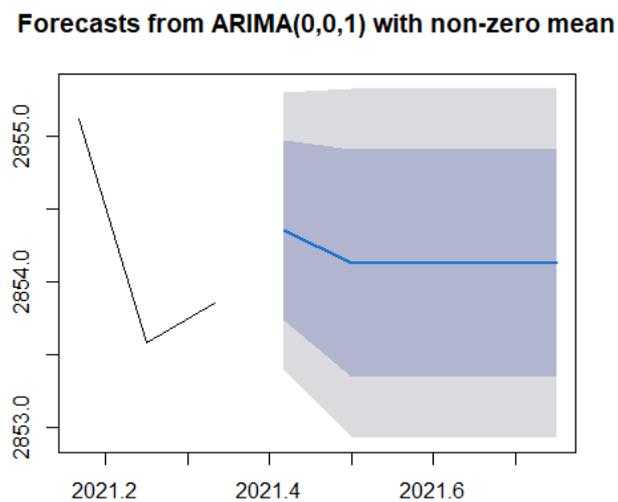


Fuente: La investigación

En la figura 106 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 20.

**Figura 107**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*



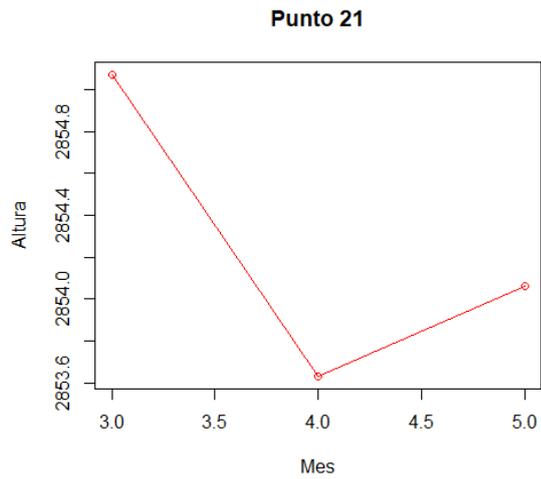
Fuente: La investigación

En la figura 107 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 20, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 21

**Figura 108**

*Datos de Altura del punto 21 respecto a los meses muestreados*

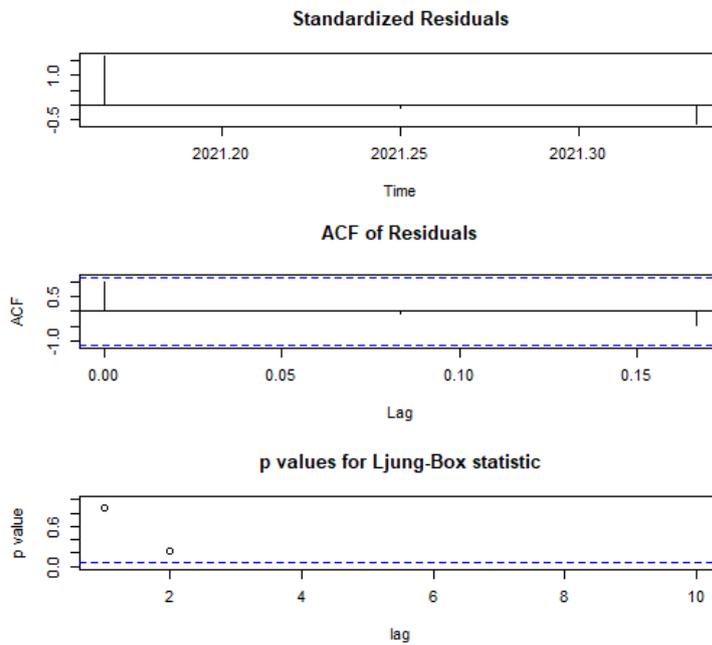


Fuente: La investigación

En la figura 108 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 21.

### Figura 109

*Diagnóstico del modelo*



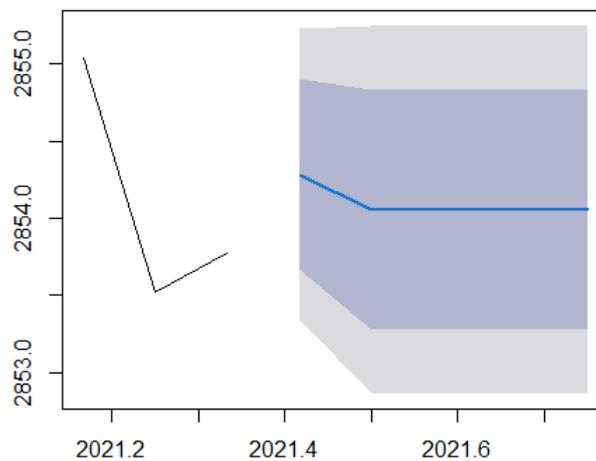
Fuente: La investigación

En la figura 109 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 21.

### Figura 110

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



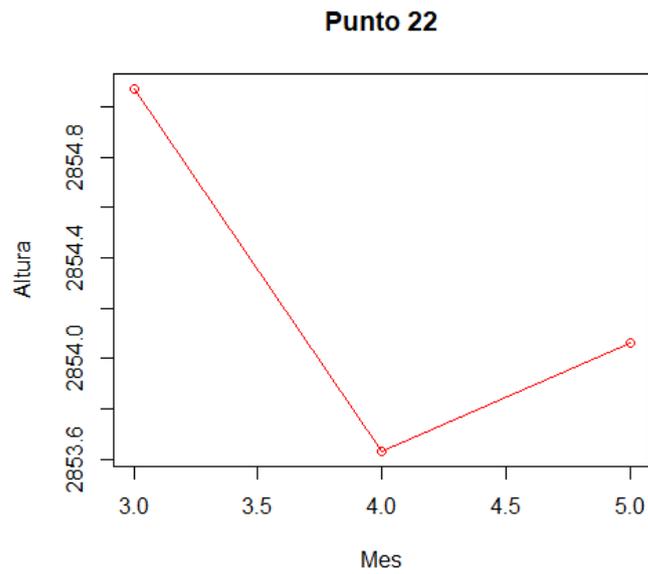
Fuente: La investigación

En la figura 110 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 21, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

