

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes y motivación .....	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Solución propuesta .....	2
1.4 Objetivo general .....	3
1.5 Objetivos específicos.....	3
1.6 Alcances .....	3
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 Estudio exploratorio de datos .....	4
<i>2.1.1 Medidas de posición .....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.2 Medidas de dispersión .....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.3 Histograma y diagrama de caja .....</i>	<i>6</i>
2.2 Definición de Geoestadística y conceptos básicos de variables regionalizadas.....	7
<i>2.2.1 Variable regionalizada .....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2 Función aleatoria .....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.3 Momentos de una función aleatoria .....</i>	<i>9</i>
<i>2.2.4 Hipótesis de estacionaridad.....</i>	<i>11</i>
2.3 Herramientas geoestadísticas .....	12
<i>2.3.1 Variograma experimental.....</i>	<i>12</i>
2.3.1.1 Propiedades del variograma experimental .....	13
<i>2.3.2 Variograma modelado .....</i>	<i>13</i>
2.3.2.1 Propiedades variograma teórico .....	14
2.3.2.2 Comportamiento para distancias muy grandes .....	14
<i>2.3.3 Modelos elementales de variograma.....</i>	<i>15</i>
<i>2.3.4 Anisotropías .....</i>	<i>19</i>
2.4 Kriging .....	20
<i>2.4.1 Construcción del Kriging .....</i>	<i>20</i>
<i>2.4.2 Kriging con media conocida (Kriging Simple) .....</i>	<i>21</i>
2.4.2.1 Hipótesis .....	21
2.4.2.2 Determinación del estimador .....	22
2.4.2.3 Varianza de Kriging.....	24

<b>2.4.3 Kriging con media desconocida (Kriging Ordinario)</b> .....	<b>25</b>
2.4.3.1 Hipótesis .....	25
2.4.3.2 Determinación del estimador.....	25
2.4.3.3 Varianza de Kriging.....	27
<b>2.4.4 Kriging multivariable (Co-Kriging)</b> .....	<b>28</b>
<b>2.4.5 Kriging no lineal</b> .....	<b>29</b>
<b>2.4.6 Función indicadora</b> .....	<b>29</b>
<b>2.4.7 Kriging de Indicadores</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4.8 Validación cruzada</b> .....	<b>31</b>
2.5 Definición de Aprendizaje de Máquinas .....	32
<b>2.5.1 Tipos de tareas del Aprendizaje de Máquinas</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5.2 Aprendizaje supervisado, no supervisado y semisupervisado</b> .....	<b>33</b>
2.6 Redes Neuronales .....	33
<b>2.6.1 Arquitectura de redes neuronales artificiales</b> .....	<b>36</b>
<b>2.6.2 Algoritmo Backpropagation</b> .....	<b>38</b>
2.7 Regresión Logística.....	39
2.8 Overfitting y Underfitting de los modelos .....	44
2.9 Medidas de desempeño de modelos de estimación .....	45
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA</b> .....	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 4: DESARROLLO</b> .....	<b>49</b>
4.1 Descripción de la base de datos.....	49
4.2 Análisis exploratorio de datos .....	49
4.3 Composición de Sondeos .....	53
4.4 Nueva base de datos Post Composición de sondeos.....	56
4.5 Elección de los métodos de estimación.....	59
4.6 Despliegue de los sondeos en SGeMS .....	59
4.7 Variogramas .....	63
4.8 Métodos de Machine Learning.....	68
<b>4.8.1. Redes neuronales artificiales</b> .....	<b>68</b>
<b>4.8.2. Regresión logística</b> .....	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>71</b>
5.1 Estimación Kriging de Indicadores .....	71
5.2. Estimación Redes Neuronales Artificiales .....	77
5.3. Estimación Regresión Logística.....	85

