

Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR SISMOS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL  
PELIGRO Y EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE ILO EN  
EL AÑO 2018**

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia**

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo**

**Autor:**

**Chiok Torres, Alberto Octavio**

**Asesor**

**Rosales Vidal, José Luis**

**JURADO**

Mendoza García, José Tomas

Ballardo Reyes, Carlos Fernando

Martínez Cabrera, Rubén

**Lima - Perú**

**2022**

**DEDICATORIA**

A mis padres y mi hermana,  
quienes me apoyaron y animaron a  
culminar esta etapa de mi vida  
profesional. Son mi inspiración y  
fuerzas para avanzar en la vida.

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco de manera especial a mis padres, la Sra. Ana María Torres Solano y el Sr Alberto Martin Chiok Valle, quienes con su demostración valores y perseverancia, me enseñaron el camino correcto para finalizar mis metas profesionales.*

*A mi hermana Ana Azucena Chiok Torres, por sus consejos y palabras de aliento que me ayudaron a acercarme a mi lado más espiritual y perseverar en la finalización de esta investigación.*

*A mi Asesor Ing. José Luis Rosales Vidal, por su apoyo en el proceso de elaboración de la tesis, recomendaciones y aportes.*

*A mis amigas Cinthya Gálvez Chinchay y Rosa Estrella Chamorro por su sincera amistad y aliento, los cuales fueron de mucha ayuda emocional para la culminación de esta investigación.*

*Y finalmente al equipo del Proyecto de Ordenamiento Territorial de la provincia de Ilo, por el apoyo en la recopilación de información y el apoyo técnico, que gracias a sus aportes se pudo finalizar con este estudio.*

## INDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.1.1. Descripción del problema .....	18
1.1.2. Formulación del problema .....	19
1.2. ANTECEDENTES .....	19
1.2.1. Internacionales .....	19
1.2.2. Nacionales .....	22
1.3. OBJETIVOS.....	24
1.3.1. Objetivo General .....	24
1.3.2. Objetivos Específicos.....	24
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	24
1.5. HIPÓTESIS .....	25
1.5.1. Hipótesis general.....	25
<b>II.MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.1.1. Peligro. ....	26
2.1.2. Vulnerabilidad.....	27
2.1.3. Riesgo .....	28
2.1.4. Microzonificación Sísmica .....	29
2.1.5. Proceso del Análisis Jerárquico (AHP) .....	31

2.1.6. <i>Sistemas de Información Geográfica</i> .....	33
<b>III. MÉTODO</b> .....	<b>35</b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	35
3.1.1. <i>Nivel de investigación</i> .....	35
3.1.2. <i>Diseño</i> .....	35
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL .....	36
3.2.1. <i>Ámbito temporal</i> .....	36
3.2.2. <i>Ámbito territorial</i> .....	36
3.3. VARIABLES .....	40
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	41
3.4.1 <i>Población</i> .....	41
3.4.2 <i>Muestra</i> .....	42
3.5. INSTRUMENTOS.....	42
3.5.1. <i>Equipos</i> .....	42
3.5.2. <i>Software</i> .....	43
3.5.3. <i>Cartografía</i> .....	43
3.5.4. <i>Base de imágenes de satélite</i> .....	44
3.5.5. <i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	44
3.6. PROCEDIMIENTO .....	45
3.6.1. <i>Identificación y recopilación de información</i> .....	46
3.6.2. <i>Levantamiento y actualización de información</i> .....	48
3.6.3. <i>Análisis y elaboración de base de datos</i> .....	48
3.6.4. <i>Aplicación metodológica para la determinación del peligro y la vulnerabilidad</i> ....	50
3.7. ANÁLISIS DE DATOS .....	60
3.7.2. <i>Análisis de la vulnerabilidad</i> .....	61

3.7.3. <i>Estimación del riesgo</i> .....	62
3.8. CONSIDERACIONES ÉTICAS .....	63
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	<b>64</b>
4.1. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICO Y AMBIENTALES PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE ILO .....	64
4.1.1. <i>Caracterización de los factores condicionantes del peligro</i> .....	64
4.1.2. <i>Caracterización de los factores desencadenante del peligro</i> .....	74
4.1.3. <i>Caracterización del fenómeno</i> .....	79
4.1.4. <i>Determinación de la susceptibilidad</i> .....	81
4.1.5. <i>Cálculo de los valores del peligro</i> .....	96
4.1.6. <i>Resultados del Peligro</i> .....	99
4.2. CARACTERIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES FÍSICA Y SOCIAL PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LA CIUDAD DE ILO.....	104
4.2.1. <i>Caracterización de los elementos expuesto</i> .....	104
4.2.2. <i>Caracterización de la dimensión física de la vulnerabilidad</i> .....	111
4.2.3. <i>Caracterización de la dimensión social de la vulnerabilidad</i> .....	118
4.2.4. <i>Análisis de la dimensión física</i> .....	125
4.2.5. <i>Análisis de la dimensión social</i> .....	131
4.2.6. <i>Cálculo de los valores de la vulnerabilidad</i> .....	139
4.2.7. <i>Resultados de la vulnerabilidad</i> .....	143
4.3. CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE EL PELIGRO SÍSMICO Y LA VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN, INFRAESTRUCTURA, EQUIPAMIENTO DE SALUD Y EDUCATIVO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO POR SISMOS EN LA CIUDAD DE ILO.....	148
4.3.1. <i>Determinación de los valores del riesgo</i> .....	148

4.3.2. <i>Clasificación del riesgo</i> .....	149
4.3.3. <i>Resultados del riesgo a nivel de manzanas</i> .....	151
4.3.4. <i>Resultados de población en riesgo</i> .....	156
4.3.5. <i>Resultados de Centros educativos en riesgo</i> .....	156
4.3.6. <i>Resultado de Establecimientos de salud en riesgo</i> .....	159
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>161</b>
5.1. SOBRE LA CARACTERIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICO Y AMBIENTALES PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE PELIGRO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE ÍLO. ....	161
5.2. SOBRE LA CARACTERIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE LAS DIMENSIONES FÍSICA Y SOCIAL PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LA CIUDAD DE ÍLO.....	162
5.3. SOBRE EL CÁLCULO DE LA RELACIÓN ENTRE EL PELIGRO SÍSMICO Y LA VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN, INFRAESTRUCTURA, EQUIPAMIENTO DE SALUD Y EDUCATIVO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO POR SISMOS EN LA CIUDAD DE ÍLO.....	163
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>165</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>168</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>169</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Formula del cálculo del riesgo</i> .....	29
<b>Figura 2</b> <i>Matriz de riesgo para la determinación de niveles de riesgo</i> .....	29
<b>Figura 3</b> <i>Flujo metodológico para la toma de decisiones</i> .....	31
<b>Figura 4</b> <i>Escala de Saaty</i> .....	32
<b>Figura 5</b> <i>Área del casco urbano por distrito en la ciudad de Ilo</i> .....	36
<b>Figura 6</b> <i>Casco urbano de la ciudad de Ilo</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Sectores de la ciudad de Ilo</i> .....	39
<b>Figura 8</b> <i>Variables dependiente e independientes</i> .....	40
<b>Figura 9</b> <i>Población por distrito en la ciudad de Ilo</i> .....	42
<b>Figura 10</b> <i>Lista de capas cartográficas</i> .....	44
<b>Figura 11</b> <i>Lista de imágenes de satélite</i> .....	44
<b>Figura 12</b> <i>Formato de evaluación de vulnerabilidad por lote</i> .....	45
<b>Figura 13</b> <i>Etapas para la estimación del riesgo en la ciudad de Ilo</i> .....	46
<b>Figura 14</b> <i>Parámetros del peligro</i> .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Dimensiones y factores de la vulnerabilidad</i> .....	47
<b>Figura 16</b> <i>Flujo de trabajo para determinar el peligro</i> .....	49
<b>Figura 17</b> <i>Flujo de trabajo para el análisis de la vulnerabilidad</i> .....	49
<b>Figura 18</b> <i>Flujo de trabajo para el cálculo del riesgo y el análisis de los elementos expuestos</i> ....	50
<b>Figura 19</b> <i>Ejemplo de Matriz de comparación de pares</i> .....	51
<b>Figura 20</b> <i>Ejemplo de Matriz de normalización</i> .....	51
<b>Figura 21</b> <i>Ejemplo de cálculo del vector de priorización</i> .....	52
<b>Figura 22</b> <i>Cálculo del vector de suma ponderado</i> .....	52
<b>Figura 23</b> <i>Cálculo del Lambda Máximo</i> .....	53
<b>Figura 24</b> <i>Valores de IA según cantidad de descriptores</i> .....	53
<b>Figura 25</b> <i>Cálculo del factor condicionante</i> .....	54



<b>Figura 26</b> Cálculo del factor desencadenante .....	54
<b>Figura 27</b> Cálculo de la susceptibilidad .....	55
<b>Figura 28</b> Cálculo del fenómeno en evaluación.....	55
<b>Figura 29</b> Cálculo del peligro.....	56
<b>Figura 30</b> Niveles de riesgo .....	56
<b>Figura 31</b> Cálculo de la fragilidad física.....	57
<b>Figura 32</b> Cálculo de la Resiliencia física.....	57
<b>Figura 33</b> Cálculo de la dimensión física .....	57
<b>Figura 34</b> Cálculo de la fragilidad social.....	58
<b>Figura 35</b> Cálculo de la resiliencia social.....	58
<b>Figura 36</b> Cálculo de la dimensión social .....	58
<b>Figura 37</b> Cálculo de la vulnerabilidad.....	59
<b>Figura 38</b> Niveles de vulnerabilidad.....	59
<b>Figura 39</b> Cálculo del riesgo .....	60
<b>Figura 40</b> Niveles de riesgo .....	60
<b>Figura 41</b> Modelo de geoprocesamiento para la determinación del peligro.....	61
<b>Figura 42</b> Modelo de geoprocesamiento para el análisis de la vulnerabilidad .....	62
<b>Figura 43</b> Modelo de geoprocesamiento para el cálculo del riesgo.....	62
<b>Figura 44</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro geología .....	65
<b>Figura 45</b> Geología de la ciudad de Ilo .....	66
<b>Figura 46</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro geomorfología.....	67
<b>Figura 47</b> Geomorfología de la ciudad de Ilo.....	68
<b>Figura 48</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro suelo.....	69
<b>Figura 49</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro microzonificación sísmica .....	70
<b>Figura 50</b> Tipos de suelo según estudio geotécnico.....	72

<b>Figura 51</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro pendiente.....	73
<b>Figura 52</b> Pendientes de la ciudad de Ilo .....	74
<b>Figura 53</b> Característica de la falla de Chololo .....	75
<b>Figura 54</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro fallas .....	75
<b>Figura 55</b> Fallas en la ciudad de Ilo.....	76
<b>Figura 56</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro magnitud sísmica ....	77
<b>Figura 57</b> Magnitud sísmica en la ciudad de Ilo .....	78
<b>Figura 58</b> Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro aceleración sísmica	79
<b>Figura 59</b> Aceleración sísmica en la ciudad de Ilo.....	80
<b>Figura 60</b> Parámetros para determinar la susceptibilidad .....	81
<b>Figura 61</b> Matriz de comparación de pares para geología .....	82
<b>Figura 62</b> Matriz de normalización para la geología.....	82
<b>Figura 63</b> Valores para el parámetro geología .....	82
<b>Figura 64</b> Matriz de comparación de pares para geomorfología.....	83
<b>Figura 65</b> Matriz de normalización para la geomorfología .....	83
<b>Figura 66</b> Valores para el parámetro geomorfología.....	84
<b>Figura 67</b> Matriz de comparación de pares para suelos .....	85
<b>Figura 68</b> Matriz de normalización para suelos.....	85
<b>Figura 69</b> Valores para el parámetro suelos .....	85
<b>Figura 70</b> Matriz de comparación de pares para microzonificación .....	86
<b>Figura 71</b> Matriz de normalización para microzonificación.....	86
<b>Figura 72</b> Valores para el parámetro microzonificación .....	87
<b>Figura 73</b> Matriz de comparación de pares para pendientes .....	87
<b>Figura 74</b> Matriz de normalización para pendientes.....	88
<b>Figura 75</b> Valores para el parámetro pendientes .....	88
<b>Figura 76</b> Matriz de comparación de pares para parámetros.....	89

<i>Figura 77</i> Matriz de normalización para parámetros .....	89
<i>Figura 78</i> Valores para los parámetros evaluados.....	90
<i>Figura 79</i> Matriz de comparación de pares para el parámetro fallas.....	90
<i>Figura 80</i> Matriz de normalización para el parámetro fallas .....	91
<i>Figura 81</i> Valores para el parámetro fallas .....	91
<i>Figura 82</i> Matriz de comparación de pares para el parámetro magnitud sísmica .....	92
<i>Figura 83</i> Matriz de normalización para el parámetro magnitud sísmica.....	92
<i>Figura 84</i> Valores para el parámetro magnitud sísmica.....	93
<i>Figura 85</i> Matriz de comparación de pares para el parámetro aceleración sísmica.....	93
<i>Figura 86</i> Matriz de normalización para el parámetro aceleración sísmica .....	94
<i>Figura 87</i> Valores para el parámetro aceleración sísmica .....	94
<i>Figura 88</i> Incidencia de relación de consistencia para los factores condicionantes .....	95
<i>Figura 89</i> Incidencia de relación de consistencia para los factores desencadenantes .....	95
<i>Figura 90</i> Cálculo de los valores del factor condicionante.....	96
<i>Figura 91</i> Cálculo de los valores del factor condicionante .....	96
<i>Figura 92</i> Cálculo de los valores de la susceptibilidad.....	97
<i>Figura 93</i> Cálculo de los valores del peligro.....	97
<i>Figura 94</i> Matriz de clasificación del peligro.....	98
<i>Figura 95</i> Cantidad de lotes en peligro por sector en la ciudad Ilo.....	99
<i>Figura 96</i> Peligro en la ciudad de Ilo.....	102
<i>Figura 97</i> Lotes en peligro de la ciudad de Ilo.....	103
<i>Figura 98</i> Población a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo .....	105
<i>Figura 99</i> Distribución de lotes en la ciudad de Ilo .....	106
<i>Figura 100</i> Distribución de manzanas en la ciudad de Ilo.....	107
<i>Figura 101</i> Establecimientos de Salud en la ciudad de Ilo.....	108
<i>Figura 102</i> Centros educativos en la ciudad de Ilo .....	108

<b>Figura 103</b> Centro de salud en la ciudad de Ilo .....	109
<b>Figura 104</b> Centros educativos en la ciudad de Ilo .....	110
<b>Figura 105</b> Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro material de edificación .....	111
<b>Figura 106</b> Material de edificaciones predominante a nivel de lotes.....	112
<b>Figura 107</b> Clasificación del estado de conservación .....	113
<b>Figura 108</b> Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro estado de conservación .....	114
<b>Figura 109</b> Estado de edificaciones a nivel de lotes.....	115
<b>Figura 110</b> Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro altura de edificación .....	116
<b>Figura 111</b> Altura de edificaciones a nivel de lotes.....	117
<b>Figura 112</b> Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro grupos etarios por manzana.....	118
<b>Figura 113</b> Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro grupos densidad poblacional .....	118
<b>Figura 114</b> Grupo etario a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo .....	119
<b>Figura 115</b> Población a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo .....	120
<b>Figura 116</b> Nivel de estrato económico en la ciudad de Ilo .....	121
<b>Figura 117</b> Índice de pobreza en la ciudad de Ilo .....	122
<b>Figura 118</b> Nivel de estrato económico en la ciudad de Ilo .....	123
<b>Figura 119</b> Estratificación económica a nivel de manzanas per cápita por hogar en la ciudad de Ilo.....	124
<b>Figura 120</b> Matriz de comparación de pares para el estado de conservación.....	125
<b>Figura 121</b> Matriz de comparación de pares para el estado de conservación.....	126
<b>Figura 122</b> Matriz de normalización para el estado de conservación .....	126

<b>Figura 123</b>	<i>Valores para el parámetro estado de conservación.....</i>	<i>127</i>
<b>Figura 124</b>	<i>Matriz de comparación de pares para material de construcción .....</i>	<i>127</i>
<b>Figura 125</b>	<i>Matriz de normalización para el material de construcción.....</i>	<i>128</i>
<b>Figura 126</b>	<i>Valores para el parámetro material de construcción .....</i>	<i>128</i>
<b>Figura 127</b>	<i>Matriz de comparación de pares para altura de edificación.....</i>	<i>129</i>
<b>Figura 128</b>	<i>Matriz de normalización para altura de edificación.....</i>	<i>129</i>
<b>Figura 129</b>	<i>Valores para el parámetro altura de edificación.....</i>	<i>129</i>
<b>Figura 130</b>	<i>Matriz de comparación de pares para los parámetros evaluados.....</i>	<i>130</i>
<b>Figura 131</b>	<i>Matriz de normalización para altura de los parámetros evaluados.....</i>	<i>130</i>
<b>Figura 132</b>	<i>Valores para los parámetros evaluados.....</i>	<i>131</i>
<b>Figura 133</b>	<i>Parámetros para el análisis de dimensión social clasificados por factores de fragilidad y resiliencia.....</i>	<i>131</i>
<b>Figura 134</b>	<i>Matriz de comparación de pares para el Grupo Etario.....</i>	<i>132</i>
<b>Figura 135</b>	<i>Matriz de normalización para el Grupo Etario .....</i>	<i>133</i>
<b>Figura 136</b>	<i>Valores para el parámetro grupo etario .....</i>	<i>133</i>
<b>Figura 137</b>	<i>Matriz de comparación de pares para la densidad poblacional.....</i>	<i>134</i>
<b>Figura 138</b>	<i>Matriz de normalización para la densidad poblacional .....</i>	<i>134</i>
<b>Figura 139</b>	<i>Valores para el parámetro densidad poblacional.....</i>	<i>135</i>
<b>Figura 140</b>	<i>Matriz de comparación de pares para la incidencia de pobreza.....</i>	<i>136</i>
<b>Figura 141</b>	<i>Matriz de normalización para la incidencia de pobreza .....</i>	<i>136</i>
<b>Figura 142</b>	<i>Valores para el parámetro incidencia de pobreza.....</i>	<i>136</i>
<b>Figura 143</b>	<i>Matriz de comparación de pares para el estrato económico.....</i>	<i>137</i>
<b>Figura 144</b>	<i>Matriz de normalización para el estrato económico.....</i>	<i>137</i>
<b>Figura 145</b>	<i>Valores para el parámetro incidencia de pobreza.....</i>	<i>138</i>
<b>Figura 146</b>	<i>Incidencia de relación de consistencia para la dimensión física.....</i>	<i>139</i>
<b>Figura 147</b>	<i>Incidencia de relación de consistencia para la dimensión social.....</i>	<i>139</i>