PUNTO 22

### Figura 111

*Datos de Altura del punto 22 respecto a los meses muestreados*

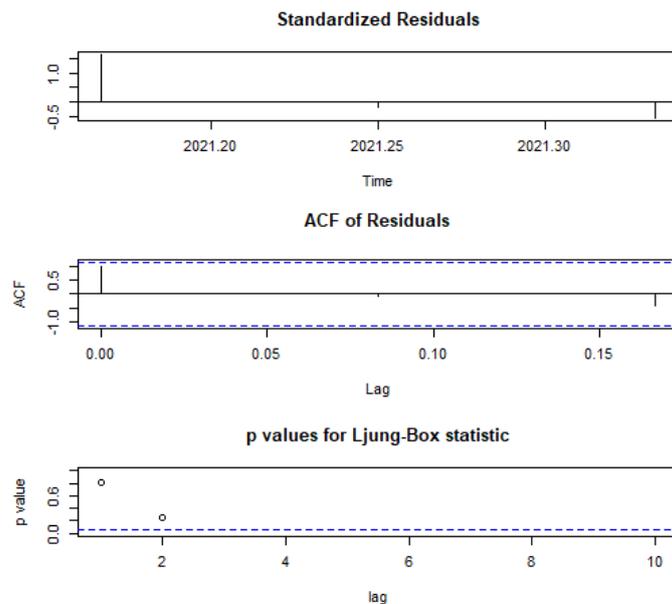


Fuente: La investigación

En la figura 111 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 22.

**Figura 112**

*Diagnóstico del modelo*



Fuente: La investigación

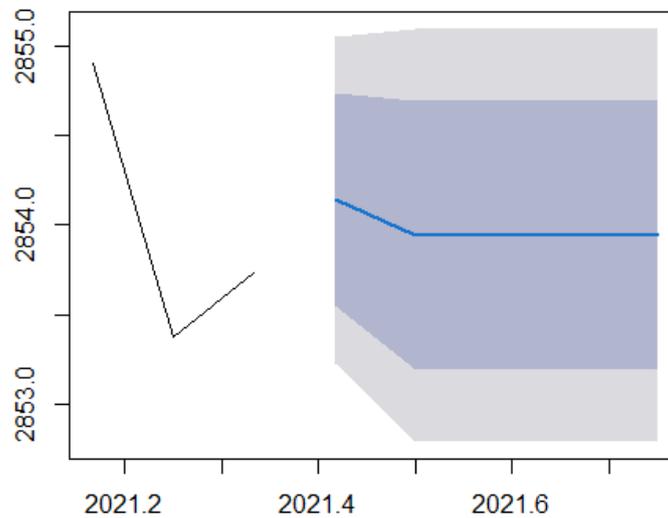
En la figura 112 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 22.

**Figura 113**

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



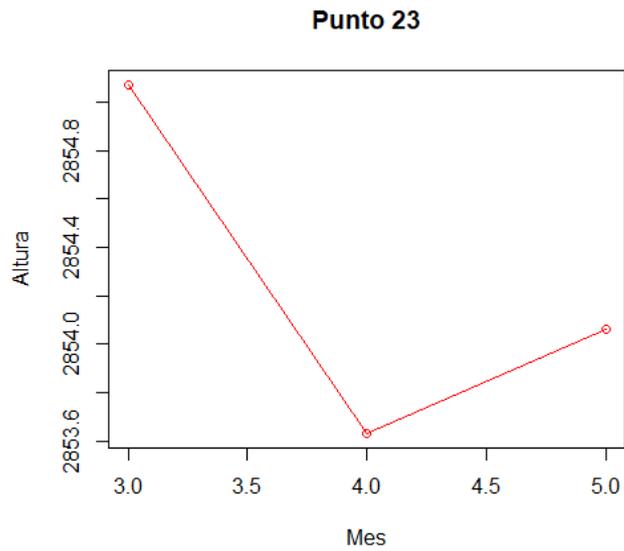
Fuente: La investigación

En la figura 113 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 22, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

**PUNTO 23**

**Figura 114**

*Datos de Altura del punto 23 respecto a los meses muestreados*

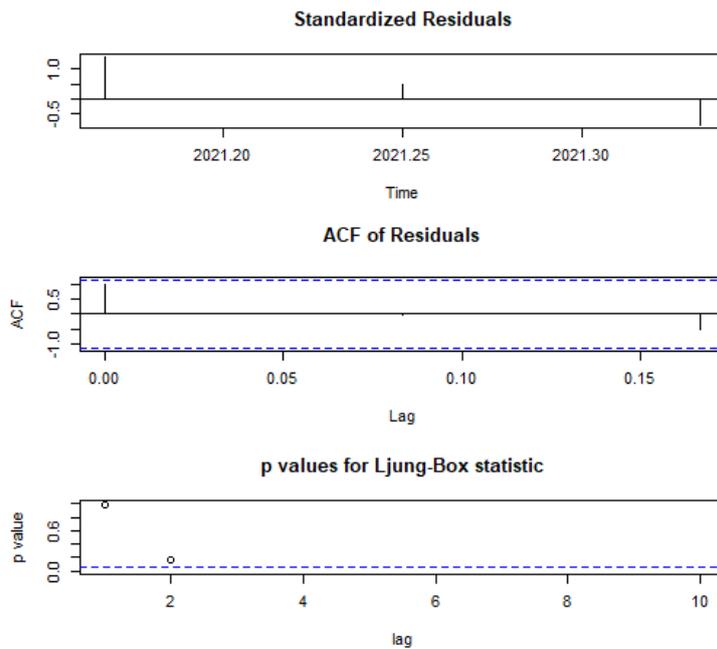


Fuente: La investigación

En la figura 114 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 23.

**Figura 115**

*Diagnóstico del modelo*



Fuente: La investigación

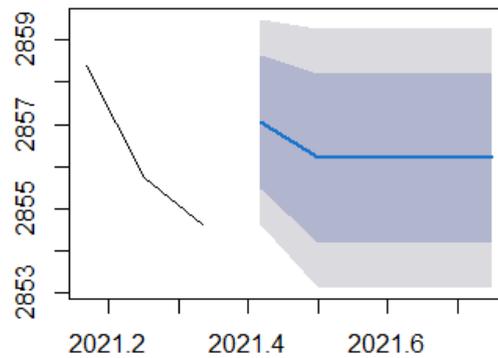
En la figura 115 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de

autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 23.