5.4. Comparación de métodos de estimación .....	93
<b>Conclusión.....</b>	<b>104</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>107</b>
<b>Apéndice A: Análisis exploratorio de datos .....</b>	<b>109</b>
<b>Apéndice B: Variogramas experimentales y modelados.....</b>	<b>112</b>
<b>Apéndice C: Resultados de estimaciones.....</b>	<b>121</b>
<b>Apéndice D: Matriz de confusión y resultados estadísticos litologías .....</b>	<b>132</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Histograma de las concentraciones de cobalto (Emery,2013) .....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 2: Diagrama de caja para las concentraciones de cobalto (Emery,2013) .....</b>	<b>6</b>
<b>Ilustración 3: Esquema sintético de los conceptos e hipótesis que sustentan el modelo geostatístico (Emery,2013). .....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 4: Ejemplo de Variograma con meseta y alcance (Emery,2013) .....</b>	<b>15</b>
<b>Ilustración 5: Ejemplo de variograma con efecto pepita (Emery,2013).....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 6: Ejemplo de variograma esférico (Emery,2013.) .....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustración 7: Ejemplo de modelo exponencial (Emery,2013).....</b>	<b>17</b>
<b>Ilustración 8: Ejemplo de modelo gaussiano (Emery,2013) .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 9: Ejemplo de modelo anidado (Emery,2013) .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 10: Ejemplo de anisotropía geométrica (izquierda) y anisotropía zonal (derecha) (Emery,2013).....</b>	<b>19</b>
<b>Ilustración 11: Estructura de una neurona artificial y su analogía con una neurona biológica (Caparrini,2018). .....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 12: Estructura de una red neuronal artificial (Matich,2001) .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 13: Ejemplo de una red neuronal con conexión feedforward (Flórez &amp; Fernández,2008) .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 14: Ejemplos de una red neuronal con conexión feedforward (Flórez &amp; Fernández,2008) .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 15: Ejemplo de regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow,2000).....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 16: Ejemplo gráfico de overfitting y underfitting (Rodríguez-Sahagún 2018). .....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 17: Histograma Ley de Cobre (Elaboración propia).....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 18: Boxplot Ley de Cobre (Elaboración propia).....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 19: Sondajes leyes de Cobre (Vulcan) .....</b>	<b>54</b>
<b>Ilustración 20: Sondajes con leyenda de las leyes de Cobre (Vulcan) .....</b>	<b>54</b>
<b>Ilustración 21: Composición de sondajes con leyenda de las leyes de Cobre (Vulcan) .....</b>	<b>55</b>
<b>Ilustración 22: cantidad porcentual de datos para las litologías (elaboración propia).....</b>	<b>57</b>
<b>Ilustración 23: Sondajes desplegados junto con bloque de estimación para litología AND (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 24: Sondajes desplegados junto con bloque de estimación para litología S2 (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 25: Sondajes desplegados junto con bloque de estimación para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>62</b>