<b>Figura 148</b>	<i>Calculo de los valores de Fragilidad y Resiliencia física.....</i>	<i>140</i>
<b>Figura 149</b>	<i>Calculo de los valores de dimensión física .....</i>	<i>140</i>
<b>Figura 150</b>	<i>Calculo de los valores de Fragilidad y Resiliencia social.....</i>	<i>141</i>
<b>Figura 151</b>	<i>Calculo de los valores de dimensión social .....</i>	<i>141</i>
<b>Figura 152</b>	<i>Calculo de los valores de vulnerabilidad.....</i>	<i>142</i>
<b>Figura 153</b>	<i>Matriz de clasificación de la vulnerabilidad.....</i>	<i>143</i>
<b>Figura 154</b>	<i>Cantidad de lotes vulnerables por sector en la ciudad Ilo.....</i>	<i>144</i>
<b>Figura 155</b>	<i>Vulnerabilidad de lotes en la ciudad de Ilo .....</i>	<i>147</i>
<b>Figura 156</b>	<i>Matriz para el cálculo del riesgo .....</i>	<i>148</i>
<b>Figura 157</b>	<i>Cantidad de lotes en riesgo por sector en la ciudad Ilo .....</i>	<i>148</i>
<b>Figura 158</b>	<i>Matriz de clasificación del riesgo .....</i>	<i>149</i>
<b>Figura 159</b>	<i>Cantidad de manzanas en riesgo por sector en la ciudad Ilo .....</i>	<i>151</i>
<b>Figura 160</b>	<i>Riesgo a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo.....</i>	<i>155</i>
<b>Figura 161</b>	<i>Cantidad de población en riesgo por sector en la ciudad Ilo.....</i>	<i>156</i>
<b>Figura 162</b>	<i>Cantidad de centros educativos en riesgo por sector en la ciudad Ilo .....</i>	<i>157</i>
<b>Figura 163</b>	<i>Centros educativos por niveles de riesgo sísmico.....</i>	<i>158</i>
<b>Figura 164</b>	<i>Cantidad de establecimientos de salud en riesgo por sector en la ciudad Ilo .....</i>	<i>159</i>
<b>Figura 165</b>	<i>Centros de salud por nivel de riesgo sísmico.....</i>	<i>160</i>

## RESUMEN

La ciudad de Ilo se encuentra en una zona de gran actividad sísmica que la hace susceptible a estar expuesta a esta clase de peligro. Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es realizar la estimación de la cantidad de infraestructura y población en riesgo ante la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud; y sus objetivos específicos son identificar y caracterizar los parámetros físicos ambientales y socioeconómicos que contribuyen a la generación del peligro y a la vulnerabilidad de las edificaciones. Para determinar el nivel de riesgo sísmico en la ciudad de Ilo, se realizó el geoprocesamiento y análisis mediante el uso del método Analítico Jerárquico de las variables asociadas al peligro y la vulnerabilidad, con el cual se determinó que la infraestructura en riesgo a nivel de manzanas corresponde a 613 (57.40 %) manzanas presentan un nivel de riesgo alto, mientras que 259 (24.25 %) tienen un nivel medio, 178 (16.67 %) tienen un nivel muy alto y 18 (1.69 %) tienen un nivel bajo, mientras que la población en riesgo corresponde a 34 856 (58.08 %) habitantes con un nivel de riesgo alto, mientras que 15 462 (25.76 %) tienen un nivel medio, 9 005 (15 %) tienen un nivel muy alto y 692 (1.15 %) tienen un nivel bajo. De este análisis se determinó que la población más afectada se encuentra localizada en la zona de la Pampa Inalámbrica, lo cual se debe principalmente a dos factores, la primera relacionada al estado de conservación de las edificaciones, al material de construcción y al estrato socioeconómico y la segunda asociado al tipo de suelo S4, el cual es predominante en esta zona y genera una mayor susceptibilidad de las edificaciones frente a un evento sísmico. Se propone utilizar estos resultados y la metodología para actualizar documentos de gestión como el Plan de Acondicionamiento Territorial (PAT), el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) y elaborar documentos como el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo (PPRD) que permitan identificar acciones para los procesos de prevención y mitigación del riesgo.

Palabras clave: Peligro, vulnerabilidad, riesgo, geoprocesamiento.

## ABSTRACT

The city of Ilo is located in an area of high seismic activity that makes it susceptible to being exposed to this kind of hazard. Therefore, the objective of this research is to estimate the amount of infrastructure and population at risk in the event of a large-scale seismic event; and its specific objectives are to identify and characterize the physical, environmental and socioeconomic parameters that contribute to the generation of danger and the vulnerability of buildings. To determine the level of seismic risk in the city of Ilo, geoprocessing and analysis were carried out using the Hierarchical Analytical method of the variables associated with danger and vulnerability, with which it was determined that the infrastructure at risk at the level of blocks corresponds to 613 (57.40%) apples present a high level of risk, while 259 (24.25%) have a medium level, 178 (16.67%) have a very high level and 18 (1.69%) have a low level, while The population at risk corresponds to 34 856 (58.08%) inhabitants with a high level of risk, while 15 462 (25.76%) have a medium level, 9 005 (15%) have a very high level, and 692 (1.15%) have a high level. bass. From this analysis it was determined that the most affected population is located in the area of the Pampa Inalámbrica, which is mainly due to two factors, the first related to the state of conservation of the buildings, the construction material and the socioeconomic stratum and the second associated with soil type S4, which is predominant in this area and generates a greater susceptibility of buildings to a seismic event. It is proposed to use these results and the methodology to update management documents such as the Territorial Conditioning Plan (PAT), the Urban Development Plan (PDU) and to prepare documents such as the Risk Prevention and Reduction Plan (PPRD) that allow identifying actions for risk prevention and mitigation processes.

**KEYWORDS:** Danger, vulnerability, risk, geoprocessing.



## I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal estimar la cantidad de infraestructura y población de la ciudad de Ilo en riesgo por la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, el cual será un producto relevante para las acciones de prevención y reducción del riesgo.

Para estimar el riesgo se consideró tres etapas: La primera etapa denominada caracterización del peligro, en la cual se realizó el diagnóstico físico ambiental de los parámetros que contribuyen a un mayor nivel de peligro por sismos.

La segunda etapa denominada Análisis de la vulnerabilidad, en la que se realizó el análisis de los parámetros físicos de las edificaciones y los factores socioeconómicos desde la perspectiva de resiliencia y fragilidad. Finalmente, en la tercera etapa se analizó la interacción entre el peligro y la vulnerabilidad y se determinó los niveles de riesgo.

La metodología desarrollada durante la presente investigación es de tipo aplicada, adoptando lo establecido por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Desastres (CENEPRED) que comprende la determinación del peligro, análisis de vulnerabilidad y el cálculo del riesgo, incorporando los resultados de la microzonificación sísmica de la ciudad de Ilo. Asimismo, se implementó herramientas de geoprocésamiento para la automatización y la elaboración de productos cartográficos y diagramas que ilustran los resultados obtenidos.

En el capítulo I, se explica los antecedentes locales e internacionales referentes a la ocurrencia del peligro, análisis de la vulnerabilidad y cálculo del riesgo por sismos, empezando por los estudios más generales y finalizando con los más específicos. También se determinó el problema de la investigación, objetivo general, específicos, hipótesis y la justificación para estimar el riesgo sísmico en la ciudad de Ilo.

En el capítulo II, se detalla los fundamentos teóricos, para esto se citó a entidades de relevancia nacional en Gestión de Riesgo como el Centro Nacional de Prevención de Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), además también se consideró otras entidades relevantes en tema de construcción como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

En el capítulo III, se describe la relación de materiales y equipos necesarios para la elaboración de este estudio, se identificó el tipo, nivel, método y diseño de la investigación y la metodología para estimar el riesgo por evento sísmico, en el cual se explica los procesos de caracterización del peligro, análisis de la vulnerabilidad y cálculo del riesgo.

En el capítulo IV, se presentan los resultados de la metodología implementada, mediante la caracterización de los factores condicionantes y desencadenantes del peligro sísmico y el análisis de los parámetros físicos y socioeconómico de las edificaciones para obtener los niveles de vulnerabilidad. Luego se calculó los niveles de riesgos utilizando la relación entre el peligro y la vulnerabilidad. Finalmente, se realizó el análisis de los elementos expuestos, con el cual se determinó el nivel de riesgo de las manzanas en la ciudad de Ilo y se consideró en los resultados finales la cantidad de población y equipamientos de educación y salud en riesgo sísmico.

En el capítulo V, se presenta la comparación de los resultados del presente estudio con los resultados de investigaciones Nacionales e Internacionales.

Los capítulos VI y VII, describen las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1. Descripción del problema***

La Región Sur del territorio peruano es una de las regiones con mayor actividad sísmica que está sujeta a la constante interacción entre la Placa Sudamericana y la de Nazca conformando una de las mayores zonas de subducción en el planeta.

Por consiguiente, la ciudad de Ilo es susceptible a eventos sísmicos de gran magnitud, debido a la presencia de la Falla de Chololo, la cual pasa por los sectores Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal, el tipo de suelo que favorece al impacto de las edificaciones por eventos sísmicos y el estado de conservación precario de algunas viviendas, condiciona al aumento de la vulnerabilidad de las edificaciones.

Por estos motivos, en la actualidad se han realizado diversos estudios sobre la identificación de las zonas con mayor nivel de peligrosidad por sismos y tsunamis. Sin embargo, los resultados de estos estudios no tienen un gran nivel de detalle en la distribución del peligro, vulnerabilidad y el riesgo, debido a que fueron elaborados a nivel provincial y de manzanas.

En consecuencia, es importante caracterizar los factores condicionantes y desencadenantes del peligro, realizar el análisis de las dimensiones físicas y sociales para determinar la vulnerabilidad en la ciudad de Ilo y realizar el cálculo del riesgo que proporcione información técnica orientada a los procesos de estimación, prevención y reducción del riesgo.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

#### ***1.1.2.1. Problema general***

P: ¿Cómo será la evaluación de riesgo por sismos mediante la determinación del peligro y el análisis de la vulnerabilidad utilizando el sistema de información geográfica en la ciudad de Ilo en el año 2018?

#### ***1.1.2.2. Problema secundario***

P1: ¿Cuál es la caracterización y el análisis de las variables físico y ambientales en la determinación de los niveles de peligro sísmico en la ciudad de Ilo?

P2: ¿Cuál es la caracterización y el análisis de las dimensiones físicos y sociales en la determinación de los niveles de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Ilo?

P3: ¿Cómo calcular la relación entre el peligro sísmico y la vulnerabilidad de la población, infraestructura, equipamiento de salud y educativo para la identificación y cuantificación de los niveles de riesgo por sismos en la ciudad de Ilo?

## **1.2. Antecedentes**

### ***1.2.1. Internacionales***

Jaramillo (2022), en su tesis “Método de evaluación objetiva de la vulnerabilidad de edificaciones expuestas a Geoamenazas en Colombia” plantea como objetivo Analizar las edificaciones existentes en las áreas de estudio definidas por su propensión a la amenaza por fenómenos de remoción en masa, bajo los criterios componentes de los pilares de la Sustentabilidad, mediante la evaluación estadística de los municipios de Soacha, Ibagué, Pereira y Cali, por lo cual realizo la caracterización del peligro por remisión en masas y sismos, así como elaboro el análisis de las edificaciones considerando los parámetros de características técnico

urbanístico según el sistema constructivo predominantes y su valoración económica de las edificaciones

En el citado estudio, estableció que el 81.3% de las edificaciones localizadas en zonas con riesgo por remoción en masas y sismos se encuentran construidas de manera informal, con procedimiento inadecuados, que es ocasionado por la falta de medios económicos y el alto desconocimiento para la construcción de una vivienda.

Tapia (2017), en el estudio denominado “Evaluación de los efectos del terremoto en Iquique del año 2014, asociados a la vulnerabilidad y vivienda precaria. I región de Tarapacá, Chile” tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad en las zonas que permanecían al 2016 con viviendas afectadas por el terremoto en Iquique en el año 2014, con el fin de identificar la exposición frente a futuros escenarios de riesgos. Para el análisis de la vulnerabilidad se consideró la relación entre las condiciones económicas, características residenciales y demográficas mediante el uso de la técnica de análisis estadístico multivariado, el cual permitió encontrar factores o dimensiones representativas de las variables en estudio.

En dicho estudio se concluye que las zonas con mayor vulnerabilidad social y de viviendas corresponde a la zona localizada al este, mientras que las manzanas clasificadas con rangos moderados se distribuyen hacia el sur – este, coincidiendo con zonas donde se localizan suelos de mayor susceptibilidad de licuefacción

Schweizer (2019), en la tesis “Análisis de vulnerabilidad sísmica en los edificios escolares construidos bajo el plan La Serena, 1946-1952” tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones educativas mediante la aplicación del método matemático Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (G.N.D.T) que considera los aspectos del estado de conservación de los edificios y las propiedades de los elementos no estructurales, con el cual se realizó la calificación del desempeño de las características físicas de

las edificaciones ante la ocurrencia de un sismo, en contraste con las variables de morfología, características estructurales y constructivas.

De este estudio de determino que la vulnerabilidad de los centros educativos no supera el 50%, lo da a entender que las edificaciones necesitan reparaciones y refuerzos menores para alargar su vida útil y no representa un riesgo para los alumnos.

Curihuinca (2020) en el estudio “Modos de habitar un escenario de riesgo sísmico. El Caso de la Falla San Ramón en el piedemonte de Santiago, Chile” tuvo como objetivo analizar los modos de habitar las comunidades en el entorno inmediato de la Falla de San Ramón para caracterizar la vulnerabilidad (social y física) y como esto influye en la manera de enfrentar un escenario de riesgo sísmico, por lo cual se utilizó el análisis propuesto por Chardon, el cual caracteriza a la vulnerabilidad como la interacción entre las variables naturales, socioeconómicas, técnicas, coyunturales y funcionales mediante la aplicación del método de análisis jerárquico.

Respeto a los resultados del análisis multicriterio fue posible identificar una correlación entre el nivel de riesgo por impacto sísmico y el nivel socioeconómico de la población, así como la verificación del riesgo sísmico que representa la Falla de San Ramón debido a la escasa planificación estratégica para el crecimiento urbano.

### ***1.2.2. Nacionales***

Gutiérrez (2018) en su tesis “Nivel de riesgo sísmico en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima” plantea como objetivo determinar los niveles de riesgo sísmico en el distrito de chorrillos al producirse un sismo y tsunami de gran magnitud en lima metropolitana y callao, por tal motivo propone aplicar el diagnóstico del ámbito físico y de las condiciones de las viviendas mediante la metodología cualitativa y heurística propuesta por INDECI y la aplicación de los sistemas de información geográfica para el análisis y geoprocesamiento.

De este estudio se concluye que las viviendas afectadas por nivel de riesgo tienen la siguiente distribución; 78% con un nivel medio, 20% con un nivel alto y muy alto, lo que se traduce en 13 830 posibles viviendas afectadas por un evento sísmico de gran magnitud

Chininin (2019) en la tesis “Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de desastre en el distrito de la victoria 2018 – 2021” cual tiene como objetivo formular el Plan de reducción de Riesgo de Desastres en el Distrito de La Victoria, mediante la identificación de los principales peligros en la ciudad de Lima, zonas vulnerables, la determinación de posibles zonas de riesgo y formulación de medidas articuladas que permitan reducir y mitigar el riesgo.

Finalmente, se determinó que el distrito de la Victoria tiene un nivel de riesgo bajo que corresponde a 117 (11.4%) manzanas, el nivel de riesgo medio que equivale a 552 (53.36%) manzanas y el nivel de riesgo alto de 360 (35%) manzanas. Esto se traduce en que el distrito de la Victoria tiene 4 sectores críticos los cuales son: El Asentamiento Humano el Cerro el Pino, Asentamiento Humano Cerro San Cosme, Zona antigua de La Victoria y el Conglomerado de Gamarra Dameró.

Gómez (2020) en el estudio denominado “Determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica aplicando el Sistema de Información Geográfica en el Asentamiento Humano la Flor – Carabayllo” tiene como objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad ante un evento sísmico de

gran magnitud aplicando el sistema de información geográfica en el Asentamiento Humano La Flor, Carabaylo, por lo cual se utilizó la metodología del Proceso Analítico Jerárquico para la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad y su correspondientes descriptores y su posterior geoprocetamiento con el software de Sistema de Información Geográfica.

Finalmente, de este estudio se concluyó que los niveles de vulnerabilidad en el asentamiento humano La Flor corresponden a: con un nivel bajo 42 (5%) lotes, nivel medio 386 (48 %) lotes, nivel alto 358 (44%) lotes y nivel muy alto 24 (3%) lotes.

Municipalidad Provincial de Ilo (2019 - 2030) en el “Plan de Desarrollo Urbano”, tuvo como objetivo planificar el crecimiento de la ciudad de Ilo de forma ordenada y sostenible para el mejoramiento del sistema vial y la zonificación urbana. Por este motivo en el Capítulo III, Análisis Territorial de la Ciudad de Ilo se incorporó la caracterización del peligro, análisis de la vulnerabilidad y el cálculo del riesgo por fenómenos naturales como sismos, tsunamis, remoción en masa e inundación. Este análisis fue realizado a nivel de lotes y concluyo en que el 15 004 (48.31 %) de los lotes presentan un nivel de riesgo alto, mientras que el 5 293 (17.04 %) tiene un nivel de riesgo muy alto y 10 763 (34.65 %) niveles bajo y muy bajo, donde la mayoría de estas edificaciones se localizan en la Pampa Inalámbrica, debido a la precariedad de las viviendas y al tipo de suelo.



### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

O: Evaluar el riesgo por sismos mediante la determinación del peligro y el análisis de la vulnerabilidad utilizando el sistema de información geográfica en la ciudad de Ilo en el año 2018.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

O1: Caracterizar y analizar las variables físico y ambientales para determinar los niveles de peligro sísmico en la ciudad de Ilo.

O2: Caracterizar y analizar las dimensiones física y social para determinar los niveles de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Ilo.

O3: Calcular la relación entre el peligro sísmico y la vulnerabilidad de la población, infraestructura, equipamiento de salud y educativo para la identificación y cuantificación de los niveles de riesgo por sismos en la ciudad de Ilo.

### **1.4. Justificación**

#### **Teórica**

Los resultados de este estudio, permitirán obtener información base organizada y sistematizada relacionada a los parámetros físico ambientales (geología, geomorfología, suelos y pendientes), características físicas de las edificaciones y características socioeconómicas de la población de la ciudad de Ilo que servirán para determinar el nivel de peligro por sismos, analizar la vulnerabilidad y calcular el riesgo.

#### **Practica**

Respecto a la determinación de la posible cantidad de manzanas, población y equipamiento básico en riesgo en la ciudad de Ilo, esta información servirá de insumo para la elaboración de informes de Evaluación de riesgo (EVAR), el cual permitirá analizar a un mayor

nivel de detalle como a nivel de sectores, zonales, etc. Además, esta información aporta las bases para el diagnóstico físico y ambiental y elaborar el Plan Prevención y Reducción del Riesgo (PPRD), el cual contiene un conjunto de programas, proyectos y actividades para la reducción y mitigación del riesgo acorde a las políticas institucionales.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

H: La evaluación mediante la determinación del peligro y el análisis de la vulnerabilidad utilizando el sistema de información geográfica permitirá determinar el riesgo por sismos en la ciudad de Ilo en el año 2018.

## II.MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Conceptual

#### 2.1.1. Peligro.

Para INDECI (2006), el peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o alguna actividad dañina generada por el hombre, la cual se caracteriza por tener una magnitud y localización que puede afectar a una zona poblada, infraestructura o el medioambiente. Mientras que para CENEPRED (2015), define al peligro como la probabilidad de ocurrencia para la generación de fenómeno físico potencialmente dañino, el cual puede ser de origen natural o inducido por la acción humana y que se puede presentar en una zona específica, con un cierto nivel de intensidad y frecuencia definidos. Además, considera que el peligro se clasifica en dos clases, “los ocasionados por fenómenos de origen natural y los inducidos por la acción humana” (p.21).

**2.1.1.1. Peligro por Sismos.** Según INDECI (2006) define a este fenómeno como la liberación de energía mecánica ocasionada por el movimiento de las placas tectónicas en el interior de la Tierra, la cual se propaga en forma de vibraciones, a través de las diferentes capas terrestres.

Asimismo, para CENEPRED (2015) este fenómeno es un proceso progresivo y constante liberación de energía mecánica debido a los cambios en el estado de esfuerzos, de las deformaciones y de los desplazamientos resultantes en la corteza terrestre, el cual se puede generar en zonas de interacción de placas tectónicas o dentro de ellas. Lo que ocasiona que parte de la energía liberada se manifieste en forma de ondas sísmicas y otra parte se transforma en calor, debido a la fricción en el plano de la falla.

Además, para el análisis de este fenómeno se propone evaluación de los descriptores como Hipocentro, Epicentro, Magnitud, Intensidad y profundidad, para realizar una adecuada

caracterización, también incide en que el número y complejidad de los parámetros utilizados en la evaluación depende del nivel de detalle del estudio.

### **2.1.2. Vulnerabilidad**

Para INDECI (2006) La vulnerabilidad es el “grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada.” (p.18). Mientras que CENEPRED (2015) especifica a los elementos afectados y define a la vulnerabilidad como “la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro” (p. 196).

**2.1.2.1. Factores de la vulnerabilidad.** CENEPRED (2015) explica que para el análisis de la vulnerabilidad se requiere realizar la evaluación de tres factores, los cuales son: Exposición, Fragilidad y la Resiliencia.

- **Exposición,** Este factor tiene una relación directa con la vulnerabilidad, son las decisiones y prácticas que localizan al ser humano y sus medios de vida en la zona de impacto de un peligro. La cual se genera debido a procesos no planificados de crecimiento demográfico y políticas de desarrollo económico no sostenibles. A mayor exposición.
- **La Fragilidad,** Este factor tiene una relación directa con la vulnerabilidad y hace referencia a las condiciones de desventaja del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro.
- **La Resiliencia,** Este factor tiene una relación indirecta con la vulnerabilidad y hace referencia a la capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la generación de un peligro.

**2.1.2.2. Tipos de dimensiones de la vulnerabilidad.** Según CENEPRED (2015), el enfoque del análisis de la vulnerabilidad varía dependiendo del elemento expuesto evaluado, por lo cual la vulnerabilidad se analiza en tres dimensiones:

- **Análisis de dimensión social,** Es la evaluación de la forma de vida de la población expuesta dentro del área de influencia del fenómeno analizado.
- **Análisis de la dimensión económica,** Es la evaluación de las actividades económicas y edificaciones expuestas dentro del área de influencia del fenómeno analizado.
- **Análisis de la dimensión ambiental,** Es la evaluación de los recursos renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno analizado.

### **2.1.3. Riesgo**

Para INDECI (2006) el riesgo comprende el combinar datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad del peligro identificado, considerando la fuerza e intensidad de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad y su capacidad de resistencia de los elementos expuestos (población, viviendas, infraestructura, etc.) frente al peligro, dentro de una determinada área geográfica.

Mientras que CENEPRED (2015), especifica que para el cálculo del riesgo se tiene que relacionar los resultados del peligro y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con la finalidad de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos.

Como se puede visualizar en la Figura 1 para el cálculo del riesgo se debe aplicar la fórmula mostrada, la cual se encuentra en función de las variables peligro y vulnerabilidad:

## Figura 1

Formula del cálculo del riesgo

<b>Rie   t= f (Pi, Ve)   t</b>
<b>Dónde:</b> <b>R=</b> Riesgo <b>f=</b> En función <b>Pi</b> =Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un período de exposición t <b>Ve</b> =Vulnerabilidad de un elemento expuesto e

Nota: Adaptado del *Manual de Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales v.2* (p.147), CENEPRED, 2015.

**2.1.3.1. Clasificación del nivel del riesgo.** CENEPRED (2015), indica que para clasificar los niveles de riesgo se tiene que elaborar una matriz de doble entrada, mediante la cual se calcula el producto entre el peligro y la vulnerabilidad, para luego determinar los valores del riesgo, tal como se muestra en la Figura 2.

## Figura 2

Matriz de riesgo para la determinación de niveles de riesgo

PMA	0.503	0.034	0.067	0.131	0.253
PA	0.260	0.018	0.035	0.068	0.131
PM	0.134	0.009	0.018	0.035	0.067
PB	0.068	0.005	0.009	0.018	0.034
		0.068	0.134	0.260	0.503
		VB	VM	VA	VMA

Nota: Adaptado del *Manual de Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales v.2* (p.156), CENEPRED, 2015.

### 2.1.4. Microzonificación Sísmica

Según MVCS (2018), en la Norma técnica E.030 sismorresistente menciona que estos estudios se realizan para investigar los efectos de los sismos y fenómenos asociados como licuación de suelos, deslizamientos, tsunamis sobre un área determinada. Los resultados de estos

estudios proporcionan información relevante para la toma de acciones frente al peligro por sismos, respecto a las limitaciones del tipo de suelo, exigencias para el diseño y construcción de edificaciones. Respecto a los tipos de suelos estos se clasifican en 5 de perfiles, considerando la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte en el suelo, como se detalla a continuación:

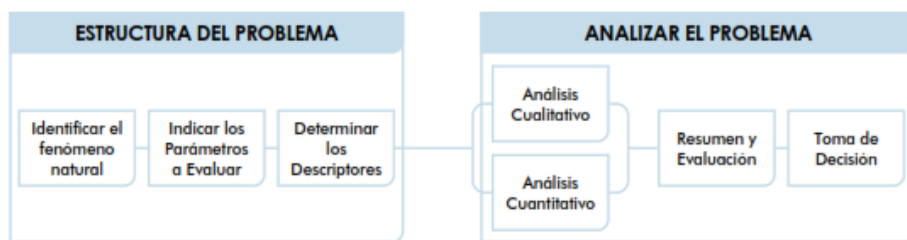
- **Perfil Tipo S0:** Roca Dura A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte  $\bar{V}_s$  mayor que 1500 m/s
- **Perfil Tipo S1:** Roca o Suelos Muy Rígidos A (Roca fracturada y Arcilla muy compactada), este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación y suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , entre 500 m/s y 1500 m/s.
- **Perfil Tipo S2:** Suelos Intermedios A (Arena densa, gruesa, media o grava), este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , entre 180 m/s y 500 m/s.
- **Perfil Tipo S3:** Suelos Blandos (Arena fina o grava arenosa), este tipo corresponde a suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $\bar{V}_s$ , menor o igual a 180 m/s.
- **Perfil Tipo S4:** Corresponde a suelos que tienen condiciones excepcionales, los cuales son muy flexibles y tienen condiciones geológicas y/o topográficas particularmente desfavorables, en los cuales se necesita realizar un estudio específico para identificar las características geotécnicas del tipo de suelo.

### 2.1.5. *Proceso del Análisis Jerárquico (AHP)*

Para Osorio et al. (2008), este método matemático es usado para evaluar múltiples alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en los principios de la experiencia y el conocimiento de los parámetros analizados. En consecuencia, CENEPRED (2015), plantea que este método fue diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permite a los actores, estructurar el problema. Para aplicar esta metodología se debe seguir el flujo metodológico que se puede visualizar en la Figura 3.

#### **Figura 3**

*Flujo metodológico para la toma de decisiones*



*Nota:* Adaptado del *Manual de Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales v.2* (p.206), CENEPRED, 2015.

Respecto a la determinación de los valores para los parámetros y descriptores, se realiza la comparación de pares, debido a su facilidad para involucrar a todos los actores del proceso de decisión, respecto a la evaluación de los actores se utiliza una escala numérica la cual detalla el nivel de importancia de la variable, tal como se muestra en la Figura 4.



## Figura 4

### Escala de Saaty

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo mas importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Mas importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

*Nota:* Adaptado del *Manual de Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales v.2* (p.207), CENEPRED, 2015.

Asimismo, este método tiene beneficios frente a otros métodos de toma de decisiones, los cuales se detallan a continuación:

- Presenta un sustento matemático;
- Permite desglosar y analizar un problema por partes;
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común;
- Incluir la participación de equipos multidisciplinarios y generar un consenso;
- Permite verificar el índice de consistencia (IC) y hacer las correcciones, si fuere el caso;
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad;
- Ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

### **2.1.6. Sistemas de Información Geográfica**

Para Sarria (2014), Un SIG es un Sistema de Información que tiene la característica de estar georreferenciada, es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica.

Asimismo,

Olaya (2014) menciona que un SIG está conformado por cinco componentes fundamentales: datos, tecnología, análisis, visualización y factor organizativo. Cada una de estos componentes cumple una función determinada dentro del sistema SIG, el cual se caracteriza fundamentalmente por su naturaleza integradora.

**2.1.6.1. Componentes de un SIG.** Para Olaya (2014), los SIG están compuestos por cinco elementos básicos los cuales son:

- Datos: Es el insumo necesario para el trabajo en un SIG, y los que tienen la información geográfica.
- Métodos: Son un conjunto de formulaciones técnicas aplicadas sobre los datos.
- Software: Es una aplicación informática que pueda procesar los datos mediante el uso de métodos de procesamiento.
- Hardware: Corresponde a el equipo necesario para ejecutar el software.
- Personas: Son las encargadas de la ejecución, diseñar y utilizar el software, es el componente más importante de un sistema SIG.

**2.1.6.2. Funciones de un SIG.** Sarria (2014) menciona que las funciones básicas de un SIG son las siguientes:

- Almacenamiento: Implica codificar y almacenar los diferentes fenómenos que aparecen en la superficie terrestre mediante la incorporación de la información geográfica a la base de datos como datos espaciales o alfanuméricos.

- Visualización: Hace referencia a la representación de la información mediante el uso de los datos espaciales.
- Consultas: Obtención de respuestas de los datos procesados y su distribución espacial.
- Análisis: Se refiere al uso de herramientas de análisis espacial para el desarrollo y verificación de hipótesis respecto a la distribución espacial de variables y objetos.
- Toma de decisiones: Permite resolver problemas mediante la obtención de resultados concretos productos del análisis espacial.

### III. MÉTODO

En este capítulo se detalla el procedimiento metodológico para realizar la estimación del riesgo sísmico en la ciudad de Ilo, a continuación, se especifica el tipo, nivel y diseño de investigación utilizados.

#### **3.1. Tipo de investigación**

La metodología utilizada es de tipo Aplicada, debido a que se usa el procedimiento para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales, la cual permitió determinar el peligro, analizar la vulnerabilidad, calcular el riesgo y determinar el posible impacto a las edificaciones y población en la ciudad de Ilo.

##### ***3.1.1. Nivel de investigación***

El nivel de investigación es Predictivo, porque a partir de los resultados de la determinación del peligro por sismos y la vulnerabilidad de las infraestructuras y la población se realizará la estimación de los niveles de riesgo sísmico en la ciudad de Ilo.

##### ***3.1.2. Diseño***

Se ha utilizado el tipo de diseño Cuantitativo, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) considera que el conocimiento debe ser objetivo y deductivo a través de la medicación numérica, la cual permite la comprobación de la hipótesis formulada, esto coincide con la aplicación de la metodología Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para la determinar los valores del peligro y la vulnerabilidad y el cálculo del riesgo mediante la elaboración de la matriz de riesgos.

### 3.2. **Ámbito temporal y espacial**

#### 3.2.1. *Ámbito temporal*

Para la elaboración de este estudio, se consideró los datos del proyecto de “Micro ZEE de la provincia de Ilo”, del “Plan de Acondicionamiento Territorial (PAT)” y el “Plan de Desarrollo Urbano (PDU)”, correspondientes al año 2018.

#### 3.2.2. *Ámbito territorial*

El área de estudio comprende la ciudad de Ilo, que se encuentra localiza en el departamento de Moquegua, Provincia de Ilo, comprende las zonas urbanas de los distritos de Ilo y Pacocha tal como se muestra en la Figura 6.

Por su ubicación se localiza entre las latitudes 17° 38' 15" S y 17° 20' 39" S, y las longitudes 71° 21' 39" W y 71° 22' 00" W, para referir a sus coordenadas cartesianas se encuentra en la zona UTM 19S entre 250953.964 N y 8052612.896 S.

La extensión territorial alcanza un total de 22.75 km<sup>2</sup> con una densidad poblacional promedio total de 46.20 Hab/km<sup>2</sup>, cuyo detalle por distrito se consigna en la Figura 5

#### **Figura 5**

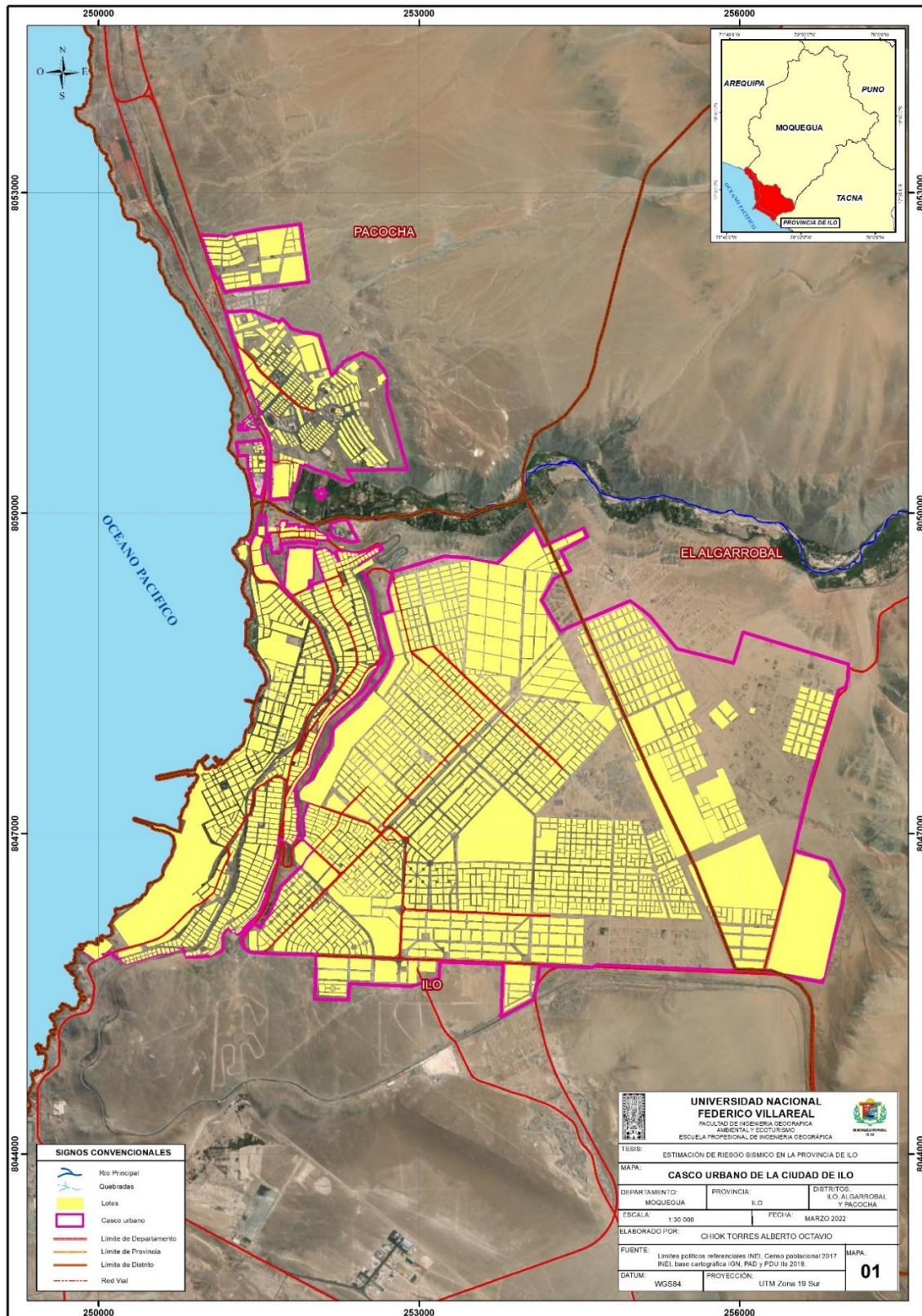
Área del casco urbano por distrito en la ciudad de Ilo

	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Ilo	15.84
Pacocha	2.24
Algarrobal	4.67

*Nota:* Adaptado del *Plan de Desarrollo Urbano (p.110)*, Municipalidad Provincial de Ilo (2018

– 2030).