### Figura 116

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero n



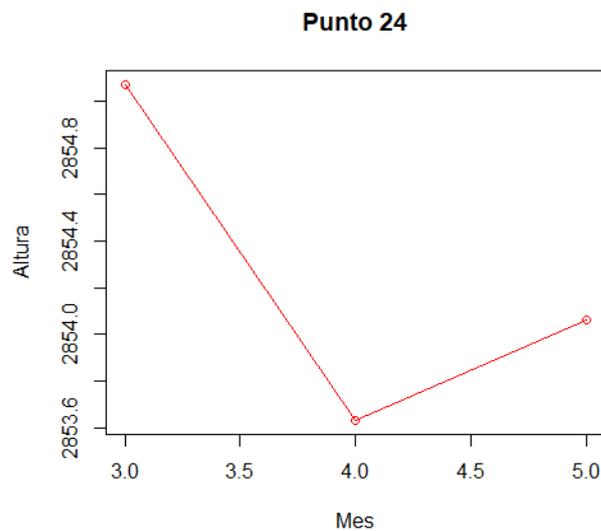
Fuente: La investigación

En la figura 116 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 23, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

### PUNTO 24

### Figura 117

*Datos de Altura del punto 24 respecto a los meses muestreados*

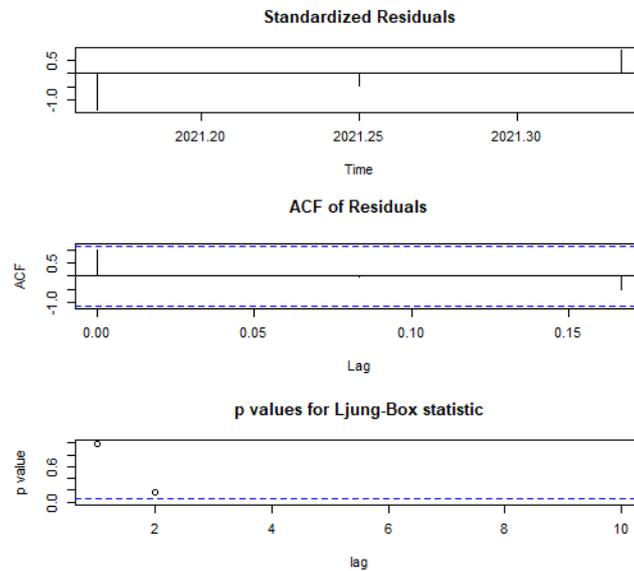


Fuente: La investigación

En la figura 117 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 24.

### Figura 118

#### Diagnóstico del modelo



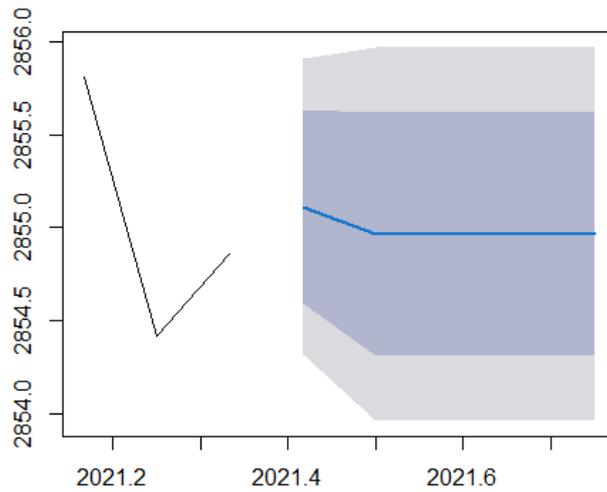
Fuente: La investigación

En la figura 118 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 24.

### Figura 119

#### Pronóstico Arima de orden (0,0,1)

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



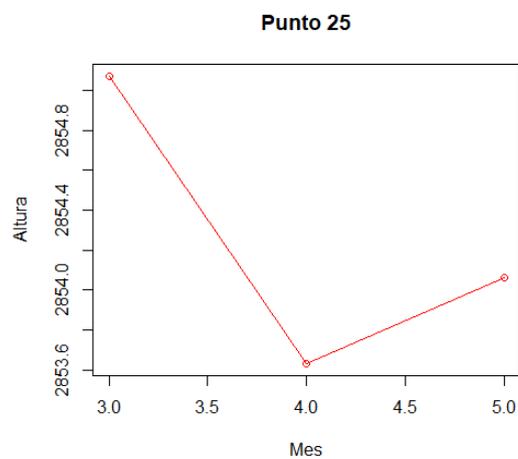
Fuente: La investigación

En la figura 119 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 24, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

## PUNTO 25

**Figura 120**

*Datos de Altura del punto 25 respecto a los meses muestreados*

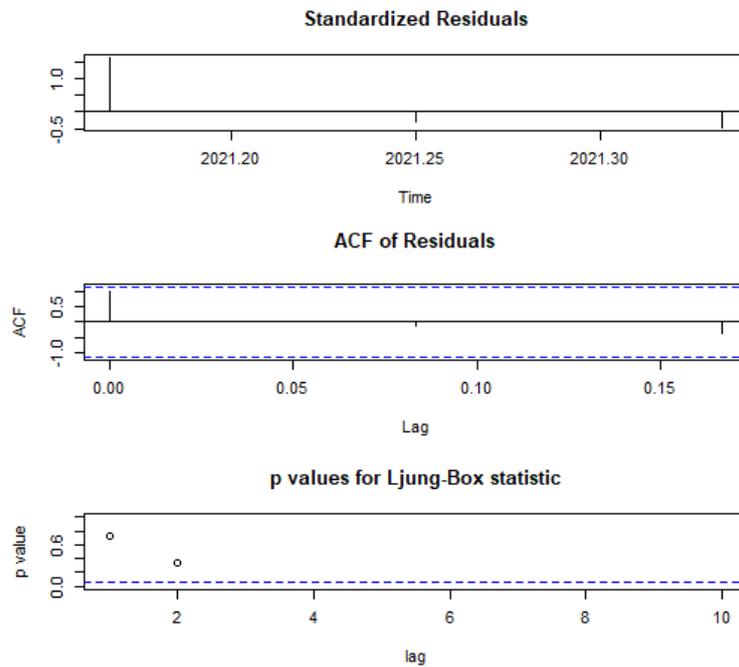


Fuente: La investigación

En la figura 120 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 25.