<b>Ilustración 26: Sondajes desplegados junto con bloque de estimación para litología Mixto (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>62</b>
<b>Ilustración 27: Variograma experimental 0° para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>64</b>
<b>Ilustración 28: Variograma experimental 45° para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>65</b>
<b>Ilustración 29: Variograma experimental 90° para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>65</b>
<b>Ilustración 30: Variograma experimental 135° para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>66</b>
<b>Ilustración 31: Variograma experimental omnidireccional para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>66</b>
<b>Ilustración 32: Variograma modelado omnidireccional para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>67</b>
<b>Ilustración 33: Flujo modelo de redes neuronales artificiales (elaborado en Orange Canvas).</b> ....	<b>69</b>
<b>Ilustración 34: Flujo modelo de regresión logística (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>70</b>
<b>Ilustración 35: Vista de frente Kriging de indicadores para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>71</b>
<b>Ilustración 36: Vista en planta Kriging de indicadores para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>72</b>
<b>Ilustración 37: Varianza Kriging de indicadores para litología AND (elaborado en SGeMS).</b> .....	<b>73</b>
<b>Ilustración 38: Vista de frente Kriging de indicadores para litología S2 (elaborado en SGeMS).</b>	<b>73</b>
<b>Ilustración 39: Vista en planta Kriging de indicadores para litología S2 (elaborado en SGeMS).</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 40: Varianza Kriging de indicadores para litología S2 (elaborado en SGeMS).</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 41: Plano XY redes neuronales datos de entrenamiento para litología AND (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>77</b>
<b>Ilustración 42: Plano XZ redes neuronales datos de entrenamiento para litología AND (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>78</b>
<b>Ilustración 43: Plano XY redes neuronales datos de prueba para litología AND (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>79</b>
<b>Ilustración 44: Plano XZ redes neuronales datos de prueba para litología AND (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>80</b>
<b>Ilustración 45: Plano XY redes neuronales datos de entrenamiento para litología S2 (elaborado en Orange Canvas)</b> .....	<b>81</b>
<b>Ilustración 46: Plano XZ redes neuronales datos de entrenamiento para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>82</b>
<b>Ilustración 47: Plano XY redes neuronales datos de prueba para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>83</b>
<b>Ilustración 48: Plano XZ redes neuronales datos de prueba para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>84</b>
<b>Ilustración 49: Plano XY regresión logística datos de entrenamiento para litología AND (elaborado en Orange Canvas).</b> .....	<b>85</b>

<b>Ilustración 50: Plano XZ regresión logística datos de entrenamiento para litología AND (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>86</b>
<b>Ilustración 51: Plano XY regresión logística datos de prueba para litología AND (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>87</b>
<b>Ilustración 52: Plano XZ regresión logística datos de prueba para litología AND (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>88</b>
<b>Ilustración 53: Plano XY regresión logística datos de entrenamiento para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>89</b>
<b>Ilustración 54: Plano XZ regresión logística datos de entrenamiento para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>89</b>
<b>Ilustración 55: Plano XY regresión logística datos de prueba para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 56: Plano XZ regresión logística datos de prueba para litología S2 (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 57: Gráfico de barras de la litología de tipo AND, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>94</b>
<b>Ilustración 58: Gráfico de barras de la litología de tipo S2, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>95</b>
<b>Ilustración 59: Gráfico de barras de la litología de tipo HBX, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>96</b>
<b>Ilustración 60: Gráfico de barras de la litología de tipo Mixto, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>97</b>
<b>Ilustración 61: Gráfico de barras de Métricas de Desempeño para la litología de tipo AND, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>99</b>
<b>Ilustración 62: Gráfico de barras de Métricas de Desempeño para la litología de tipo S2, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>99</b>
<b>Ilustración 63: Gráfico de barras de Métricas de Desempeño para la litología de tipo HBX, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>100</b>
<b>Ilustración 64: Gráfico de barras de Métricas de Desempeño para la litología de tipo Mixto, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>101</b>
<b>Ilustración 65: Gráfico de barras de Métricas de Desempeño para el promedio de todos los tipos de litología, para los 3 tipos de métodos (elaboración propia).....</b>	<b>102</b>
<b>Ilustración A.1: Histograma Ley de Plata (Elaboración propia).....</b>	<b>109</b>
<b>Ilustración A.2: Boxplot Ley de Plata (Elaboración propia).....</b>	<b>110</b>
<b>Ilustración A.3: Histograma Ley de Oro (Elaboración propia).....</b>	<b>111</b>
<b>Ilustración A.4: Boxplot Ley de Oro (Elaboración propia).....</b>	<b>111</b>
<b>Ilustración B.1: Variograma experimental 0° para litología S2 (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>112</b>
<b>Ilustración B.2: Variograma experimental 45° para litología S2 (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>112</b>