**Figura 6**  
Casco urbano de la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

### **3.2.2.1. Organización territorial**

La ciudad de Ilo se encuentra organizada en 7 sectores, sin embargo, para esta investigación se ha priorizado el análisis de 5 sectores, tomando como referencia los sectores establecidos en el Plan de Desarrollo Urbano de la provincia de Ilo (PDU). A continuación, se detalla las principales características de cada sector.

**A. Sector 1: Área Costera Central:** Se encuentra ubicado en la primera terraza donde se inició el centro poblado de Ilo, tiene un relieve ligeramente inclinado el cual tiene un pendiente entre el 5% al 8%, en la actualidad es el ámbito donde se ubica el centro de la ciudad y en este sector se ubican las mayores zonas comerciales, de servicios e institucionales.

**B. Sector 2: Área Miramar:** Este sector está localizado en la segunda terraza y se encuentra paralela a la costa, detrás del sector 1, además se caracteriza por tener una gran pendiente del 18%, respecto al uso de suelo urbano, este sector tiene una predominancia del uso residencial y comercial.

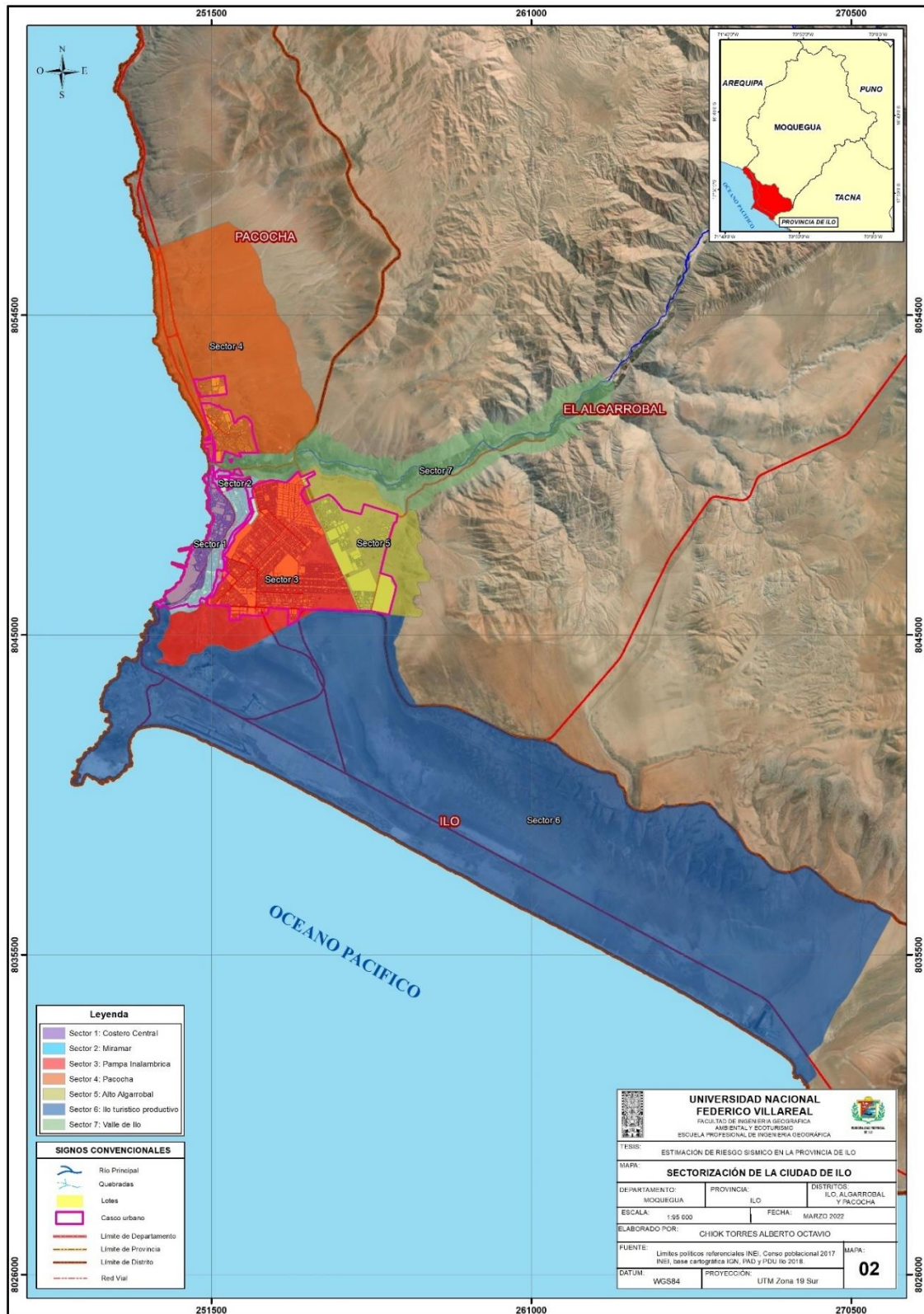
**C. Sector 3: Pampa Inalámbrica:** Se encuentra ubicado en la tercera terraza de la ciudad de Ilo, este sector se caracteriza por tener un relieve con una pendiente entre el 2% al 5% y respecto al tipo uso de suelo urbano, tiene una predominancia del uso de suelo residencial.

**D. Sector 4: Área Pacocha:** Se encuentra localizado en la zona norte del sector 1 y pertenece al distrito de Pacocha, tiene un relieve ligeramente inclinado del 2% al 6% y respecto al uso de suelo urbano tiene una predominancia del uso suelo residencial.

**E. Sector 5: Alto Algarrobal:** Esta localizado en la tercera terraza de la ciudad de Ilo, tiene un relieve entre el 2% al 5%, el grado de ocupación de este sector es incipiente y las edificaciones tienen condiciones precarias y sin servicios básicos.

Finalmente, en la Figura 7, se puede visualizar la distribución espacial de los sectores de la ciudad de Ilo.

**Figura 7**  
Sectores de la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia



### 3.3. Variables

En la Figura 8 se puede visualizar las variables dependientes e independientes para este estudio como se muestra a continuación:

**Figura 8**

*Variables dependiente e independientes*

VARIABLES INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES De V.I
Peligro y Vulnerabilidad Sismica	CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO	Componentes geológicos y litológicos
		Pendientes
		Estructura del suelo
	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	Estado de conservación
		Material de construcción
		Altura de edificación
		Pendiente
		Tipo de edificación

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores de V.I
<b>Peligro y Vulnerabilidad Sismica</b>	Caracterización del peligro	Formaciones estratigraficas de origen sedimentario
		Pendiente mayor a 25°
		Suelos con gran profundidad, textura media y permeabilidad muy rapida
		Suelos excepcionalmente flexibles
		Unidades geomorfologias con relieve abrupto y pendiente mayor a 25°
	Análisis de la vulnerabilidad	Edificaciones con estado de conservación malo
		Edificaciones de driwall y madera
		Edificaciones con mas de 5 pisos
		Zonas con alta densidad poblacional
		Zonas con alto indice de pobreza
		Manzanas con bajo estrato socioeconomico
Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores de V.D
<b>Estimación del riesgo sismico</b>	Análisis de posibles edificaciones afectadas	Localización de posible infraestructura afectada por sectores
		Cantidad de posibles manzanas afectadas
	Análisis de posibles equipamientos básicos afectados	Cantidad de posible equipamiento educativo y de salud afectado por nivel de riesgo
	Análisis de posible población afectada	Cantidad de posible población en riesgo a nivel de manzanas

*Nota:* Elaboración propia

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1 Población

La población en estudio corresponde a la ciudad de Ilo, comprende los distritos de Ilo y Pachocha. Estos distritos comparten características físico ambientales y un crecimiento socioeconómico similares. En la Figura 9, se muestra la distribución poblacional de la zona urbana de estos distritos.

**Figura 9**

Población por distrito en la ciudad de Ilo

<b>Departamento</b>	<b>Distritos</b>	<b>Habitantes censo 2017</b>
	Ilo (Ilo)	66 479
Moquegua	Pacocha	4 453

*Nota:* Adaptado Censo Nacional 2017: Resultados definitivos: Moquegua, (<https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>)

**3.4.2 Muestra**

Según Cuesta (2009) menciona que el muestreo no probabilístico brinda la misma oportunidad a todos los individuos de una población para ser seleccionados, por tal motivo para este estudio se determinó que, por conveniencia, la muestra y la población serán los mismos. Con esta técnica de muestreo se escogió a la ciudad de Ilo, la cual está conformada por 30821 lotes ubicados en 1086 manzanas y distribuidos en los distritos de Ilo y Pacocha.

**3.5. Instrumentos****3.5.1. Equipos**

Para realizar este estudio se utilizó varios equipos para la recopilar la información en campo y procesar la base de datos espacial.

- Teléfono móvil Oneplus 6t, equipo celular utilizado para la recopilación de información fotográfica del área urbana de la ciudad de Ilo.
- Laptop HP Pavilion Gaming 15-AK005, se utilizó para la redacción del estudio y el geoprocesamiento de la información obtenida.

### **3.5.2. Software**

- ArcGIS 10.6, este software se utilizó para actualizar la información cartográfica, realizar el geoprocesamiento, determinar el peligro, analizar la vulnerabilidad, calcular el riesgo y la elaborar los mapas temáticos de la ciudad de Ilo.
- ENVI 4.5, se utilizó para la elaboración de mosaicos y el realce de las Imágenes satelitales WorldView 2 y RapidEye.
- Microsoft Excel 2016, se utilizó para el procesamiento y elaboración de tablas.
- Microsoft Word 2010, se utilizó para la generación del documento final del estudio “Estimación del riesgo en la ciudad de la Provincia de Ilo”.

### **3.5.3. Cartografía**

Para caracterizar el ámbito de estudio se utilizó datos cartográficos de acceso libre y datos generados por la Municipalidad Provincial de Ilo, como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10***Lista de capas cartográficas*

<b>Material</b>	<b>Fuente</b>	<b>Formato</b>
Cartografía base de la ciudad de Ilo	Municipalidad Provincial de Ilo (2018)	
Cartografía temática nivel provincial de la Micro ZEE		
Cartografía catastral de la ciudad de Ilo (Lotes)	Instituto Nacional Estadística e Informática -INEI (2017)	gdb
Cartografía catastral de la ciudad de Ilo (Manzanas)		
Cartografía de datos socioeconómicos y pobreza		
Cartografía de tipos de suelo por estudio geotécnico	UNSA -INDECI	

*Nota:* Elaboración propia.

**3.5.4. Base de imágenes de satélite**

Se recopiló imágenes de satélite de distintos niveles de resolución espacial, para realizar la actualización de la información de las capas catastrales a nivel de lotes y manzanas, tal como se muestra en la Figura 11.

**Figura 11***Lista de imágenes de satélite*

<b>Material</b>	<b>Fuente</b>	<b>Resolución y fecha</b>	<b>Uso</b>
Mosaico de imágenes de satélite WorldView 2	Telemática	Resolución: 0.5 m Fecha: abril 2017	Actualizar los registros de las capas catastrales de lotes y manzanas
Mosaico de imágenes de satélite PeruSat	Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial	Resolución: 1 m Fecha: mayo 2018	

*Nota:* Elaboración propia.

**3.5.5. Técnicas de recolección de datos**

Para realizar la actualización de la información de las capas catastrales a nivel de lotes y manzanas se elaboró el formato de evaluación de vulnerabilidad por lote, tal como se muestra en

la Figura 12, en la cual se detalla las características de evaluación para los parámetros de Tipo de Material, Estado de conservación y Altura de edificación.

### Figura 12

*Formato de evaluación de vulnerabilidad por lote*

<b>Evaluación de vulnerabilidad por lote</b>		
<b>Tipo de Material</b>		
A	Driwall	
B	Madera	
C	Concreto o Ladrillo	
D	Adobe o Tapial	
E	Piedra	
<b>Estado de conservación</b>		
A	Bueno	
B	Regular	
C	Malo	
D	Muy Malo	
<b>Altura de edificación</b>		
A	5 pisos a mas	
B	4 pisos	
C	3 pisos	
D	2 pisos	
E	1 piso	

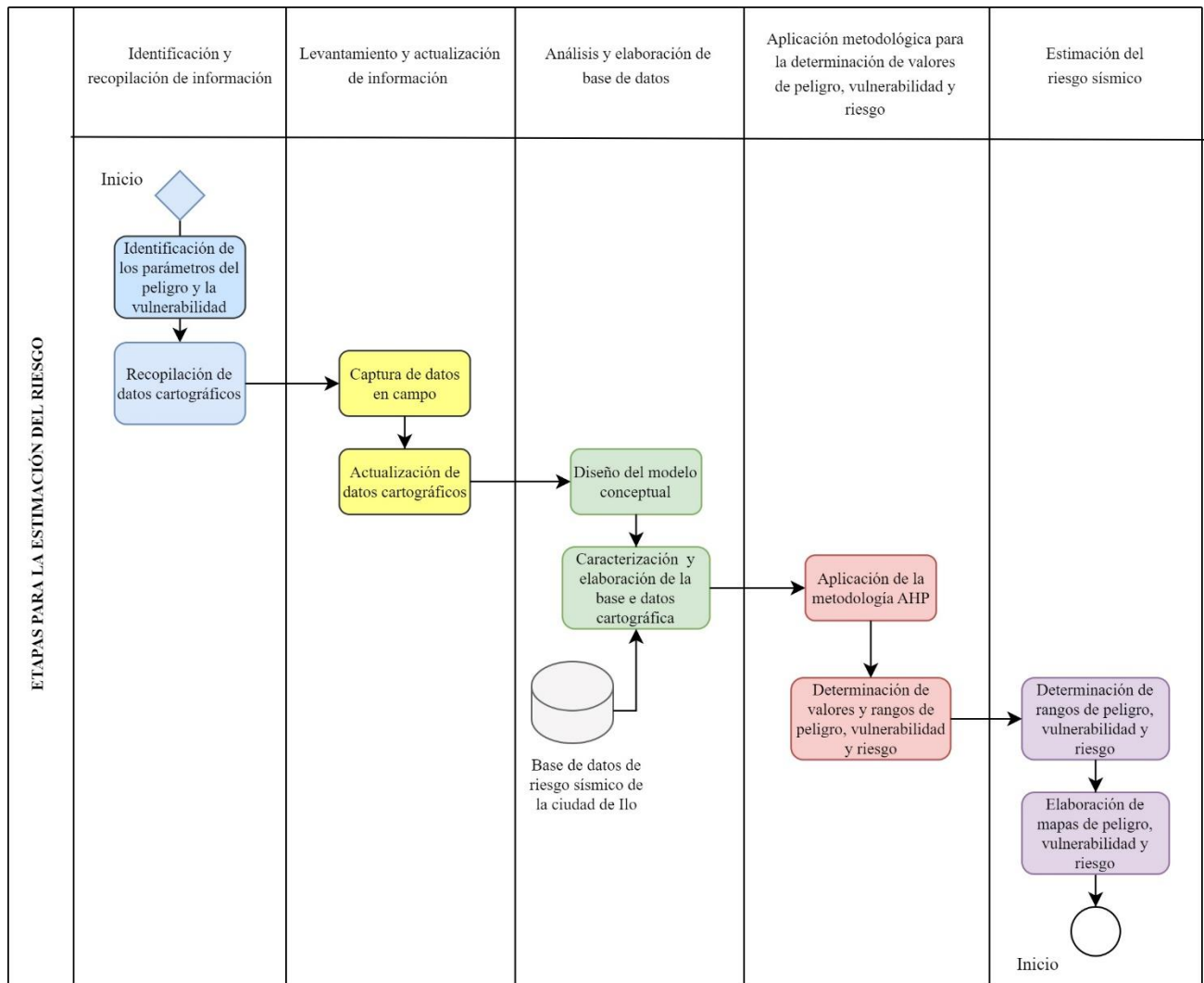
*Nota:* Elaboración propia

### 3.6. Procedimiento

Se utilizó la metodología para la evaluación del riesgo por eventos sísmicos indicada por CENEPRED. A continuación, en la Figura 13 se detalla las etapas y actividades para la estimación del riesgo sísmico.

**Figura 13**

*Etapas para la estimación del riesgo en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

### 3.6.1. Identificación y recopilación de información

**3.6.1.1. Identificación de los parámetros del peligro** Se identificó los parámetros que caracterizan al peligro por sismos en la ciudad de Ilo y se clasificó los parámetros según el tipo de factor; condicionante y desencadenante.

**Figura 14**

*Parámetros del peligro*

<b>Factor condicionante</b>	<b>Factor desencadenante</b>
Geología	Fallas
Geomorfología	
Tipo suelo	
Microzonificación sísmica	Magnitud sísmica
Pendientes	

*Nota:* Elaboración propia

En la Figura 14 se puede apreciar los parámetros físicos considerados como factores condicionantes y a las zonas de fallamiento y magnitud sísmica como factores desencadenantes.

**3.6.1.2. Identificación de los parámetros de la vulnerabilidad.** Se identificó los parámetros que caracterizan a la vulnerabilidad física de las edificaciones y la población, por tal motivo se organizó estos parámetros a nivel de dimensiones y factores de la vulnerabilidad, como se propone en la metodología para la evaluación del riesgo. A continuación, en la Figura 15 se muestra los parámetros propuestos.

**Figura 15**

Dimensiones y factores de la vulnerabilidad

<b>Dimensión de la vulnerabilidad</b>	<b>Factores de la vulnerabilidad</b>		
	<b>Exposición</b>	<b>Fragilidad</b>	<b>Resiliencia</b>
Física	Infraestructura y población de la ciudad de Ilo	-Material de construcción -Estado de conservación -Altura de edificación	-Reforzamiento de viviendas
		Grupo Etario	-Incidencia de pobreza
Social		Densidad poblacional	-Estrato socioeconómico

*Nota:* Elaboración propia



**3.6.1.3. Recopilación de datos cartográficos.** Se recopiló la información cartográfica y los documentos de gestión correspondientes a los parámetros identificados para la caracterización del peligro y el análisis de la vulnerabilidad. Finalmente, se validó y organizó los datos recopilados.