### Figura 121

#### Diagnóstico del modelo



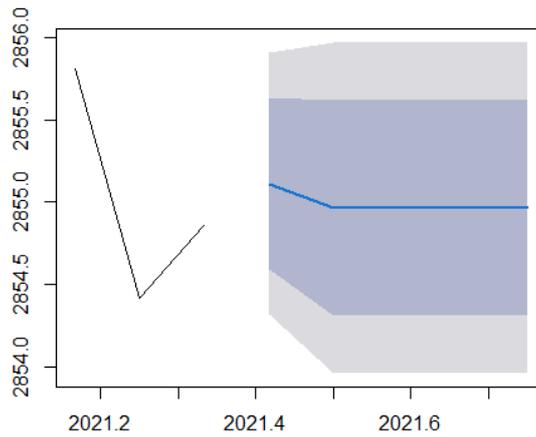
Fuente: La investigación

En la figura 121 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 25.

### Figura 122

#### Pronóstico Arima de orden (0,0,1)

**Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean**



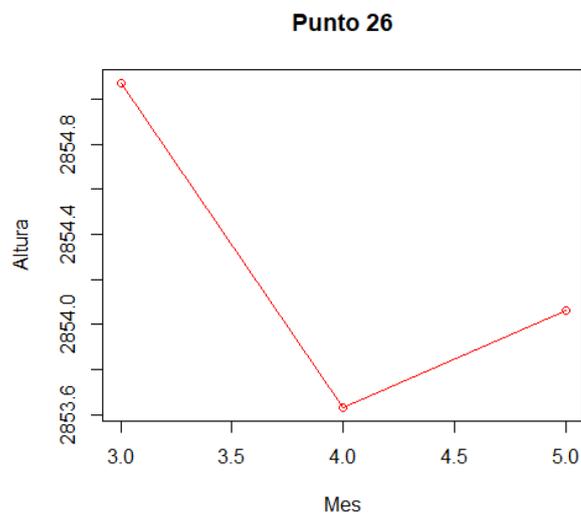
Fuente: La investigación

En la figura 122 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 25, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

#### PUNTO 26

#### Figura 123

*Datos de Altura del punto 26 respecto a los meses muestreados*

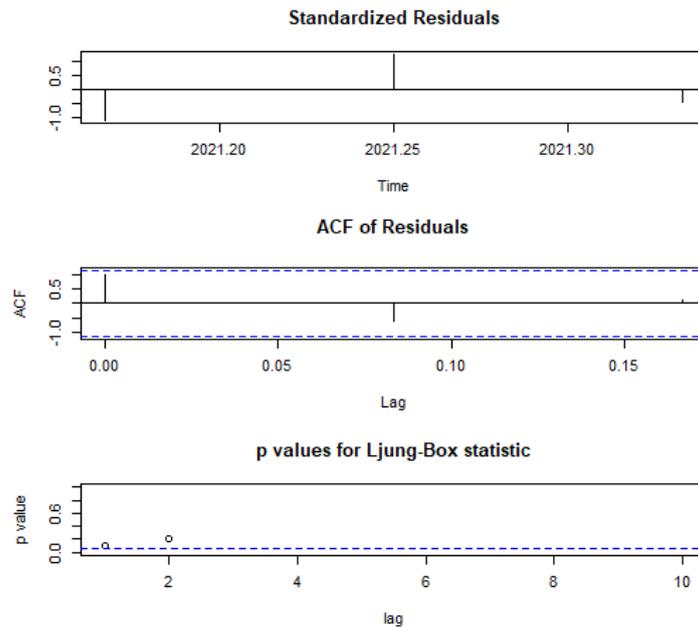


Fuente: La investigación

En la figura 123 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 26.

### Figura 124

#### Diagnóstico del modelo



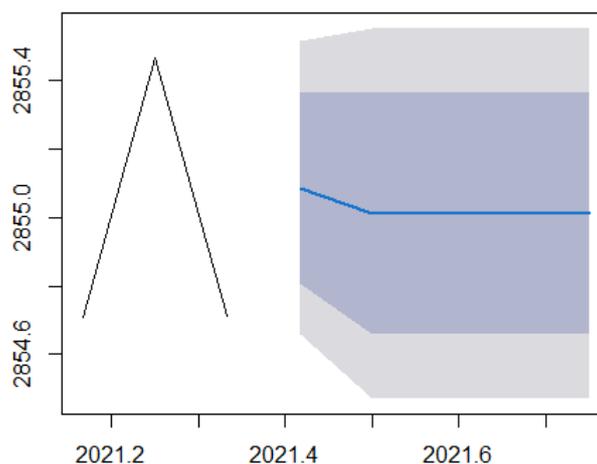
Fuente: La investigación

En la figura 124 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 26.

### Figura 125

#### Pronóstico Arima de orden (0,0,1)

#### Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean



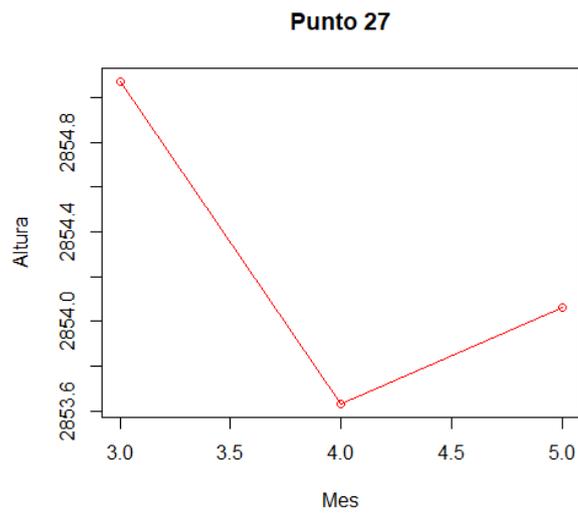
Fuente: La investigación

En la figura 125 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 26, donde se observa una ligera tendencia de baja según el pronóstico.