<b>Ilustración B.3: Variograma experimental 90° para litología S2 (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración B.4: Variograma experimental 135° para litología S2 (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>113</b>
<b>Ilustración B.5: Variograma experimental omnidireccional para litología S2 (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración B.6: Variograma modelado para litología S2 (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>114</b>
<b>Ilustración B.7: Variograma experimental 0° para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>115</b>
<b>Ilustración B.8: Variograma experimental 45° para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>115</b>
<b>Ilustración B.9: Variograma experimental 90° para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>116</b>
<b>Ilustración B.10: Variograma experimental 135° para litología HBX (elaborado en SGeMS)..</b>	<b>116</b>
<b>Ilustración B.11: Variograma experimental omnidireccional para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>117</b>
<b>Ilustración B.12: Variograma modelado para litología HBX (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>117</b>
<b>Ilustración B.13: Variograma experimental 0° para litología Mixto (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>118</b>
<b>Ilustración B.14: Variograma experimental 45° para litología Mixto (elaborado en SGeMS)....</b>	<b>118</b>
<b>Ilustración B.15: Variograma experimental 90° para litología Mixto (elaborado en SGeMS)....</b>	<b>119</b>
<b>Ilustración B.16: Variograma experimental 135° para litología Mixto (elaborado en SGeMS). </b>	<b>119</b>
<b>Ilustración B.17: Variograma experimental omnidireccional para litología Mixto (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>120</b>
<b>Ilustración B.18: Variograma modelado para litología Mixto (elaborado en SGeMS).....</b>	<b>120</b>
<b>Ilustración C.1: Vista de frente Kriging de indicadores para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>121</b>
<b>Ilustración C.2: Vista en planta Kriging de indicadores para litología HBX (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>121</b>
<b>Ilustración C.3: Varianza Kriging de indicadores para litología HBX (elaborado en SGeMS). </b>	<b>122</b>
<b>Ilustración C.4: Vista de frente Kriging de indicadores para litología Mixto (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>122</b>
<b>Ilustración C.5: Vista en planta Kriging de indicadores para litología Mixto (elaborado en SGeMS). .....</b>	<b>123</b>
<b>Ilustración C.6: Varianza Kriging de indicadores para litología Mixto (elaborado en SGeMS). </b>	<b>123</b>
<b>Ilustración C.7: Plano XY redes neuronales datos de entrenamiento para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>124</b>
<b>Ilustración C.8: Plano XZ redes neuronales datos de entrenamiento para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>124</b>
<b>Ilustración C.9: Plano XY redes neuronales datos de prueba para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>125</b>
<b>Ilustración C.10: Plano XZ redes neuronales datos de prueba para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>125</b>