### **3.6.2. Levantamiento y actualización de información**

**3.6.2.1. Identificación y captura de datos en campo.** Se identificó los parámetros físicos de la vulnerabilidad que requieren la actualización de sus registros, de este análisis se determinó a los parámetros material de construcción, altura de edificación y estado de conservación. Finalmente, se localizó a los lotes que requieren la actualización de sus datos y se concluyó en realizar el levantamiento de la información en campo en los sectores 4 y 5.

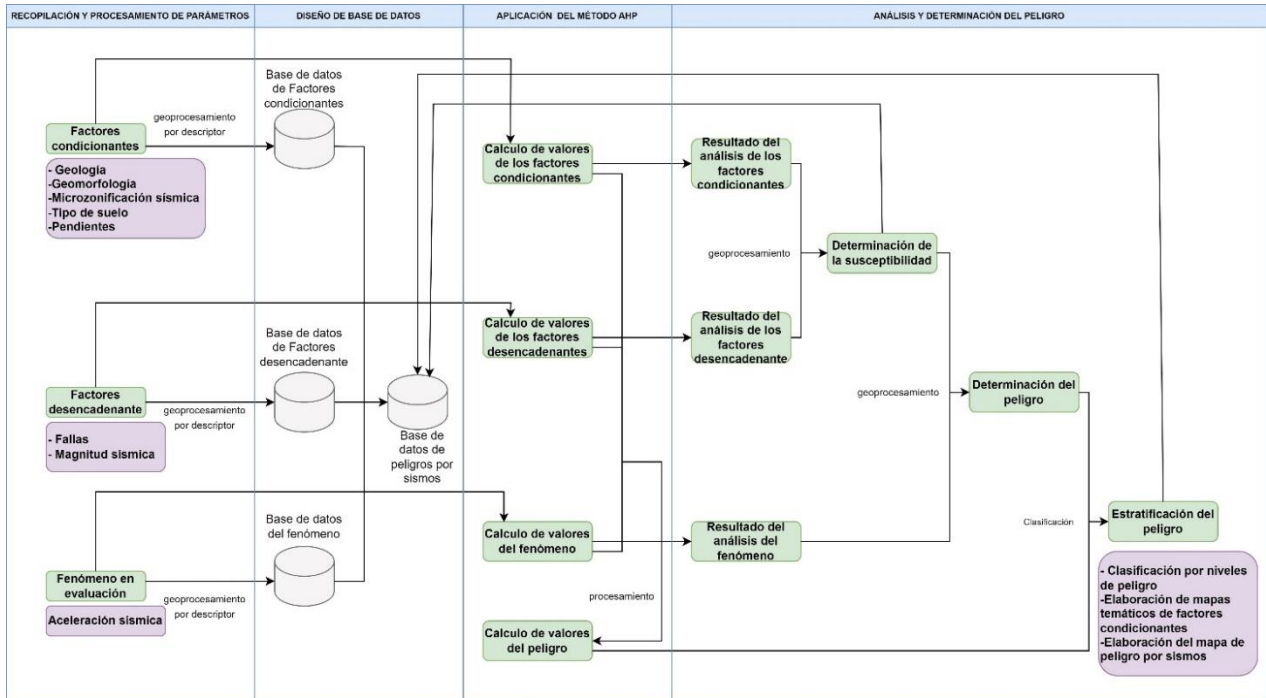
**3.6.2.2. Actualización de datos cartográficos.** Se realizó la validación, actualización y geoprocesamiento de la información cartográfica correspondiente a los parámetros material de construcción, altura de edificación y estado de conservación.

### **3.6.3. Análisis y elaboración de base de datos**

**3.6.3.1. Caracterización y sistematización de la base de datos cartográfica.** Se caracterizó y analizó los parámetros y descriptores, los cuales fueron organizados según el nivel de importancia en la generación del peligro sísmico y la vulnerabilidad de las edificaciones y población afectada.

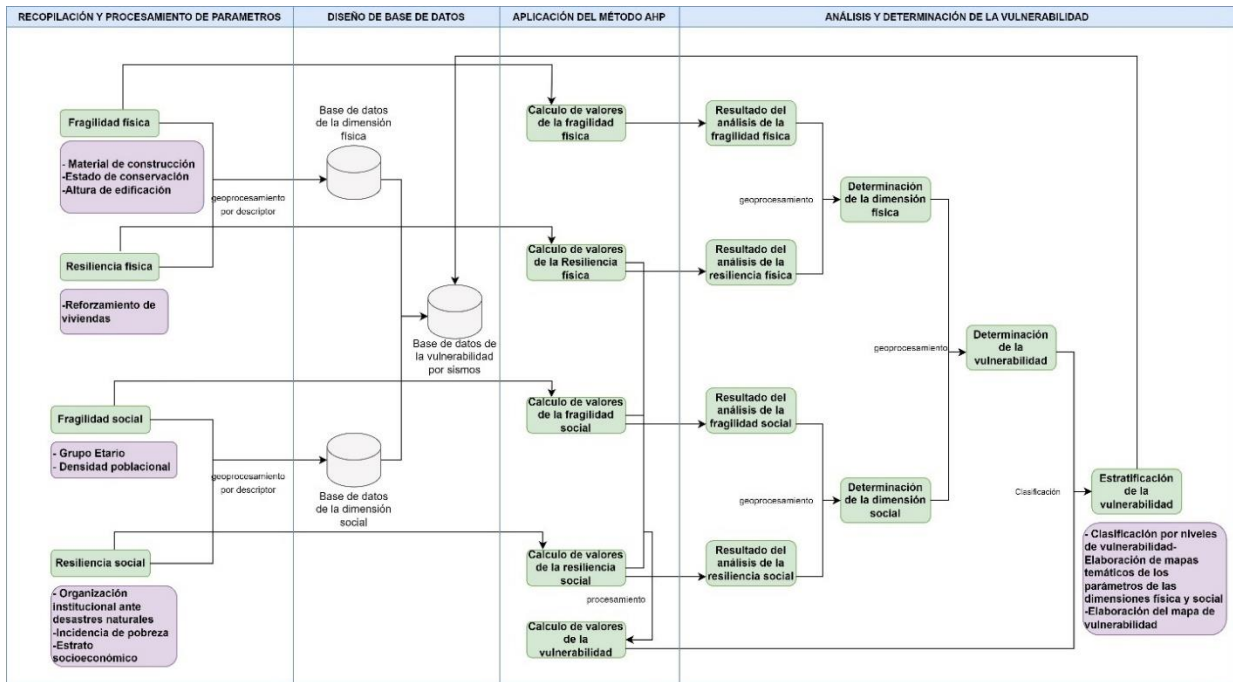
**3.6.3.2. Diseño de la base de datos.** Se elaboró el flujo de trabajo para determinar el peligro como se visualiza en la Figura 16, analizar la vulnerabilidad como se aprecia en la Figura 17 y determinar el riesgo de las edificaciones y población como se ve en la Figura 18.

**Figura 16**  
Flujo de trabajo para determinar el peligro



Nota: Elaboración propia

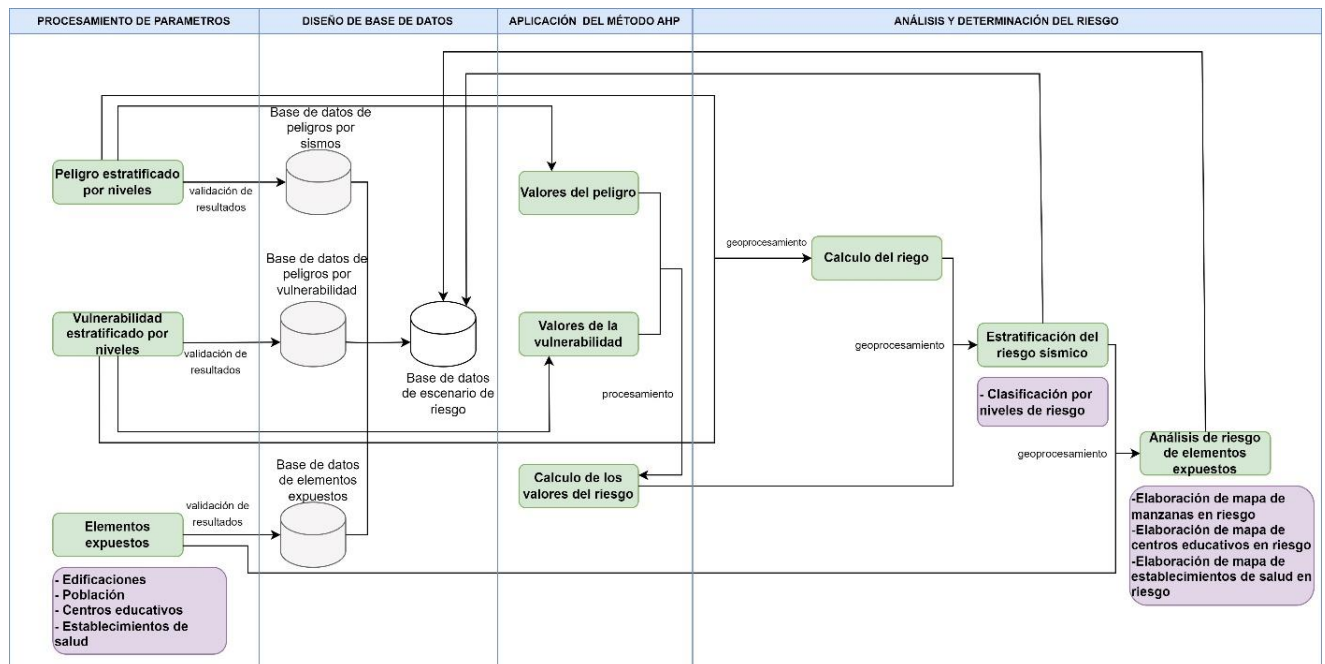
**Figura 17**  
Flujo de trabajo para el análisis de la vulnerabilidad



Nota: Elaboración propia

**Figura 18**

*Flujo de trabajo para el cálculo del riesgo y el análisis de los elementos expuestos*



*Nota:* Elaboración propia

### 3.6.4. Aplicación metodológica para la determinación del peligro y la vulnerabilidad

**3.6.4.1. Uso del Proceso de Análisis Jerárquico.** Para calcular el valor de los pesos de los parámetros y sus descriptores se aplicó la metodología de comparación de pares, la cual considera los siguientes pasos:

**A. Matriz de comparación de pares.** Para determinar los pesos se analizó en una matriz, en la cual se comparó todos los parámetros entre sí y se designó el nivel de valorización según la escala de Satty, para el llenado de la matriz se realizó la comparación entre el mismo parámetro, que da como resultado a la unidad, mientras que la relación entre parámetros distintos da como resultado un valor inverso al designado, como se muestra en la Figura 19:

**Figura 19**

Ejemplo de Matriz de comparación de pares

Descriptores del parámetro	Descriptores del parámetro					
	PARAMETROS	B1	B2	B3	B4	B5
B1		1	a	b	c	d
B2		1/a	1	e	f	g
B3		1/b	1/e	1	h	i
B4		1/c	1/f	1/h	1	j
B5		1/d	1/g	1/i	1/j	1
Suma		v	w	x	y	z
1/Suma		1/v	1/w	1/x	1/y	1/z

Nota: Elaboración propia

De la Figura 19 se detalla los siguiente:

- (B1, B2, B3, B4 Y B5): Son los descriptores del parámetro analizado.
- (1/a, ...1/j): Es la valorización según la escala de Saaty.
- (v, y, z): Es la sumatoria de cada columna de los valores determinados por la escala Saaty.
- (1/v, .... 1/z): Es el resultado de dividir la sumatoria entre la unidad.

**B. Matriz de normalización:** Estos valores de la matriz se obtienen luego de multiplicar cada valor de la columna por su valor 1/suma, como se detalla en la Figura 20.

**Figura 20**

Ejemplo de Matriz de normalización

PARAMETROS	B1	B2	B3	B4	B5
B1	$1*(1/v)$	$a*(1/w)$	$b*(1/x)$	$c*(1/y)$	$d*(1/z)$
B2	$1/a*(1/v)$	$1*(1/w)$	$he*(1/x)$	$f*(1/y)$	$g*(1/z)$
B3	$1/b*(1/v)$	$1/e*(1/w)$	$1*(1/x)$	$h*(1/y)$	$i*(1/z)$
B4	$1/c*(1/v)$	$1/f*(1/w)$	$1/h*(1/x)$	$1*(1/y)$	$J*(1/z)$
B5	$1/d*(1/v)$	$1/g*(1/w)$	$1/i*(1/x)$	$1/j*(1/y)$	$1*(1/z)$

Nota: Gómez 2020, Elaboración propia

**C. Vector de priorización.** Se obtuvieron los pesos ponderados a partir de la sumatoria de los vectores de priorización y la división entre el número de descriptores, esto se resume en la Figura 21.

**Figura 21**

Ejemplo de cálculo del vector de priorización

PARAMETROS	B1	B2	B3	B4	B5	Vector de priorización
B1	$1*(1/v)$	$a*(1/w)$	$b*(1/x)$	$c*(1/y)$	$d*(1/z)$	mB1
B2	$1/a*(1/v)$	$1*(1/w)$	$e*(1/x)$	$f*(1/y)$	$g*(1/z)$	mB2
B3	$1/b*(1/v)$	$1/e*(1/w)$	$1*(1/x)$	$h*(1/y)$	$i*(1/z)$	mB3
B4	$1/c*(1/v)$	$1/f*(1/w)$	$1/h*(1/x)$	$1*(1/y)$	$J*(1/z)$	mB4
B5	$1/d*(1/v)$	$1/g*(1/w)$	$1/i*(1/x)$	$1/j*(1/y)$	$1*(1/z)$	mB5

Nota: Gómez 2020, Elaboración propia

Cálculo del Vector de priorización:

$$(mB1) = [1*(1/v) + a*(1/w) + b*(1/x) + c*(1/y) + d*(1/z)]/4$$

**D. Cálculo de la Relación de consistencia.** Se verificó la consistencia del vector de priorización obtenido.

Por este motivo se realizó la comprobación mediante el cálculo del “Vector de suma”, “Lambda máxima”, “Índice de consistencia” y la “Relación de consistencia”.

**D.1. Vector Suma Ponderado.** Se calculó el producto de los vectores de priorización y los valores determinados por la matriz de Satty, este cálculo se muestra en la Figura 22.

**Figura 22**

Cálculo del vector de suma ponderado

Sumatoria de producto de vectores de priorización y valores calculados de la matriz					Vector de priorización
$1*(mB1)$	$a*(mB2)$	$b*(mB3)$	$c*(mB4)$	$d*(mB5)$	VSP1
$1/a*(mB1)$	$1*(mB2)$	$e*(mB3)$	$f*(mB4)$	$g*(mB5)$	VSP2
$1/b*(mB1)$	$1/e*(mB2)$	$1*(mB3)$	$h*(mB4)$	$i*(mB5)$	VSP3
$1/c*(mB1)$	$1/f*(mB2)$	$1/h*(mB3)$	$1*(mB4)$	$J*(mB5)$	VSP4
$1/d*(mB1)$	$1/g*(mB2)$	$1/i*(mB3)$	$1/j*(mB4)$	$1*(mB5)$	VSP5

Nota: Elaboración propia

**D.2. Lamba Máximo.** Se determinó mediante la división del vector de suma ponderado, el vector de priorización correspondiente y el promedio de los resultados obtenidos, este cálculo se muestra en la Figura 23.

**Figura 23***Cálculo del Lambda Máximo*

Cálculo de Lambda	VSP1/Mb1	VSP2/Mb2	VSP3/Mb3	VSP4/Mb4	VSP5/Mb5
Lambda	$\lambda$ máx1	$\lambda$ máx2	$\lambda$ máx3	$\lambda$ máx4	$\lambda$ máx5
Lambda Máximo ( $\lambda$ máx.)	$(\lambda \text{ máx1} + \lambda \text{ máx2} + \lambda \text{ máx3} + \lambda \text{ máx4} + \lambda \text{ máx5}) / 5$				

*Nota:* Elaboración propia

**D.3. Índice de Consistencia (IC).** Para calcular el índice de consistencia se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Índice de consistencia (IC)} = (\lambda \text{ máx} - n^{\circ} \text{ descriptores}) / (n^{\circ} \text{ descriptores} - 1)$$

**D.4. Relación de consistencia (RC).** Para determinar la relación de consistencia se utilizó la siguiente formula.

$$RC = IC/IA$$

El IA es el Índice Aleatorio de una Matriz de Comparaciones Pareadas. En la Figura 24 se muestran los valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices.

**Figura 24**

*Valores de IA según cantidad de descriptores*

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

*Nota:* Adaptado del *Manual de Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales v.2 (p.211)*, CENEPRED, 2015.

Para que la relación de consistencia sea válida el resultado para matrices de 3 parámetros de RC debe ser menor a 0.04, para matrices de cuatro parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menores a 0.10.

**3.6.4.2. Determinación del peligro.** Se analizó la relación entre la susceptibilidad y el fenómeno en evaluación, por lo cual se evaluó los parámetros identificados y sus respectivos descriptores mediante la metodología “Proceso de Análisis Jerárquico” – AHP.

**A. Determinación de los valores de susceptibilidad.** Se calculó la sumatoria del producto entre los factores físicos y los valores de sus respectivos descriptores, tal y como se muestra en la Figura 25.

**Figura 25**

*Cálculo del factor condicionante*

<b>Valor factor condicionante= (P1*D1) +(P2*D2) +(P3*D3) +(P4*D4) +(P5*D5)</b>										
<b>Factor condicionante</b>										<b>Valor del factor condicionante</b>
Geología		Geomorfología		Tipo de suelo		Microzonificación sísmica		Pendiente		
Pesos		Pesos		Pesos		Pesos		Pesos		Vcon
Param	Descrip	Param	Descrip	Param	Descrip	Param	Descrip	Param	Descrip	
P1	D1	P2	D2	P3	D3	P4	D4	P5	D5	

*Nota:* Elaboración propia

En la Figura 26 se puede visualizar el cálculo de los valores del factor desencadenante, las variables utilizadas para este análisis fueron las fallas de la ciudad de Ilo y la magnitud sísmica.