## PUNTO 27

### Figura 126

*Datos de Altura del punto 27 respecto a los meses muestreados*

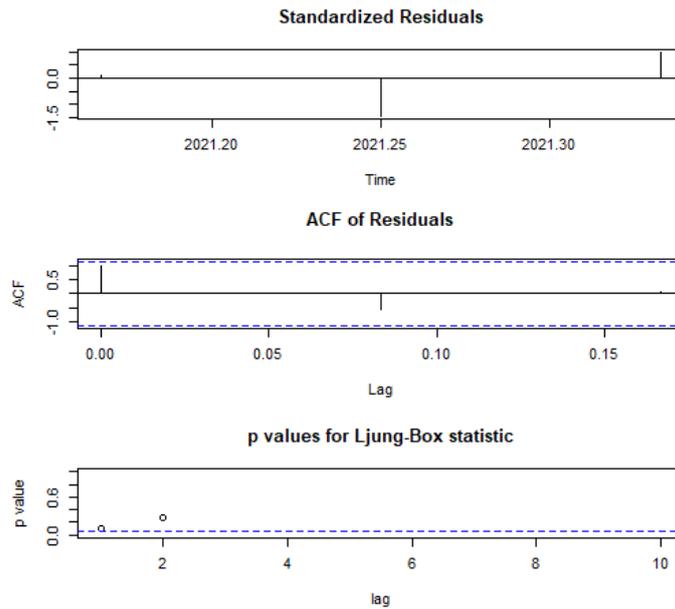


Fuente: La investigación

En la figura 126 se observan los datos iniciales de las alturas respecto a los meses en los que fueron tomados para el punto 27.

### Figura 127

*Diagnóstico del modelo*



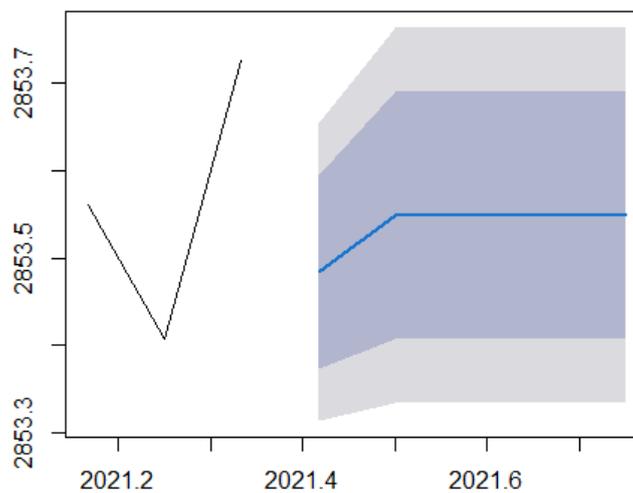
Fuente: La investigación

En la figura 127 se observan los datos que arroja el diagnóstico del modelo, en primer lugar se encuentra los residuos estandarizados, seguido de los residuos del coeficiente de autoregresión y finalmente se observa el valor de p obtenido mediante el box.plot de la forma Ljung-Box statistic para el punto 27.

### Figura 128

*Pronóstico Arima de orden (0,0,1)*

#### Forecasts from ARIMA(0,0,1) with non-zero mean



Fuente: La investigación

En la figura 128 se observa en color azul la predicción que realiza el modelo para los meses posteriores en el punto 27, para este caso el modelo realizado no se ajustó para el punto en cuestión por la cantidad de observaciones trabajadas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El estudio arrojó principalmente en el modelo predictivo que conformen pasen los meses el porcentaje de hundimiento mensual será mínimo e imperceptible y que los porcentajes reflejados mensualmente son menores al 1%. Estos resultados se pueden apreciar de mejor manera si el estudio se realiza con una frecuencia anual dónde se pueda obtener una amplia gama de datos para obtener un resultado más apegado a la realidad. Para obtener mejor resultados se concluyó que se debe realizar una proyección de entre cinco a diez años del modelo de hundimiento para obtener una mayor cantidad de datos disponibles, pues esta investigación ha demostrado que, si se realiza la proyección en periodos de corto plazo, el pronóstico no será el correcto, ya que se despliegan los mismos datos y en el gráfico solamente se visualiza una línea recta, lo que significa que no se obtendrá un pronóstico verdadero y apegado a la realidad del sector.

Este estudio ha permitido que la metodología de trabajo BIM cree una fusión entre receptores GPS, UAV, Pix4D y un software Revit para generar un modelo tridimensional coherente que asemeje la zona de estudio, sin embargo, se ha concluido que a mayor cantidad de imágenes recolectadas a una misma altura mayor la resolución de la calidad de la nube de puntos

En cuanto al uso y aplicación de UAVs y GPS para el desarrollo de la metodología del cálculo de hundimientos se determinó que estas herramientas de teledetección son efectivas para obtener información de los hundimientos en la zona de estudio. Otra ventaja que se concluyó fue la de poder obtener datos espacialmente continuos, con gran precisión. Además de que la utilización de los UAVs te permite realizar mapeos, monitoreos, reconocimientos y análisis de los peligros que existen en torno al fenómeno

de hundimientos y subsidencias aplicando estas herramientas con otros programas en conjunto.

Según la información recolectada podemos determinar que el estrato del suelo en la zona de estudio va a seguir compactándose con el pasar de los años, con base a situaciones similares sucedidas en otros países algunos autores como el ingeniero geotécnico Eddie Bromhead de la Universidad de Londres y la revista ScienceAlert han mencionado que estos hechos o cambios pueden llegar a ser irreversibles, ya que el drenaje de aguas subterráneas ha provocado que el lecho lacustre sobre el que se asienta la zona se vaya secando cada vez más. Además, si se sigue realizando la construcción de infraestructura sin control ni los estudios adecuados, este fenómeno seguirá de una forma más acelerada. Incluso si los niveles de agua se elevaran, no se podría recuperar la mayor parte de la elevación perdida y la capacidad de almacenamiento perdida del acuífero, escriben los autores expertos en estos fenómenos. Lo explicado anteriormente se apega mucho a la realidad de Solanda ya que se observa que las casas se siguen asentando y hundiendo mientras más grandes son las construcciones, las viviendas más grandes empujan y afectan a las pequeñas provocando que el fenómeno de hundimiento se dé principalmente y con más frecuencia en aquellas que se encuentran ubicadas junto a construcciones de más de tres pisos.