<b>Ilustración C.11: Plano XY redes neuronales datos de entrenamiento para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>126</b>
<b>Ilustración C.12: Plano XZ redes neuronales datos de entrenamiento para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>126</b>
<b>Ilustración C.13: Plano XY redes neuronales datos de prueba para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>127</b>
<b>Ilustración C.14: Plano XZ redes neuronales datos de prueba para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>127</b>
<b>Ilustración C.15: Plano XY regresión logística datos de entrenamiento para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>128</b>
<b>Ilustración C.16: Plano XZ regresión logística datos de entrenamiento para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>128</b>
<b>Ilustración C.17: Plano XY regresión logística datos de prueba para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración C.18: Plano XZ regresión logística datos de prueba para litología HBX (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración C.19: Plano XY regresión logística datos de entrenamiento para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>130</b>
<b>Ilustración C.20: Plano XZ regresión logística datos de entrenamiento para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>130</b>
<b>Ilustración C.21: Plano XY regresión logística datos de prueba para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>131</b>
<b>Ilustración C.22: Plano XZ regresión logística datos de prueba para litología Mixto (elaborado en Orange Canvas).....</b>	<b>131</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Ejemplo de Matriz de confusión para caso de 2x2 (elaboración Propia).....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 2: Estadísticas básicas ley de Cobre (Elaboración propia).....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 3: Estadísticas básicas ley de Cobre sin datos atípicos (Elaboración propia).....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4: Estadísticas básicas ley de Cobre compositos (Elaboración propia).....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 5: cantidad de datos para litologías agrupadas (elaboración propia). ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 6: cantidad de datos para litologías agrupadas (elaboración propia). ....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 7: Ejemplo de método One Hot Encoding a la base de datos (Elaboración propia) .....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 8: Mínimos, máximos y rango según coordenada (elaboración propia). ....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 9: Dimensiones y cantidad de bloques según coordenada (elaboración propia). ....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 10: Parámetros del paso de Variogramas experimentales (elaboración propia).....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 11: Parámetros de las direcciones de los Variogramas experimentales (elaboración propia). .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 12: Parámetros redes neuronales artificiales (elaboración propia). ....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 13: Matriz de confusión Kriging de indicadores para litología AND (elaboración propia).75</b>	
<b>Tabla 14: Resultados estadísticos Kriging de indicadores para litología AND (elaboración propia). ....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 15: Matriz de confusión Kriging de indicadores para litología S2 (elaboración propia). ...</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 16: Resultados estadísticos Kriging de indicadores para litología S2 (elaboración propia). .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 17: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología AND (elaboración propia). .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla 18: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología AND (elaboración propia). ....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 19: Matriz de confusión datos de prueba para litología AND (elaboración propia).....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 20: Resultados estadísticos datos de prueba para litología AND (elaboración propia).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 21: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología S2 (elaboración propia)....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 22: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología S2 (elaboración propia). .....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 23: Matriz de confusión datos de prueba para litología S2 (elaboración propia). ....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 24: Resultados estadísticos datos de prueba para litología S2 (elaboración propia). ....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 25: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología AND (elaboración propia). .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 26: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología AND (elaboración</b>	

propia). .....	86
<b>Tabla 27: Matriz de confusión datos de prueba para litología AND (elaboración propia).</b> .....	<b>88</b>
<b>Tabla 28: Resultados estadísticos datos de prueba para litología AND (elaboración propia).</b> .....	<b>88</b>
<b>Tabla 29: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología S2 (elaboración propia).</b> ....	<b>90</b>
<b>Tabla 30: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología S2 (elaboración propia).</b> .....	<b>90</b>
<b>Tabla 31: Matriz de confusión datos de prueba para litología S2 (elaboración propia).</b> .....	<b>92</b>
<b>Tabla 32: Resultados estadísticos datos de prueba para litología S2 (elaboración propia).</b> .....	<b>92</b>
<b>Tabla 33: Matriz de confusión comparación métodos de estimación para litología AND (elaboración propia).</b> .....	<b>93</b>
<b>Tabla 34: Matriz de confusión comparación métodos de estimación para litología S2 (elaboración propia).</b> .....	<b>95</b>
<b>Tabla 35: Matriz de confusión comparación métodos de estimación para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>96</b>
<b>Tabla 36: Matriz de confusión comparación métodos de estimación para litología Mixto (elaboración propia).</b> .....	<b>97</b>
<b>Tabla 37: Resultados estadísticos comparación métodos de estimación para todas las litologías (elaboración propia).</b> .....	<b>98</b>
<b>Tabla 38: Resultados estadísticos comparación métodos de estimación para todas las litologías (elaboración propia).</b> .....	<b>102</b>
<b>Tabla A.1: Estadísticas Básicas Ley de Plata (Elaboración propia)</b> .....	<b>109</b>
<b>Tabla A.2: Estadísticas Básicas Ley de Oro (Elaboración propia)</b> .....	<b>110</b>
<b>Tabla D.1: Matriz de confusión Kriging de indicadores para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>132</b>
<b>Tabla D.2: Resultados estadísticos Kriging de indicadores para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>132</b>
<b>Tabla D.3: Matriz de confusión Kriging de indicadores para litología Mixto (elaboración propia).</b> .....	<b>132</b>
<b>Tabla D.4: Resultados estadísticos Kriging de indicadores para litología Mixto (elaboración propia).</b> .....	<b>133</b>
<b>Tabla D.5: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>133</b>
<b>Tabla D.6: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>133</b>
<b>Tabla D.7: Matriz de confusión datos de prueba para litología HBX (elaboración propia).</b> .....	<b>133</b>
<b>Tabla D.8: Resultados estadísticos datos de prueba para litología HBX (elaboración propia).</b> ..	<b>134</b>
<b>Tabla D.9: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología Mixto (elaboración</b>	