**Figura 26**

*Cálculo del factor desencadenante*

<b>Valor del factor desencadenante= (P1*D1) +(P2*D2)</b>				
<b>Factor desencadenante</b>				<b>Valor del factor desencadenante</b>
Fallas		Magnitud sísmica		
Pesos		Pesos		Vdes
Param	Descrip	Param	Descrip	
P1	D1	P2	D2	

*Nota:* Elaboración propia

Para la determinación de estos valores se calculó la sumatoria del producto entre los factores condicionantes y desencadenantes con sus respectivos pesos, para estas variables se

asignó el mismo peso, esto se debe al mismo nivel de importancia que tienen, tal y como se muestra en la Figura 27.

**Figura 27**

*Cálculo de la susceptibilidad*

<b>Valor de la susceptibilidad= (Vcon*0.5) + (Vdes*0.5)</b>				
<b>Susceptibilidad</b>				
<b>Factor condicionante</b>		<b>Factor desencadenante</b>		<b>Valor susceptibilidad</b>
<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	
Vcon	0.5	Vdes	0.5	Vsucep

*Nota:* Elaboración propia

**B. Determinación de los valores del fenómeno.** Se calculó el producto entre el parámetro aceleración sísmica y sus descriptores correspondientes, tal y como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28**

*Cálculo del fenómeno en evaluación*

<b>Valor del fenómeno= P1*D1</b>		
<b>Fenómeno en evaluación</b>		
<b>Aceleración sísmica</b>		<b>Valor del fenómeno en evaluación</b>
<b>Pesos</b>		
<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	
P1	D1	Vfen

*Nota:* Elaboración propia

**C. Determinación de los valores del peligro.** Se calculó la sumatoria del producto entre la susceptibilidad y el fenómeno en evaluación con sus respectivos pesos, para estas variables se asignó el valor de 0.6 al fenómeno en evaluación y 0,4 a la susceptibilidad, esto se debe al mayor nivel de importancia que tiene la variable aceleración sísmica en la determinación del peligro, tal y como se muestra en la Figura 29.



**Figura 29***Cálculo del peligro*

<b>Valor del peligro</b> =(Vsucep*0.4) +(Vfen*0.6)				
<b>Peligro</b>				<b>Valor del peligro</b>
<b>Susceptibilidad</b>		<b>Fenómeno en evaluación</b>		
<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	
Vsucep1	0.4	Vfen1	0.6	Vpel1
Vsucep2	0.4	Vfen2	0.6	Vpel2
Vsucep3	0.4	Vfen3	0.6	Vpel3
Vsucep4	0.4	Vfen4	0.6	Vpel4
Vsucep5	0.4	Vfen5	0.6	Vpel5

*Nota:* Elaboración propia

**D. Determinación de los niveles de peligro.** Los valores de peligro obtenidos se ordenan de mayor a menor y se determinan los rangos de peligro, como se aprecia en la Figura 30.

**Figura 30***Niveles de riesgo*

<b>Nivel de peligro</b>	
Vpel1 ≤ P ≤ Vpel2	<b>Muy Alto</b>
Vpel2 ≤ P ≤ Vpel3	<b>Alto</b>
Vpel3 ≤ P ≤ Vpel4	<b>Medio</b>
Vpel4 ≤ P ≤ Vpel5	<b>Bajo</b>

*Nota:* Elaboración propia

**3.6.4.3. Determinación de la vulnerabilidad.** Para determinar la vulnerabilidad se analizó los factores de exposición, fragilidad y resiliencia mediante la metodología AHP y sus dimensiones física y social.

**A. Determinación de los valores de dimensión física.** Respecto al cálculo de la dimensión física, en las Figura 31 y 32 se puede visualizar las fórmulas y el procedimiento para su determinación:

**Figura 31**

Cálculo de la fragilidad física

<b>Valor de fragilidad física= (P1*D1) +(P2*D2) +(P3*D3)</b>						
<b>Fragilidad Física</b>						<b>Valor de fragilidad física</b>
<b>Estado de conservación</b>		<b>Material de construcción</b>		<b>Altura de edificación</b>		
<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	
P1	D1	P2	D2	P3	D3	Vfragfis

Nota: Elaboración propia

**Figura 32**

Cálculo de la Resiliencia física

<b>Valor resiliencia física=P1*D1</b>		
<b>Resiliencia Física</b>		<b>Valor resiliencia física</b>
<b>Reforzamiento de viviendas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Descriptor</b>	
P1	D1	Vresfis

Nota: Elaboración propia

Para la determinación de los valores de la dimensión física se calculó la sumatoria del producto entre la fragilidad física y la resiliencia física con sus respectivos pesos, para estas variables se asignó el valor de 0.7 a la fragilidad física y 0,3 a la resiliencia física, esto se debe a que todos los registros de las edificaciones cuentan con la información de fragilidad, mientras que pocos registros a nivel de lotes tienen el dato de resiliencia, tal y como se muestra en la Figura 33.

**Figura 33**

Cálculo de la dimensión física

<b>Valor de dimensión física=(Vfragfis*0.7) +(Vresfis*0.3)</b>				
<b>Dimensión Física</b>				<b>Valor de dimensión física</b>
<b>Fragilidad Física</b>		<b>Resiliencia Física</b>		
<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	
Vfragfis	0.7	Vresfis	0.3	Vdimfis

Nota: Elaboración propia

**B. Determinación de los valores de dimensión social.** Respecto al cálculo de la dimensión social, en las Figura 34 y 35 se calculó los valores para los factores de fragilidad y resiliencia, además se puede visualizar las fórmulas y el procedimiento para su determinación:

**Figura 34**

*Cálculo de la fragilidad social*

<b>Valor de fragilidad social= (P1*D1) +(P2*D2)</b>				
<b>Fragilidad Social</b>				<b>Valor de fragilidad social</b>
<b>Grupo etario</b>		<b>Densidad poblacional</b>		
<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	
P1	D1	P2	D2	Vfragsoc

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 35**

*Cálculo de la resiliencia social*

<b>Valor de resiliencia social=(P1*D1) +(P2*D2) +(P3*D3)</b>						
<b>Resiliencia Social</b>						<b>Valor de Resiliencia social</b>
<b>Organización institucional</b>		<b>Incidencia de pobreza</b>		<b>Estrato socioeconómico</b>		
<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	<b>Param</b>	<b>Descrip</b>	
P1	D1	P2	D2	P3	D3	Vressoc

*Nota:* Elaboración propia

Para la determinación de los valores de la dimensión social se calculó la sumatoria del producto entre la fragilidad social y la resiliencia social con sus respectivos pesos, para estas variables se asignó pesos iguales debido a que tienen el mismo nivel de importancia, tal y como se muestra en la Figura 36.

**Figura 36**

*Cálculo de la dimensión social*

<b>Valor dimensión social=(Vfragsoc*0.5) +(Vressoc*0.5)</b>				
<b>Dimensión Social</b>				<b>Valor de dimensión social</b>
<b>Fragilidad Social</b>		<b>Resiliencia Social</b>		
<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	
Vfragsoc	0.5	Vressoc	0.5	Vdimsoc

*Nota:* Elaboración propia

**C. Determinación de los valores de vulnerabilidad.** Se calculó la sumatoria del producto entre la dimensión social y física con sus respectivos pesos, para estas variables se asignó pesos iguales, debido a que tienen el mismo nivel de importancia, tal y como se muestra en la Figura 37.

**Figura 37**

*Cálculo de la vulnerabilidad*

<b>Valor de la vulnerabilidad=(Vdimfis*0.5)+(Vdimsoc*0.5)</b>				
<b>Vulnerabilidad</b>				
<b>Dimensión Física</b>		<b>Dimensión Social</b>		<b>Valor de la vulnerabilidad</b>
<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	
Vdimfis1	0.5	Vdimsoc1	0.5	Vvul1
Vdimfis2	0.5	Vdimsoc2	0.5	Vvul2
Vdimfis3	0.5	Vdimsoc3	0.5	Vvul3
Vdimfis4	0.5	Vdimsoc4	0.5	Vvul4
Vdimfis5	0.5	Vdimsoc5	0.5	Vvul5

*Nota:* Elaboración propia

**D. Determinación de los niveles de vulnerabilidad.** Los valores de vulnerabilidad obtenidos se ordenan de mayor a menor y se determinan los rangos de vulnerabilidad, como se aprecia en la Figura 38.

**Figura 38**

*Niveles de vulnerabilidad*

<b>Nivel de vulnerabilidad</b>	
$Vvul1 \leq P \leq Vvul2$	<b>Muy Alto</b>
$Vvul2 \leq P \leq Vvul3$	<b>Alto</b>
$Vvul3 \leq P \leq Vvul4$	<b>Medio</b>
$Vvul4 \leq P \leq Vvul5$	<b>Bajo</b>

*Nota:* Elaboración propia

**3.6.4.4. Determinación del riesgo.** Para determinar los valores del riesgo sísmico se calculó el producto entre los valores del peligro y la vulnerabilidad, tal y como se muestra en la Figura 39:

**Figura 39**  
*Cálculo del riesgo*

		Valor del riesgo = $VV_{pel} * V_{vul}$			
<b>PMA</b>	P1	P1*V1	P1*V2	P1*V3	P1*V4
<b>PA</b>	P2	P2*V1	P2*V2	P2*V3	P2*V4
<b>PM</b>	P3	P3*V1	P3*V2	P3*V3	P3*V4
<b>PB</b>	P4	P4*V1	P4*V2	P4*V3	P4*V4
		V1	V2	V3	V4
		<b>VB</b>	<b>VM</b>	<b>VA</b>	<b>VMA</b>

*Nota:* Elaboración propia

Los valores del riesgo obtenidos se ordenan de mayor a menor y se determinan los rangos de riesgo sísmico, como se aprecia en la Figura 40.

**Figura 40**  
*Niveles de riesgo*

Nivel de riesgo	
$V_{ries1} \leq P \leq V_{ries2}$	<b>Muy Alto</b>
$V_{ries2} \leq P \leq V_{ries3}$	<b>Alto</b>
$V_{ries3} \leq P \leq V_{ries4}$	<b>Medio</b>
$V_{ries4} \leq P \leq V_{ries5}$	<b>Bajo</b>

*Nota:* Elaboración propia

### 3.7. Análisis de datos

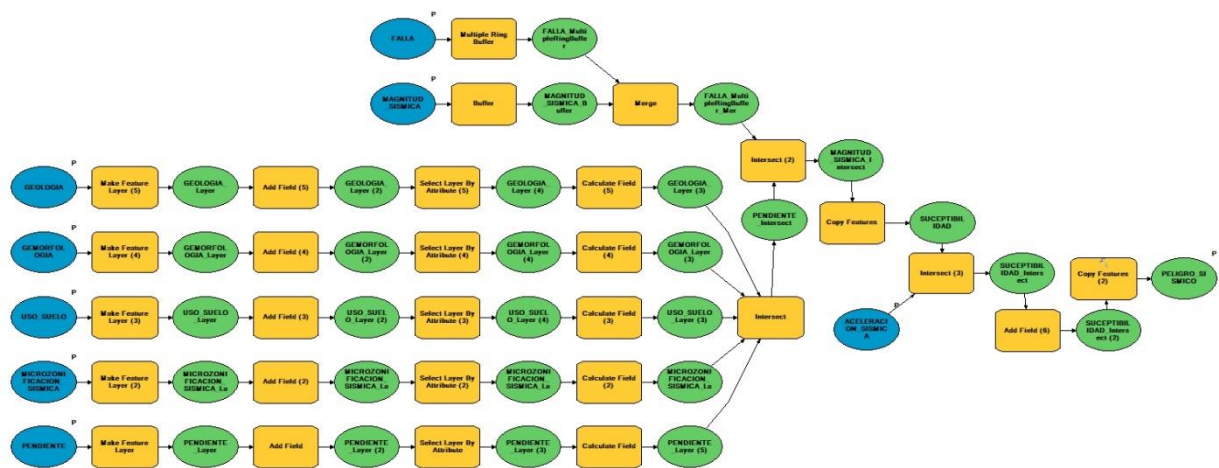
#### 3.7.1. Análisis del Peligro.

Se realizó el geoprocesamiento de la información temática de peligros y se asignó a cada una de las capas (geología, geomorfología, tipo de suelo, microzonificación sísmica y pendientes) los valores calculados con el método AHP.

Luego se realizó el modelamiento y automatización para determinar el peligro como se puede visualizar en la Figura 41, en la cual se realizó la intersección de todas estas capas temáticas para calcular el factor desencadenante, asimismo, se realizó el análisis de superposición con las capas de fallas y magnitud sísmica para obtener la susceptibilidad física, Finalmente se realizó el análisis de superposición con la capa de aceleración sísmica y se realizó la reclasificación considerando los rangos obtenidos para los niveles de peligro.

Figura 41

Modelo de geoprocresamiento para la determinación del peligro



Nota: Elaboración propia

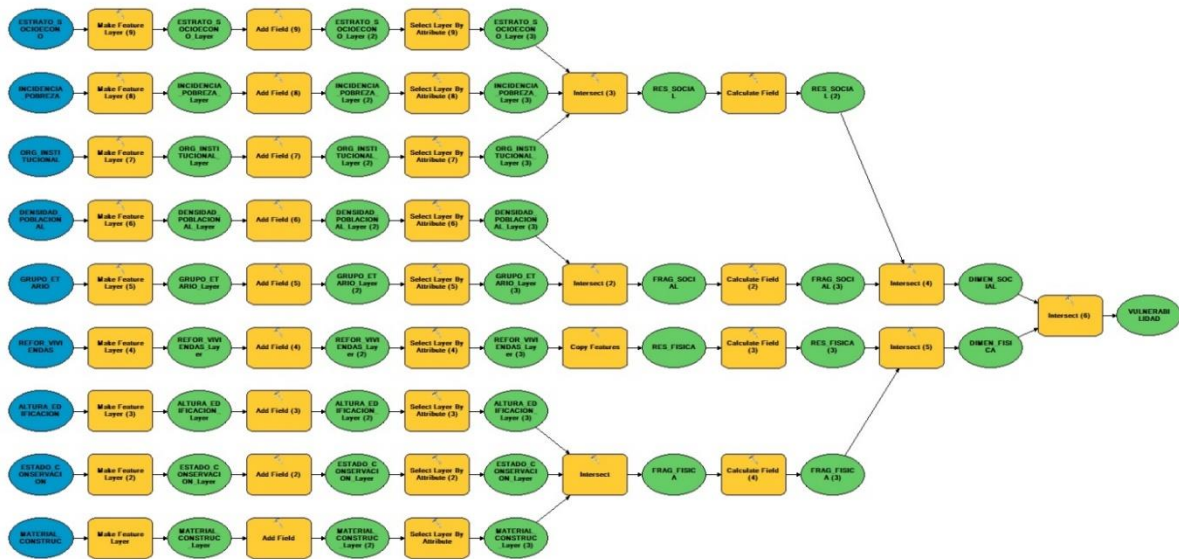
### 3.7.2. Análisis de la vulnerabilidad.

Se geoprocesó la información de vulnerabilidad y se asignó a cada una de las capas (Material de construcción, Estado de conservación, Altura de edificación, reforzamiento de viviendas, grupo etario, densidad poblacional, organización institucional, incidencia de pobreza y estrato socioeconómico) los valores calculados mediante el método AHP.

Luego se realizó el modelamiento y automatización para determinar la vulnerabilidad, como se puede visualizar en la Figura 42, en la cual se realizó la intersección de todas estas capas temáticas para calcular la dimensión física y social, finalmente se realizó otro análisis de superposición entre las dimensiones mencionadas para obtener la capa de vulnerabilidad por sismos. Finalmente, se procesó esta capa y se reclasificó considerando los rangos obtenidos para los niveles de vulnerabilidad.

Figura 42

Modelo de geoprocetamiento para el análisis de la vulnerabilidad



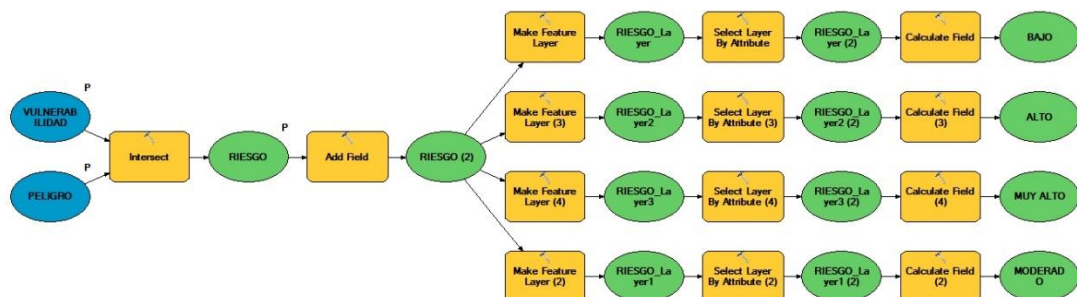
Nota: Elaboración propia

### 3.7.3. Estimación del riesgo.

Se realizó el procesamiento del riesgo mediante el análisis de superposición entre las capas de peligro y vulnerabilidad. Finalmente, se reclasificó los rangos obtenidos para los niveles de riesgo, tal y como se muestra en la Figura 43.

Figura 43

Modelo de geoprocetamiento para el cálculo del riesgo



Nota: Elaboración propia

### **3.8. Consideraciones éticas**

El presente estudio fue estructurado de tal manera que cumpla con los criterios éticos, tales como:

El respeto por las fuentes citadas: Se citó todas las fuentes bibliográficas según lo establecido en (APA-7 edición).

Idoneidad de la metodología utilizada: Debido a que la información con la que se realizó la evaluación de riesgo está acorde a la realidad de la ciudad de Ilo y se consideró todos los aspectos técnicos para la adecuada recopilación y geoprocesamiento de la información cartográfica.

Veracidad de los datos recopilados: La información básica utilizada para esta investigación corresponde a entidades del estado como la Municipalidad Provincial de Ilo y el INEI.



## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización y análisis de las variables físico y ambientales para determinar los niveles de peligro sísmico en la ciudad de Ilo

#### 4.1.1. Caracterización de los factores condicionantes del peligro

Se analizó, caracterizó y reclasificó la información cartográfica y se organizó en factores condicionantes (Geología, Geomorfología, Suelos y pendientes) y factores desencadenantes (fallas, aceleración sísmica y magnitud sísmica).

Asimismo, se digitalizó, analizó, caracterizó y reclasificó la información correspondiente al factor condicionante de Microzonificación Sísmica en el estudio de “Identificación de peligros de la Ciudad de Ilo”, y el factor desencadenante de aceleración sísmica en el estudio “Sobre la existencia de fallas geológicas activas en el distrito de Algarrobal”.

Finalmente, se organizó y clasifíco la información de parámetros y se reclasifíco por descriptores según lo indicado en el Capítulo III, numeral 3.6.3. Análisis y elaboración de base de datos, en el cual se detalla la organización de las capas temáticas procesadas.

**4.1.1.1. Geología.** Se realizó la reclasificación de este parámetro mediante el uso del atributo formación estratigráfica, el cual se evaluó según lo descrito en los atributos de origen y descripción litológica.

Respecto a la organización de la información, en la Figura 44 se puede apreciar que se clasificó considerando a las formaciones estratigráficas que favorecen a la ocurrencia del peligro sísmico, en los niveles de mayor importancia se encuentran las formaciones estratigráficas con características litológicas poco consolidadas y sedimentarias, que condicionan a un mayor nivel de peligro para las infraestructuras y población, mientras que en los niveles inferiores se encuentran unidades estratigráficas muy consolidadas o de procedencia ígnea.

Asimismo, en la Figura 45 se puede visualizar la predominancia de la formación estratigráfica depósito aluvial 1, el cual es un condicionante para obtener un nivel de peligrosidad alto, respecto al parámetro geología.

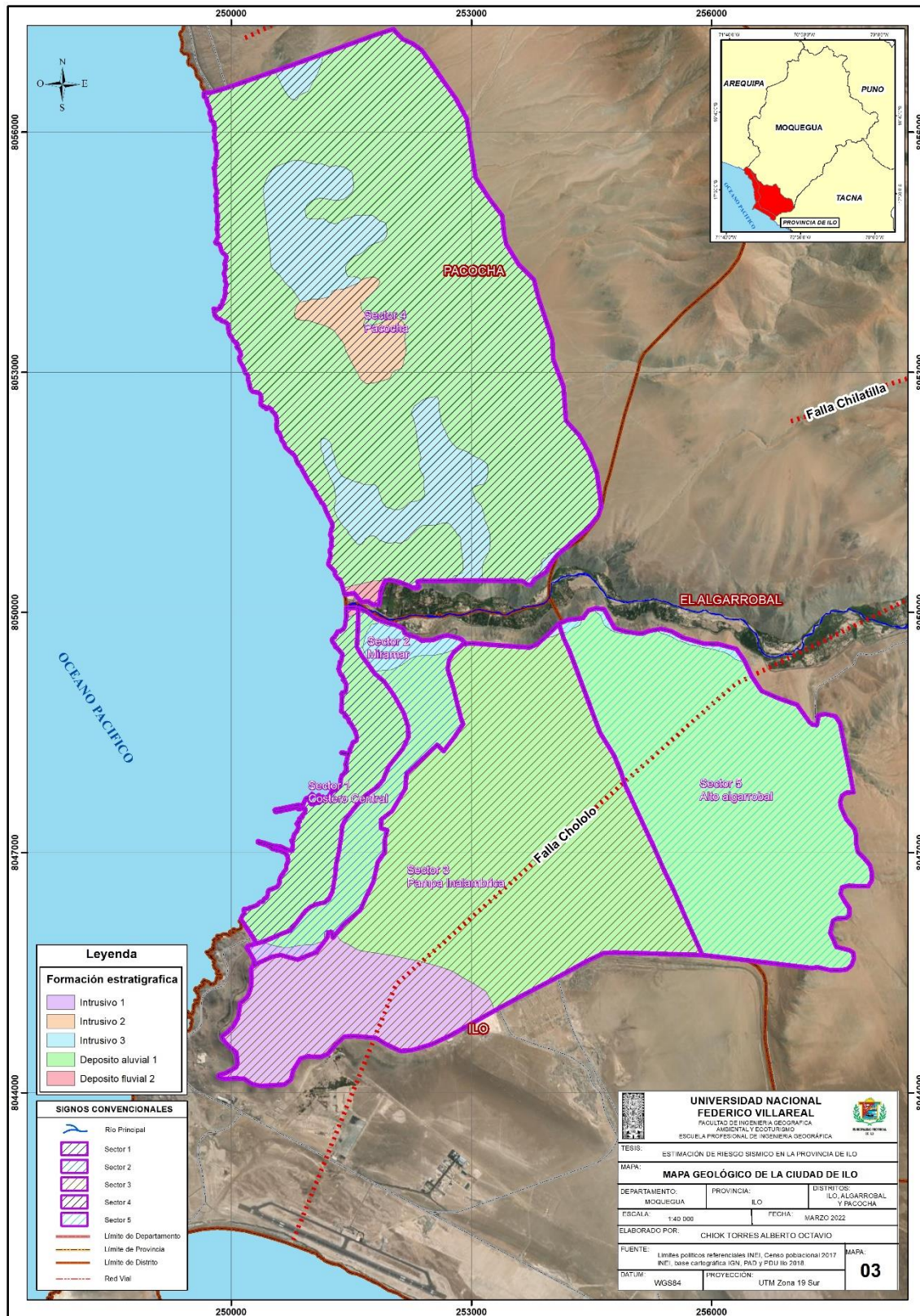
#### **Figura 44**

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro geología*

<b>Código geología</b>	<b>Formación estratigráfica</b>	<b>Origen</b>	<b>Descripción de litología</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
G1	Depósitos Aluviales 1	Sedimentario	Grava, arenas mal clasificadas en matriz areno limosa	1
G2	Depósitos Fluviales 2	Sedimentario	Terraza fluvial con gravas.	2
G3	Intrusivo 1	Intrusivos	Dioritas holocristalinas con textura granular con hornblenda.	3
G4	Intrusivo 2	Intrusivos	Granodiorita de textura granular, con hornblenda, plagioclasas, venillas de epidota.	4
G5	Intrusivo 3	Intrusivos	Granodiorita granular con pulsos de dioritas holocristalina con textura granular con hornblenda.	5

*Nota:* Adaptado del *Estudio Geológico de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo*, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.

**Figura 45**  
Geología de la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

**4.1.1.2. Geomorfología.** Se realizó la reclasificación de este parámetro mediante el uso del atributo unidad geomorfológica, el cual se evaluó considerando la descripción geomorfológica.

Respecto a la organización de la información, en la Figura 46 se puede apreciar que se clasificó considerando a las unidades geomorfológicas que favorecen a la ocurrencia del peligro sísmico, en los niveles de mayor importancia se encuentran aquellas unidades con un mayor nivel pendiente y relieve abrupto, mientras que en los niveles inferiores se encuentran aquellas unidades con escaso nivel de pendiente y relieve plano.

Finalmente, en la Figura 47 se puede visualizar que las unidades geomorfológicas con mayor nivel de importancia en la generación de un evento sísmico como; Cauce torrencial seco gravoso y piedemonte gravoso, se encuentran localizados en los sectores Pacocha, Miramar y Pampa Inalámbrica.

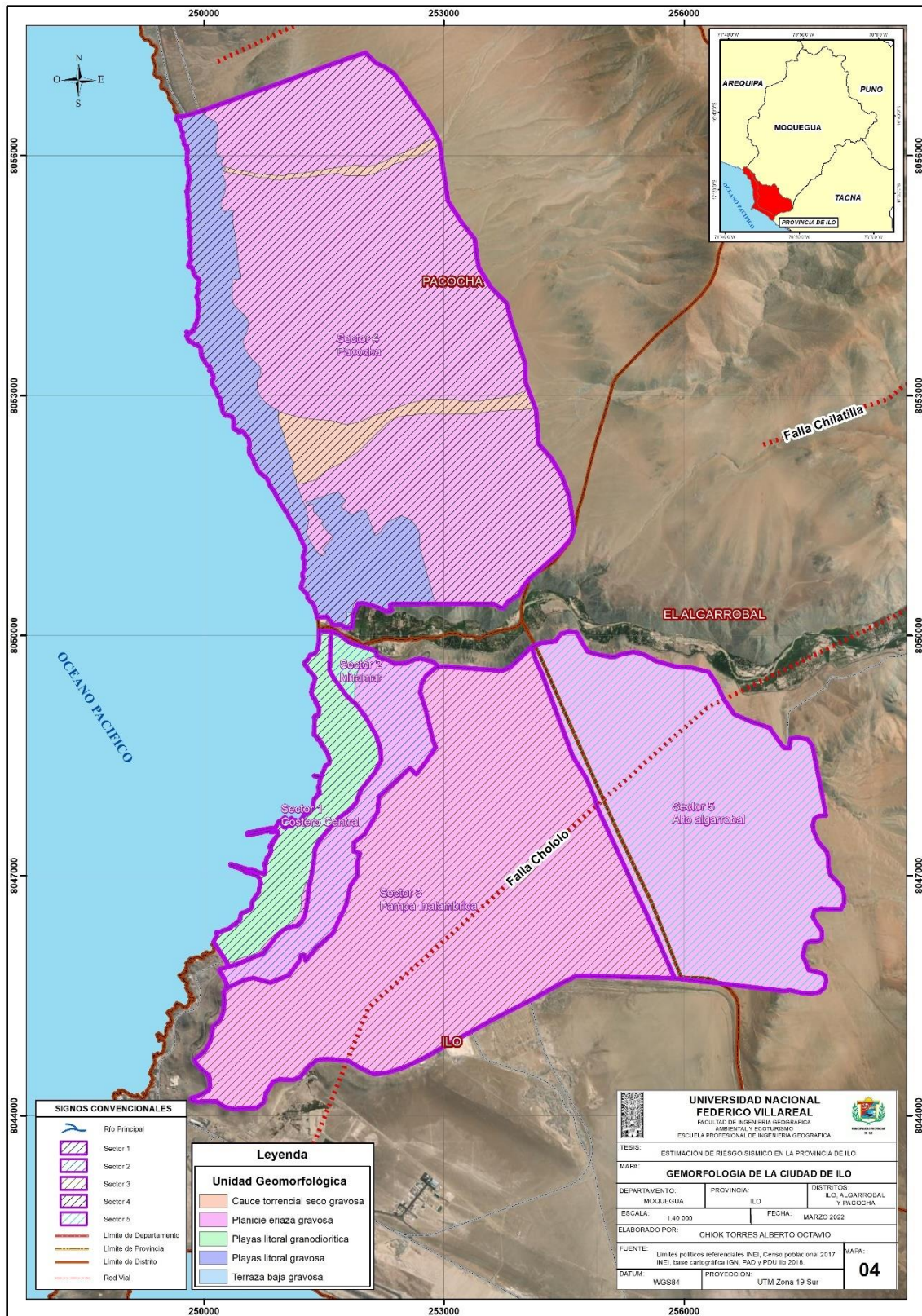
#### **Figura 46**

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro geomorfología*

<b>Código Geomorfología</b>	<b>Unidad Geomorfológica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
G1	Cauce torrencial seco gravosa	Cauce torrencial seco gravosa moderadamente disectada	1
G2	Piedemonte gravoso	Piedemonte gravoso moderadamente disectada	2
G3	Planicie eriaza gravosa	Planicie eriaza gravosa ligeramente disectada	3
G4	Playas litorales granodiorítica	Playas litorales gravosa ligeramente disectada	4
G5	Terraza baja gravosa	Terraza baja gravosa ligeramente disectada	5

*Nota:* Adaptado del *Estudio Geomorfológico de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo*, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.

**Figura 47**  
Geomorfología de la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

**4.1.1.3. Suelos.** Se realizó la reclasificación de este parámetro mediante el análisis del atributo propiedades del suelo, el cual se evaluó considerando las características del suelo según su nivel resistencia para los factores de profundidad, textura y permeabilidad.

Respecto a la organización de la información, en la Figura 48 se puede apreciar que se clasificó considerando las características físicas del suelo que favorecen a la ocurrencia del peligro sísmico, en los niveles de mayor importancia se encuentran los suelos con características físicas como textura media y gran permeabilidad, mientras que en los niveles inferiores se encuentran los tipos de suelos con características físicas como textura gruesa y permeabilidad moderada, lo cual condiciona a que estos tipos de suelos tenga una mejor respuesta frente a un evento sísmico.

**Figura 48**

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro suelo*

<b>Propiedades del suelo</b>	<b>Código suelos</b>	<b>Características</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
<b>Profundidad, textura y permeabilidad</b>	<b>S1</b>	Muy Profundo, Textura media, permeabilidad muy rápida	1
	<b>S2</b>	Profundo, Textura media, permeabilidad rápida	2
	<b>S3</b>	Profundo, textura gruesa, permeabilidad rápida	3
	<b>S4</b>	Profundidad superficial, textura gruesa a moderadamente gruesa, permeabilidad rápida	4
	<b>S5</b>	Moderadamente profundo, textura moderadamente gruesa, permeabilidad moderadamente rápida	5

*Nota:* Adaptado del *Estudio de Suelos de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo*, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.

**4.1.1.4. Microzonificación sísmica.** Para este parámetro se analizó el atributo de tipo suelo, el cual hace referencia a la clasificación del suelo según la Norma Técnica de Construcción Sismorresistente (Norma E030).

Referente a la organización de la información, en la Figura 49 se puede apreciar las características de cada tipo de suelo y su descripción por localización, estos datos fueron organizados según el nivel de importancia en la generación de un evento sísmico, por lo cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a los tipos suelos con características excepcionalmente flexibles que facilitan el desplazamiento de las ondas sísmicas, mientras que en los niveles inferiores se encuentran los tipos de suelos con características muy rígidas que dificultan el desplazamiento de las ondas sísmicas.

Finalmente, en la Figura 50 se puede visualizar la predominancia del tipo de suelo IV, en los sectores Pampa Inalámbrica y Nuevo Algarrobal, lo cual condiciona a que estos sectores obtengan un nivel de peligrosidad alto.

#### **Figura 49**

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro microzonificación sísmica*

<b>Tipo de suelos</b>	<b>Característica</b>	<b>Descripción de localización</b>
Suelo Tipo IV	Suelos excepcionalmente flexibles	Este tipo de suelo se encuentra ubicado en la zona sur de Ceticos y la Pampa Inalámbrica, los cuales están constituido por areniscas y limo. Debido a esta constitución estructural, este tipo de suelo tiene las características más desfavorables
Suelo Tipo III	Suelos Blandos	Este tipo de suelo se encuentra ubicado en dos zonas, la primera corresponde al sector de Garibaldi, la cual está conformada por una zona de relleno sedimentario, con suelo areno gravosos poco compacto y presencia de sales solubles y la segunda que se localiza en la Pampa Inalámbrica, la cual se halla sobre unos pocos metros de relleno areno gravoso con una gran presencia de sales solubles, por este motivo es necesario un control de las filtraciones de aguas superficiales en estas zonas, debido a que estas filtraciones pueden causar la disolución del suelo y por consiguiente aumentar el riesgo de colapso de las edificaciones.

Suelo Tipo II	Suelos Intermedios	Este tipo de suelo se localiza en el sector del distrito de Pacocha, el cual está constituido por lechos aluviales por su composición de bloques y gravas redondeados, arenas gruesas a finas que establecen buenas características al suelo y la presencia mínima de sales solubles que condicionan a que estos tipos de suelo tenga una buena estabilidad frente a eventos sísmicos.
Suelo Tipo I	Roca o suelos muy rígidos	Estos tipos de suelo se encuentran localizados en la zona del puerto de la ciudad de Ilo y en los afloramientos hacia la Pampa Inalámbrica, donde el tipo de roca predominantes es de origen intrusivo, principalmente granodioritas y dioritas. Debido a estas características el tipo de suelo tienen una muy buena estabilidad frente a eventos sísmicos.

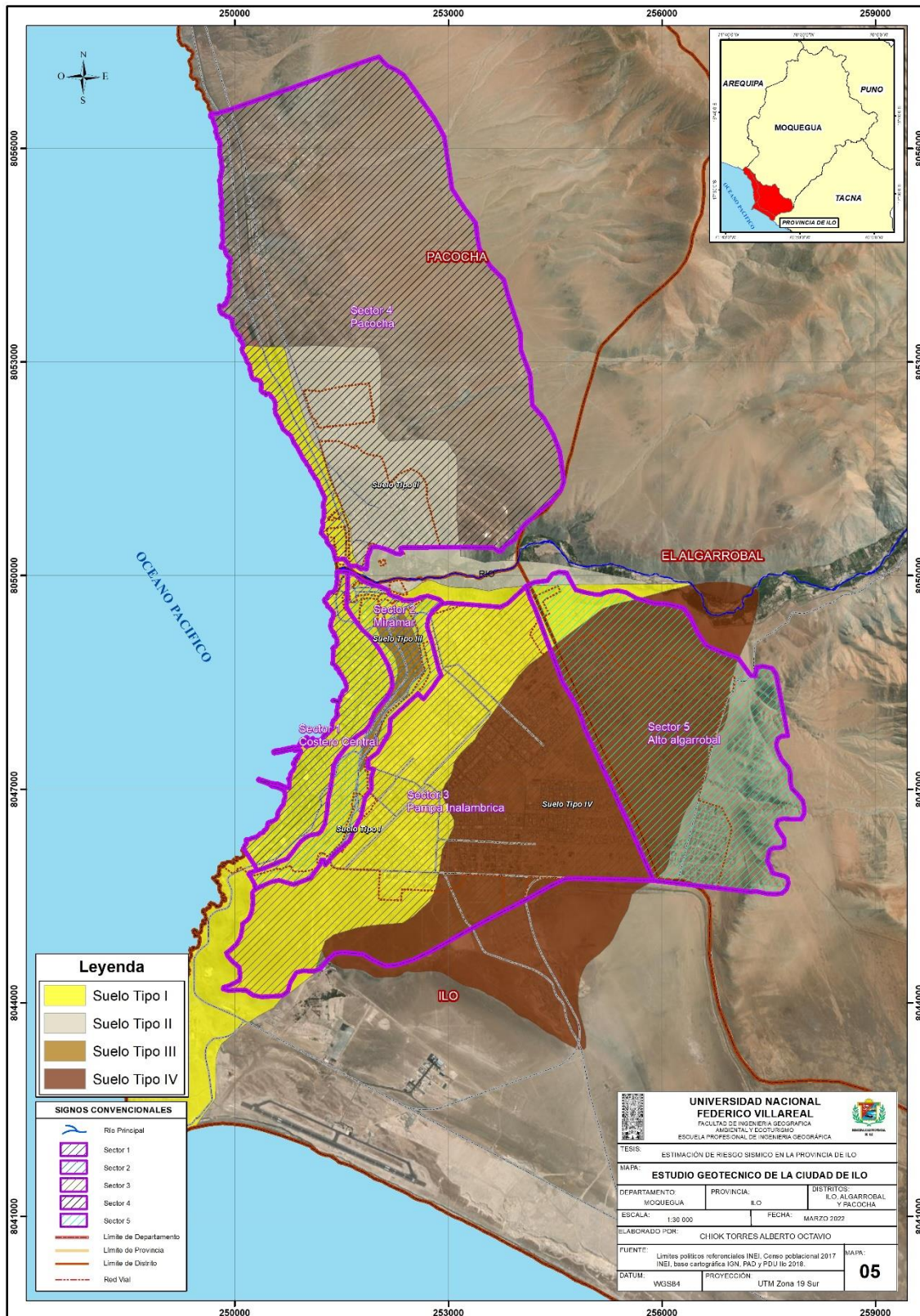
---

*Nota:* Adaptado del estudio *Evaluación de peligros de La ciudad de Ilo* (p.65), UNSA -INDECI,

2001.