Por lo tanto, se concluyó que un factor que no se debe dejar de lado es el grado descontrolado de expansión que tiene este sector sobre sus débiles estructuras y un tipo de suelo que se sigue y seguirá compactando con el pasar de los años.

Finalmente se puede concluir que la metodología realizada para el presente trabajo de investigación fue la adecuada ya que cada punto de la misma fue indispensable para obtener los resultados, además que esta metodología es excelente para trabajar con una

gran cantidad de datos y así obtener resultados muy certeros y viables, respecto a la línea de investigación que se desee estudiar.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda obtener una data mucho más extensa para que al momento de realizar el modelo predictivo se pueda visualizar de mejor manera la predicción, además de que nos brinde un resultado más ajustado al modelo. Además, es recomendable realizar un muestreo de mínimo 10 meses para recabar la mayor cantidad de información.

Para futuras investigaciones se debe tomar en cuenta que el número de fotografías que se puedan obtener del dron ya que, un mayor número nos ayudará a obtener una mejor calidad en la nube de puntos. Es decir, se recomienda realizar más capturas de imágenes con el dron para mejorar la calidad de la nube de puntos

Además de usar otras aplicaciones q permitan modificar y mejoren la calidad de visualización de nube como Autodesk Recap.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bucheli, J., & Realpe, G. (2018). *Estudio de Diagnóstico - Preliminar “Asentamientos de viviendas en el Barrio de Solanda, en la ciudad de Quito de la provincia de Pichincha”*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Universidad de las Américas Puebla. (2018). *Satélites*. Puebla: udlap.
- Yaprak, S., Yildirim, O., Susam, T., Inyurt, S., & Oguz, I. (2018). *The Role of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) In Monitoring Rapidly Occuring Landslides*. Turquía: European Geosciences Union.
- Alonso, S. (2019). El BIM en Latinoamérica en 2020. *Editeca*.
- AristaSur. (2019). Qué es el sistema de posicionamiento GLONASS. *AristaSur*.
- Ávila, D., & Cruz, D. (2020). Sobre los Sistemas Satelitales de Navegación Global: nociones básicas para ecólogos. *ResearchGate*.
- Ayala Ramírez, A., & Hasbun Bardales, M. (2012). *Aplicaciones y uso de la tecnología de GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado*. San Salvador : Universidad de El Salvador.
- AZIMUT Marine. (s.f.). *Sistema de posicionamiento global GPS*. Obtenido de AZIMUT Marine: <https://www.azimutmarine.es/sistema-posicionamiento-gps>
- Blanza, A. L. (2019). Estudio del uso de drones en el flujo de trabajo BIM. Obtenido de [file:///C:/Users/Jonathan/Downloads/Estudio%20del%20uso%20de%20drones%20en%20el%20flujo%20de%20trabajo%20BIM%20\(Building%20Information%20Modeling\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Jonathan/Downloads/Estudio%20del%20uso%20de%20drones%20en%20el%20flujo%20de%20trabajo%20BIM%20(Building%20Information%20Modeling)%20(1).pdf)
- Bucheli, J. (2018). Asentamientos de viviendas en el Barrio de Solanda, en la ciudad de Quito de la provincia de Pichincha. Obtenido de [http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-06-25/V.%20Informe%20Secretar%C3%ADa%20de%20Seguridad%20y%20Gobernabilidad/Anexos/DOCUMENTOS%20PUCE/DIAGNOSTICO%20SOLANDA](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202019-2023/Sesiones%20de%20Concejo/2019/Sesi%C3%B3n%20Ordinaria%202019-06-25/V.%20Informe%20Secretar%C3%ADa%20de%20Seguridad%20y%20Gobernabilidad/Anexos/DOCUMENTOS%20PUCE/DIAGNOSTICO%20SOLANDA)
- Campos, F. (2018). *Análisis de series temporales en R. ARIMA*. Diego Calvo.
- Cantos, Ó. D. (2015). *Drones y su aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo*. España: Universidad Miguel Hernández.
- Chen, Y., & Zhang, J. (2019). APPLICATIONS OF BIM AND UAV TO CONSTRUCTION SAFETY. Obtenido de <http://smart-laboratory.org/publications/ChenCSCE2019.pdf>

- Cupuerán Yánez, M. (2016). *Evaluación por subsidencia en la zona de Turubamba, Sur de Quito*. Quito: EPN.
- CUPUERÁN, M. I. (2016). EVALUACIÓN DEL RIESGO POR SUBSIDENCIA EN LA ZONA DE TURUBAMBA, SUR DE QUITO, COMO APORTE AL DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE GESTION DE RIESGOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. Obtenido de file:///C:/Users/Jonathan/Downloads/CD-7338%20(2).pdf
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología subterránea*. Barcelona: Omega.
- Deutsche Welle. (2021). Ciudad de México se hunde a ritmo alarmante y no se detendrá pronto, según estudio. *Deutsche Welle*, 12.
- DGAC. (2015). *Resolución 251-2015*.
- DJI. (2021). *PHANTOM 4 PRO*. Obtenido de <https://www.dji.com/phantom-4-pro>
- Editeca. (2019). *BIM*. Obtenido de <https://editeca.com/evento-bim-on/>
- Empresa Pública Nacional de Hábitat y Vivienda EP. (2015). *Estudio de suelos para el desarrollo de proyectos habitacionales*. Quito.
- Escuela Politécnica Nacional. (2018). *Evaluación y Metodología de Evaluación de Vulnerabilidad ante Subsidencias de suelos y sismos en el sector Solanda zona 1 de la ciudad de Quito, Ecuador*. Quito: EPN.
- E-Survey. (2020). *E300 Pro\_Datasheet*. Chile: BMPRenta.
- eSurvey GN. (2021). *eSurvey E300PRO*. Obtenido de <https://esurvey-gnss.com/product/landsurvey/e300pro>
- EVREN\_b. (2012). *Modelo Conceptual. Estudio de Climatología, Hidrología, Hidrogeología, y Bombeo para el Proyecto Metro Quito*. Quito: Entregable 1.
- Feininger, T. (1983). *The metamorphic basement of Ecuador*.
- Fernández, S. d. (2012). *Series Temporales: Modelo Arima*. Madrid: Unuversidad Autónoma de Madrid.
- FUNEPSA. (2015). *Actualización de la Zonificación por Amenaza de Deslizamiento en el Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria General de Seguridad y Gobernabilidad*. Quito.
- Gallego, J., Rodríguez, A., Mínguez, J., & Jiménez, F. (2018). *Modelos ARIMA para la predicción del gasto conjunto de oxígeno de vuelo y otros gases en el Ejército del Aire*. Madrid.
- Guadalajara, C. O. (2017). *Incidencia del BIM en el proceso proyecto-construcción de arquitectura*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia : <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102466/OSCA%20-%20EGA-F0097%20Incidencia%20del%20BIM%20en%20el%20proceso%20proyecto-construcci%C3%B3n%20de%20arquitectura%3A%20una%20vivi....pdf?sequence=1>