propia). .....	134
<b>Tabla D.10: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología Mixto (elaboración propia). .....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla D.11: Matriz de confusión datos de prueba para litología Mixto (elaboración propia). ...</b>	<b>134</b>
<b>Tabla D.12: Resultados estadísticos datos de prueba para litología Mixto (elaboración propia). .....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla D.13: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología HBX (elaboración propia). .....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla D.14: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología HBX (elaboración propia). .....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla D.15: Matriz de confusión datos de prueba para litología HBX (elaboración propia).....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla D.16: Resultados estadísticos datos de prueba para litología HBX (elaboración propia). 135</b>	<b>135</b>
<b>Tabla D.17: Matriz de confusión datos de entrenamiento para litología Mixto (elaboración propia). .....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla D.18: Resultados estadísticos datos de entrenamiento para litología Mixto (elaboración propia). .....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla D.19: Matriz de confusión datos de prueba para litología Mixto (elaboración propia). ...</b>	<b>136</b>
<b>Tabla D.20: Resultados estadísticos datos de prueba para litología Mixto (elaboración propia). .....</b>	<b>136</b>

# ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: valor esperado de una función aleatoria (Emery,2013) .....	9
Ecuación 2: varianza de una función aleatoria (Emery,2013) .....	9
Ecuación 3: covarianza de una función aleatoria (Emery,2013).....	10
Ecuación 4: Correlograma de una función aleatoria (Emery,2013).....	10
Ecuación 5: Semi-variograma de una función aleatoria (Emery,2013).....	10
Ecuación 6: fórmula variograma experimental (Emery,2013).....	12
Ecuación 7: propiedad 1 variograma experimental (Emery,2013).....	13
Ecuación 8: propiedad 2 variograma experimental (Emery,2013).....	13
Ecuación 9: propiedad 1 variograma teórico (Emery,2013) .....	14
Ecuación 10: propiedad 2 variograma teórico (Emery,2013) .....	14
Ecuación 11: propiedad 3 variograma teórico (Emery,2013) .....	14
Ecuación 12: fórmula modelo efecto pepita (Emery,2013).....	15
Ecuación 13: fórmula modelo esférico (Emery,2013) .....	16
Ecuación 14: fórmula modelo exponencial (Emery,2013). .....	17
Ecuación 15: fórmula modelo gaussiano (Emery,2013).....	17
Ecuación 16: ejemplo de modelos anidados (Emery,2013).....	18
Ecuación 17: restricción de linealidad para la construcción del Kriging (Emery,2013) .....	20
Ecuación 18: restricción de Insesgo para la construcción del Kriging (Emery,2013).....	21
Ecuación 19: restricción de optimalidad para la construcción del Kriging (Emery,2013).....	21
Ecuación 20: hipótesis para Kriging con media conocida (Emery,2013).....	21
Ecuación 21: linealidad del Kriging simple (Emery,2013) .....	22
Ecuación 22: Insesgo del Kriging simple (Emery,2013).....	22
Ecuación 23: propiedad de valor esperado del Kriging simple (Emery,2013).....	22
Ecuación 24: optimalidad del Kriging simple (Emery,2013).....	22
Ecuación 25: Inicio de reglas de cálculo para el Kriging simple (Emery,2013) .....	22
Ecuación 26: Desarrollo de reglas de cálculo para Kriging simple (Emery,2013) .....	23
Ecuación 27: continuación 1 desarrollo de reglas de cálculo Kriging simple (Emery,2013).....	23
Ecuación 28: continuación 2 desarrollo de reglas de cálculo Kriging simple (Emery,2013).....	23
Ecuación 29: sistema de ecuaciones de reglas de cálculo Kriging simple (Emery,2013) .....	23
Ecuación 30: fórmula final para el estimador Kriging simple (Emery,2013).....	24

<b>Ecuación 31: varianza para Kriging simple (Emery,2013) .....</b>	<b>24</b>
<b>Ecuación 32: comparación varianza de Kriging versus varianza a priori para Kriging simple (Emery,2013).....</b>	<b>24</b>
<b>Ecuación 33: hipótesis para Kriging con media desconocida (Emery,2013) .....</b>	<b>25</b>
<b>Ecuación 34: linealidad del Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>25</b>
<b>Ecuación 35: Insesgo del Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>25</b>
<b>Ecuación 36: valor esperado nulo del Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>25</b>
<b>Ecuación 37: optimalidad del Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 38: Inicio de reglas de cálculo para el Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 39: desarrollo de reglas de cálculo para el Kriging ordinario (Emery,2013).....</b>	<b>26</b>
<b>Ecuación 40: sistema de ecuaciones de reglas de cálculo Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>27</b>
<b>Ecuación 41: desarrollo de sistema de ecuaciones de reglas de cálculo Kriging ordinario (Emery,2013).....</b>	<b>27</b>
<b>Ecuación 42: sistema de ecuaciones final para Kriging ordinario (Emery,2013).....</b>	<b>27</b>
<b>Ecuación 43: varianza para Kriging ordinario (Emery,2013) .....</b>	<b>27</b>
<b>Ecuación 44: variograma cruzado entre dos variables (Emery,2013).....</b>	<b>28</b>
<b>Ecuación 45: inferencia para variograma cruzado entre dos variables (Emery,2013).....</b>	<b>28</b>
<b>Ecuación 46: función indicadora para valores continuos (Journel,1983) .....</b>	<b>29</b>
<b>Ecuación 47: función indicadora para valores categóricos (Journel,1983). .....</b>	<b>30</b>
<b>Ecuación 48: propiedades para la función indicadora (Journel,1983).....</b>	<b>30</b>
<b>Ecuación 49: fórmula para Kriging de indicadores (Journel,1983) .....</b>	<b>30</b>
<b>Ecuación 50: Ejemplo de variable dicotómica regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000). 39</b>	<b>39</b>
<b>Ecuación 51: Probabilidad para regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000).....</b>	<b>39</b>
<b>Ecuación 52: Máxima verosimilitud para regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000) .....</b>	<b>40</b>
<b>Ecuación 53: otra forma de expresar máxima verosimilitud regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000) .....</b>	<b>40</b>
<b>Ecuación 54: Logaritmo de máxima verosimilitud regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000).....</b>	<b>40</b>
<b>Ecuación 55: ecuaciones de verosimilitud regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000) .....</b>	<b>41</b>
<b>Ecuación 56: punto de corte para las probabilidades de regresión logística (Hosmer &amp; Lemeshow, 2000) .....</b>	<b>41</b>
<b>Ecuación 57: Métrica de desempeño exactitud para matriz de confusión (elaboración propia). 46</b>	<b>46</b>
<b>Ecuación 58: Métrica de desempeño precisión para matriz de confusión (elaboración propia). 47</b>	<b>47</b>
<b>Ecuación 59: Métrica de desempeño sensibilidad para matriz de confusión (elaboración propia). .....</b>	<b>47</b>

**Ecuación 60: Métrica de desempeño especificidad para matriz de confusión (elaboración propia)**

..... 47