- Hernández, J. (2010). *Sistemas de comunicación por satélite usados en los sistemas de navegación aeronáuticos*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid.
- López, P. (18 de Enero de 2021). Amenaza global, la subsidencia de suelos. *Gaceta UNAM*.
- Lubong, A. (2019). *Estudio del uso de drones en el flujo de trabajo BIM*. San Cristóbal de la Laguna: Universidad de la Laguna.
- Moreno, C. (2013). *Hundimiento de Suelos*. Guayana: Slideshare.
- Netcoretechno. (2015). *Software de oficina Trimble Business Center*.
- Osorio, M. (2010). *Manual de uso GPS*.
- Peñañiel Aguilar, L. (2009). *Geología y análisis del recurso hídrico subterráneo de la subcuenca del sur de Quito*. Quito.
- Pix4D SA. (2021). *PIX4Dmapper*.
- PUEYO, L. (1991). *Satélites geodésicos y de teledetección*.
- RENDERFACTORY. (2020). *Autodesk, REVIT*. Obtenido de <https://www.rendersfactory.es/que-es-revit-de-autodesk-y-para-que-sirve/>
- Rodas, K., & Sigcho, L. (2016). *Diseño de un sistema de telegestión y procesos en línea, para mejorar la logística de la empresa "Altura S.A"*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Rodriguez, I. (17 de Diciembre de 2019). *Uso de drones para el sector de la construcción*. Obtenido de República Inmobiliaria: <https://republicainmobiliaria.com/editorial/uso-de-drones-para-el-sector-de-la-construccion/>
- Rossi, W., Tanteri, L., Tofani, V., Vannocci, P., Moretti, S., & Casagli, N. (2018). *Levantamientos UAV multitemporales para cartografía y caracterización de deslizamientos de tierra*. SpringerLink.
- Ruwana. (2020). *Undet for SketchUP*. Obtenido de <http://www.ruwana.com/productos/undet-para-sketchup/>
- Salazar Pino, M., Romero Paz, I., & Rodriguez Ramos, J. (1989). *Cambios en las estrategias de vida de los habitantes del programa Solanda a partir de la adjudicación de la vivienda*. Quito: FLACSO .
- Secretaria General de Seguridad y Gobernabilidad. (2018). *Determinación Preliminar de la Vulnerabilidad Física de las Edificaciones del Sector Solanda etapas 1 y 4*. Quito: Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos .
- Trimble. (2018). *SketchUp*.
- U.S. International Trade Commission. (2011). *Certain GPS Chips, Associated Software and Systems, and Products Containing Same*. DIANE Publishing.
- Valero, J. (2014). *GPS Diferencial*. SlideShare.

Villagómez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha)*. Quito: ResearchGate.

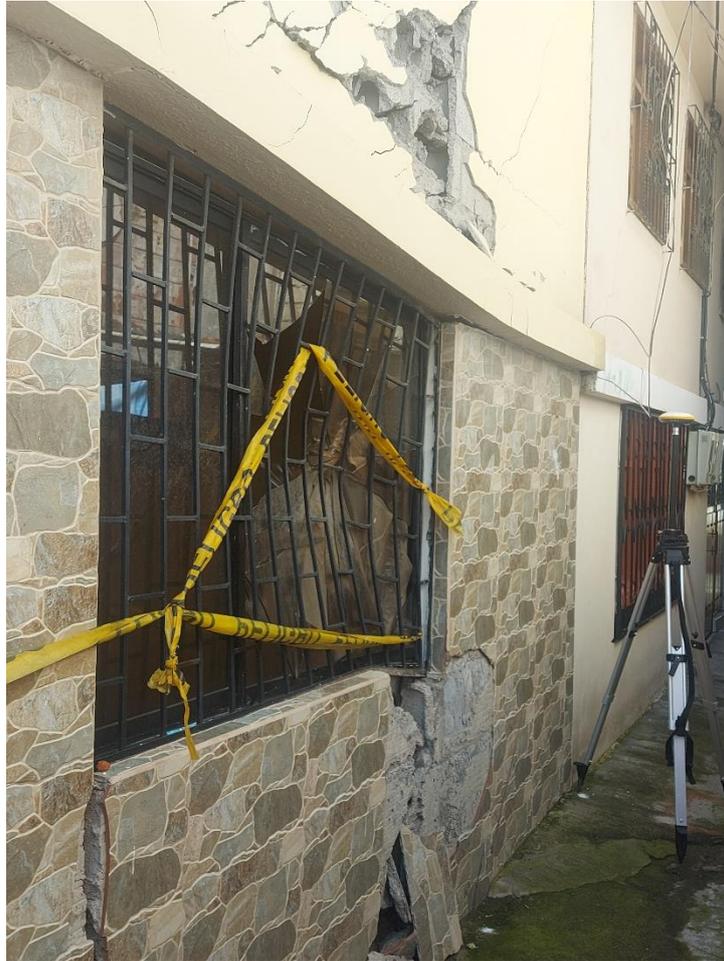
Xiaolong Xue, D. W. (s.f.). *Application of UAVs for Construction Site Safety Management*. 2019.

## 7. APÉNDICE / ANEXOS

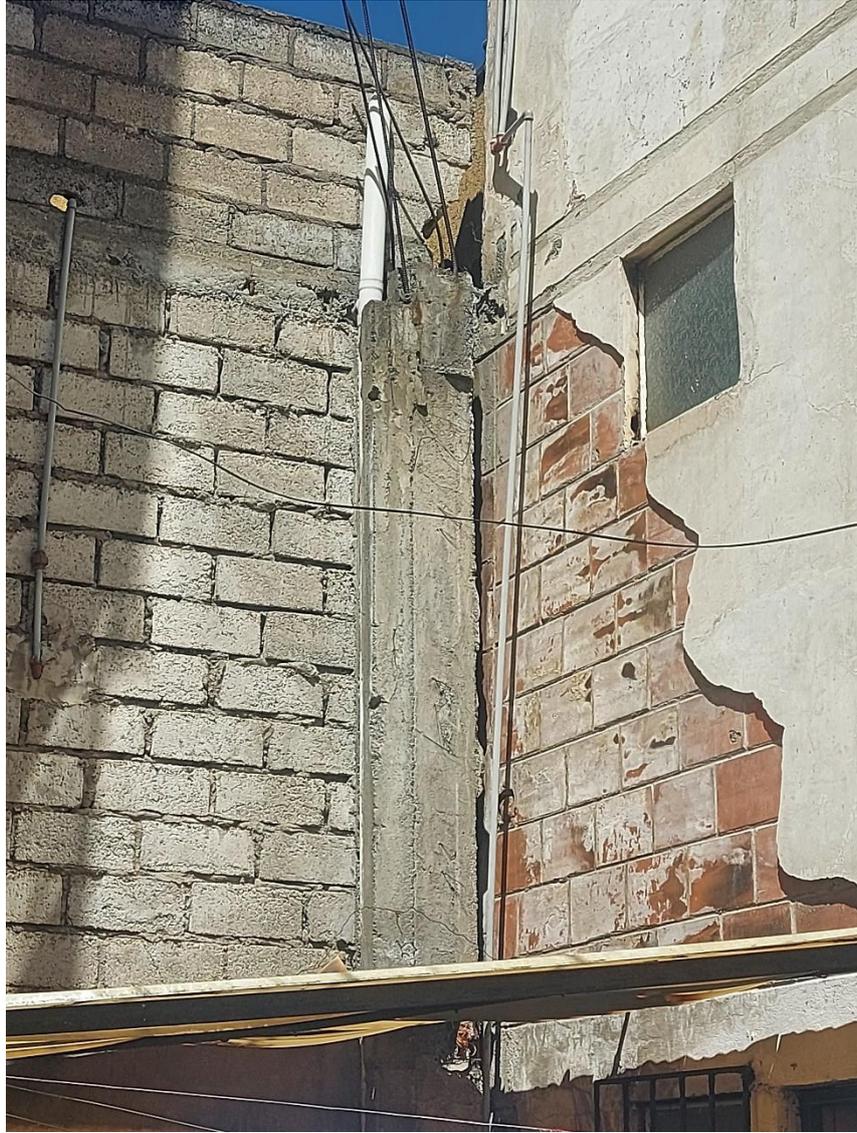
### 7.1. Anexo 1

Fotografías de las viviendas afectadas de Solanda – Sector 1

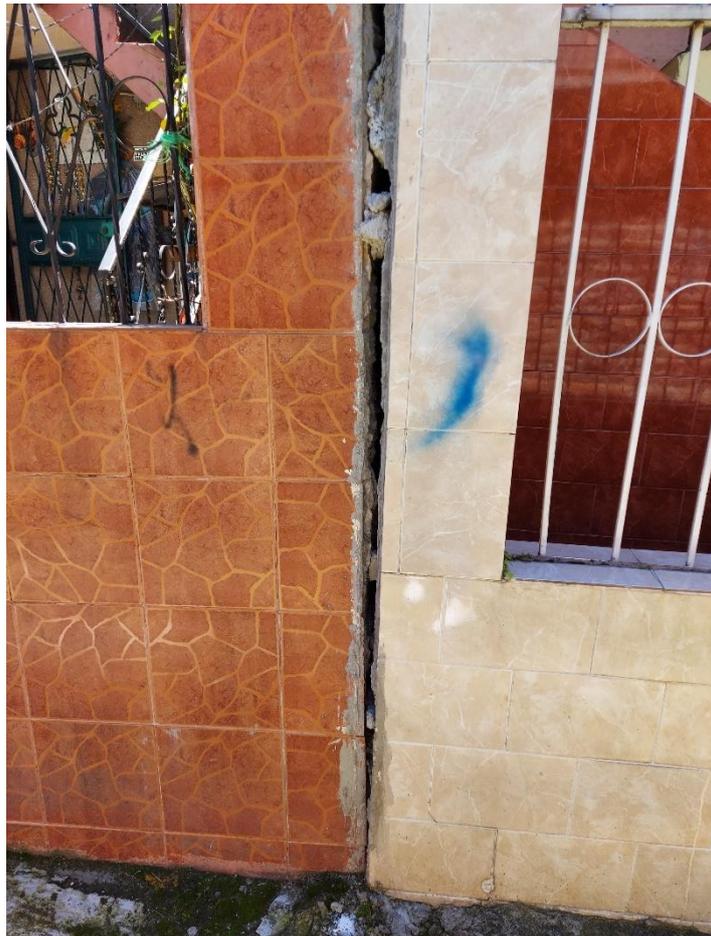
En las siguientes fotografías se observan los daños en las viviendas, como son daños en mampostería, ventanas, vidrios y estructura en general.















## 7.2. Anexo 2

Equipo plantado en la zona de estudio e instrumentos del equipo

GPS



TRIPODE



## CONTROLADORA



## GPS EN EL TRÍPODE