**Figura 50**  
Tipos de suelo según estudio geotécnico



Nota: Elaboración propia

**4.1.1.5. Pendientes.** Se realizó la reclasificación de este parámetro mediante el uso del atributo rango de pendiente, del cual se obtuvo 5 rangos en porcentaje.

Respecto a la organización de la información, en la Figura 51 se puede observar los rangos de pendiente en porcentaje y la descripción del relieve de la ciudad de Ilo, estos datos fueron organizados según el nivel de relevancia frente a la ocurrencia de deslizamientos ocasionados por un evento sísmico de gran magnitud, por lo cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a zonas con relieve abrupto los cuales pueden ocasionar deslizamientos en zonas urbanas, mientras que en los niveles inferiores hace referencia a zonas sin relieve o planas las cuales no ocasionan algún peligro.

Finalmente, en la Figura 52 se puede visualizar que los sectores con mayor nivel de pendientes corresponden a los Sectores Miramar, Pacocha y Algarrobal, de los cuales el sector Miramar es el más susceptible a deslizamientos.

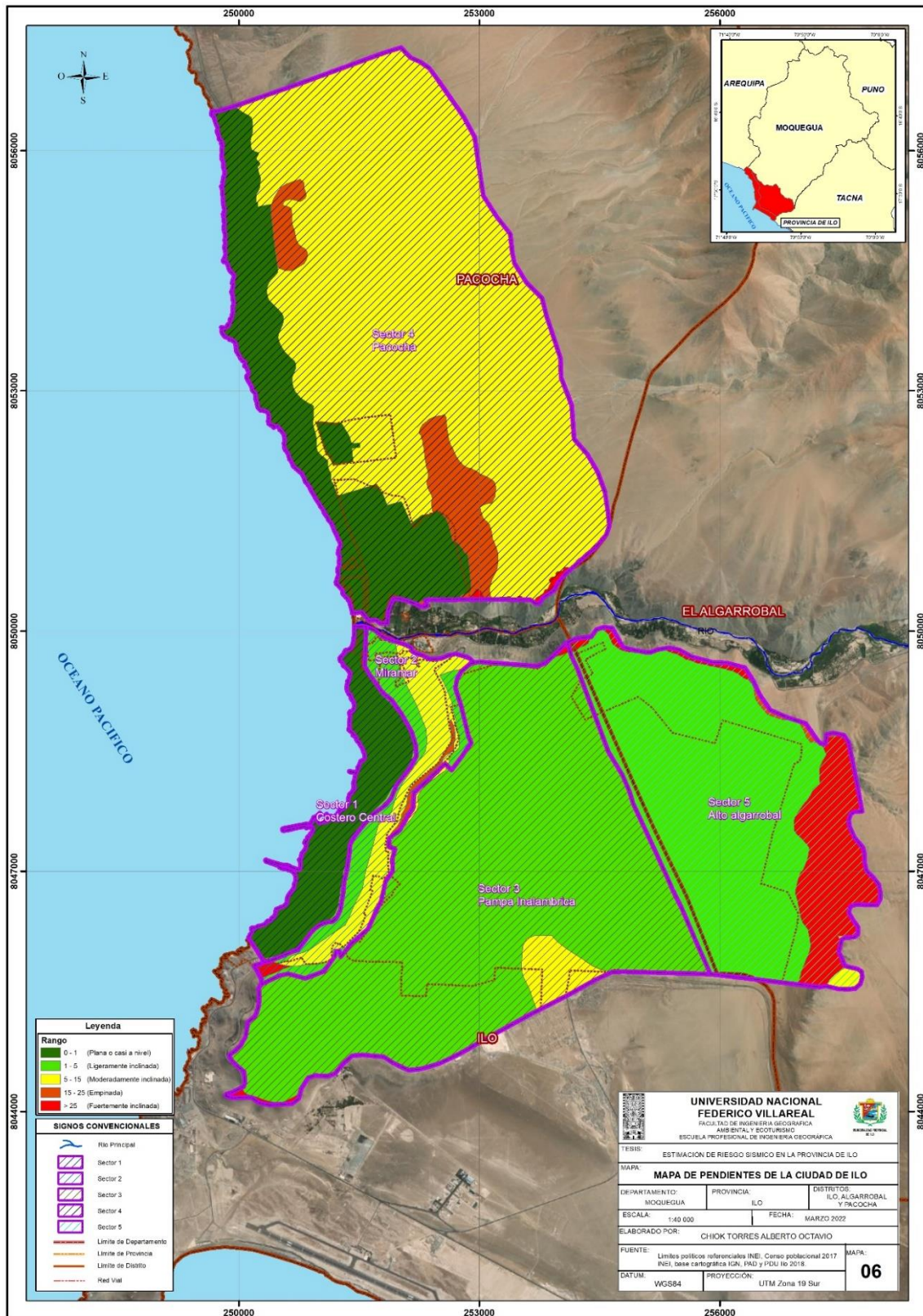
### **Figura 51**

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro pendiente*

<b>Rango de pendiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
25° a mas	Fuertemente inclinada	1
15° a 25°	Empinada	2
5° a 15°	Moderadamente empinada	3
1° a 5°	Ligeramente inclinada	4
0° a 1°	Plana o casi a nivel	5

*Nota: Adaptado del Estudio Geomorfológico de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.*

**Figura 52**  
Pendientes de la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

#### 4.1.2. Caracterización de los factores desencadenante del peligro

**4.1.2.1. Fallas.** Se realizó el análisis y clasificación de este parámetro considerando la posible área de impacto de la falla de Chololo. A continuación, en la Figura 53 se detalla la descripción de la localización y características de la falla.

### Figura 53

*Característica de la falla de Chololo*

<b>Falla</b>	<b>Extensión</b>	<b>Descripción</b>
Falla de Chololo	15 km	Se encuentra localizada cruzando la ciudad Ilo y se extiende por 15 Km. La escarpa tiene más de 100m de altura y esta comienza en la Pampa de Hospicio hasta desaparecer en el cañón del río Ilo

*Nota:* Adaptado del *Submodelo frente a la presencia de peligro de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo*, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.

Referente a la organización de la información, en la Figura 54 se puede apreciar las áreas de influencia de impacto, las cuales fueron organizadas considerando la cercanía de las infraestructuras de la ciudad de Ilo respecto a la falla de Chololo, en los niveles de mayor importancia se encuentra el área de influencia de “0 a 1km”, mientras que en los niveles inferiores se encuentra el área de influencia “4km a más”. Finalmente, en la Figura 55 se puede visualizar la ubicación de la falla de Chololo en la ciudad de Ilo.

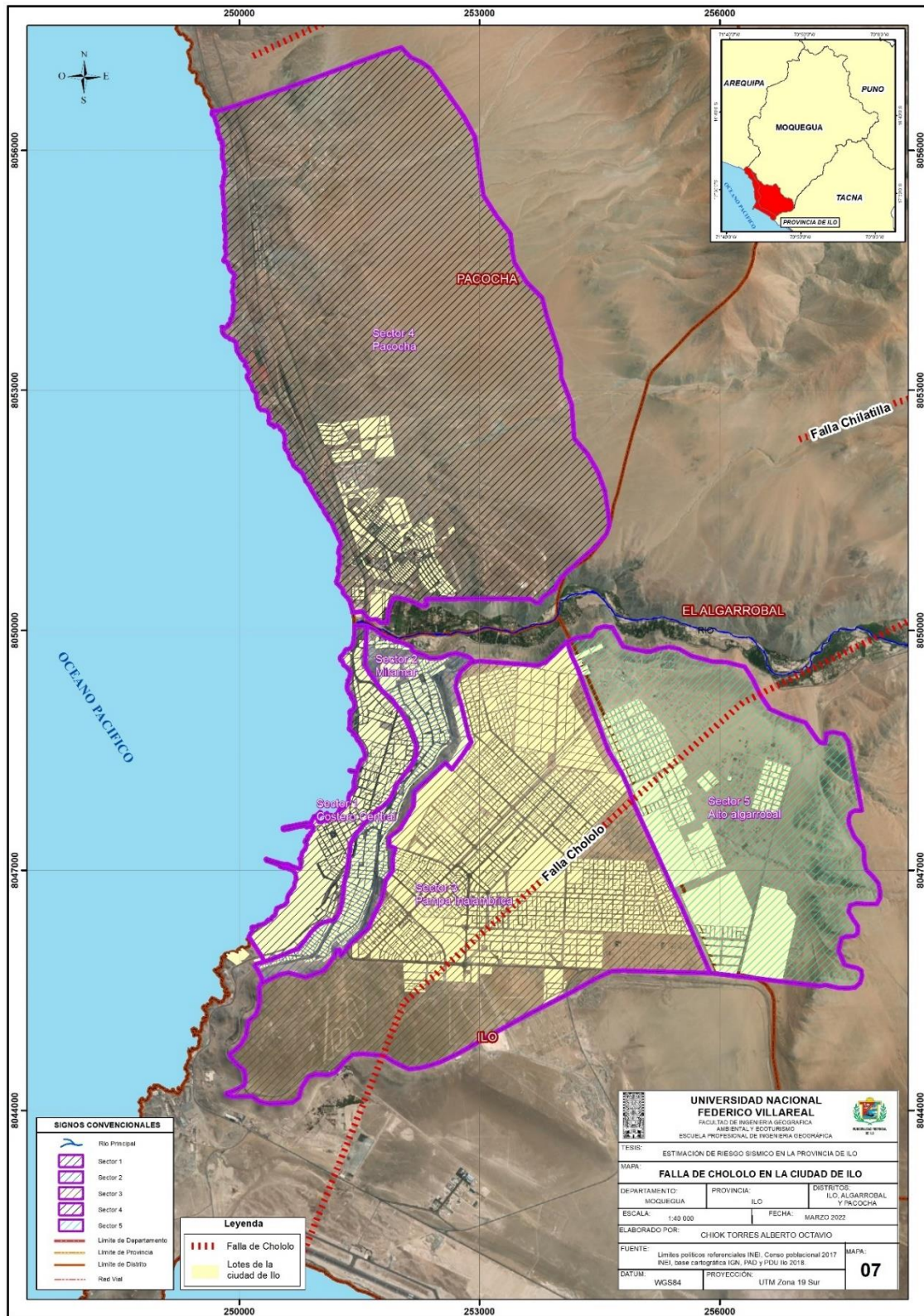
### Figura 54

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro fallas*

<b>Área de influencia de impacto por falla</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
0 km a 1 Km	1
1 km a 2 km	2
2 km a 3Km	3
3 km a 4 Km	4
más de 4 Km	5

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 55**  
*Fallas en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

**4.1.2.2. Magnitud sísmica.** Se procesó 44 registros de eventos sísmicos dentro y alrededor del ámbito de estudio y el intervalo de tiempo de estos registros corresponde desde el año 2005 hasta el año 2016.

Para el análisis de este parámetro se usó el atributo magnitud sísmica, del cual se obtuvo 5 rangos de magnitud, los cuales están clasificados según el nivel de intensidad en la escala de Richter.

Referente a la organización de la información, en la Figura 56 se puede apreciar las magnitudes sísmicas históricas, las cuales fueron organizadas considerando el nivel de intensidad, en el nivel de mayor importancia se encuentra el evento hipotético de un sismo de gran magnitud de grado 8 en la escala Richter, mientras que en los niveles inferiores se encuentran eventos sísmicos históricos durante los últimos 11 años, como sismos de 4 a 6 en la escala de Richter.

**Figura 56**

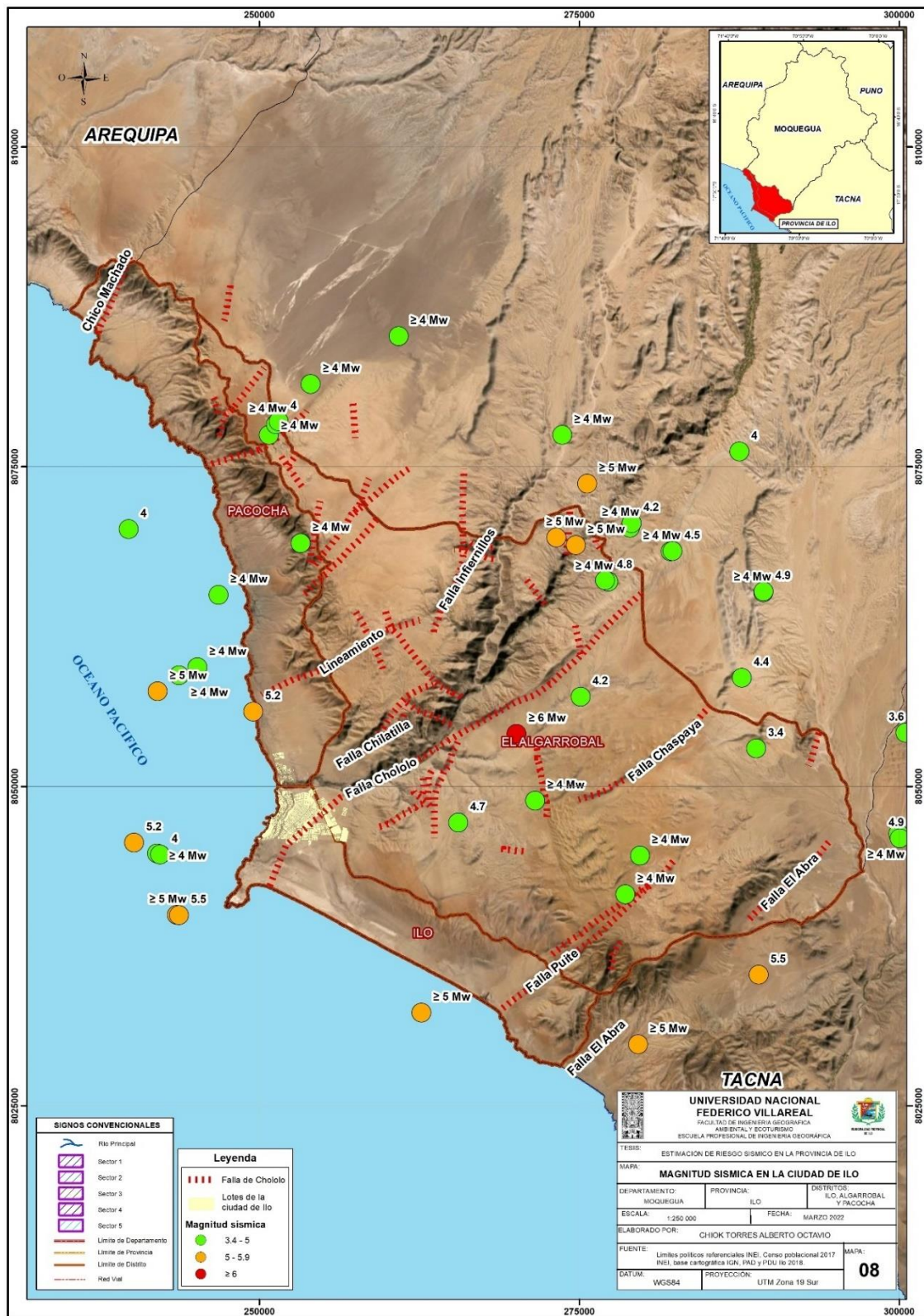
*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro magnitud sísmica*

<b>Magnitud sísmica histórica</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
8° a mas	1
7° a 8°	2
6° a 7°	3
5° a 6°	4
4° a 5°	5

*Nota:* Adaptado del *Submodelo frente a la presencia de peligro de la Microzonificación Ecológica Económica de la Provincia de Ilo*, Municipalidad Provincial de Ilo, 2018.

Finalmente, en la Figura 57 se puede visualizar la distribución espacial de los eventos sísmicos ocurridos y clasificados por el nivel de intensidad en grados Richter.

**Figura 57**  
Magnitud sísmica en la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

### 4.1.3. Caracterización del fenómeno

**4.1.3.1. Aceleración sísmica.** Para el análisis de este parámetro se analizó el atributo Aceleración pico del terreno (PGA), este atributo está relacionado con la velocidad y aceleración sísmica, por lo cual es un indicador importante para identificar el nivel de peligro en la ciudad de Ilo.

Respecto a la organización de la información, en la Figura 58, se puede observar la clasificación por niveles de aceleración sísmica, mediante el uso de los rangos propuestos por la norma E 030 del Ministerio de vivienda, estos datos fueron organizados según el nivel de relevancia frente a la ocurrencia de un evento sísmico, por lo cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a las zonas con una aceleración sísmica mayor a los 0.45g, mientras que en los niveles inferiores hace referencia a zonas con una aceleración sísmica menor a los 0.1g.

#### Figura 58

*Nivel de importancia frente al peligro por sismos del parámetro aceleración sísmica*

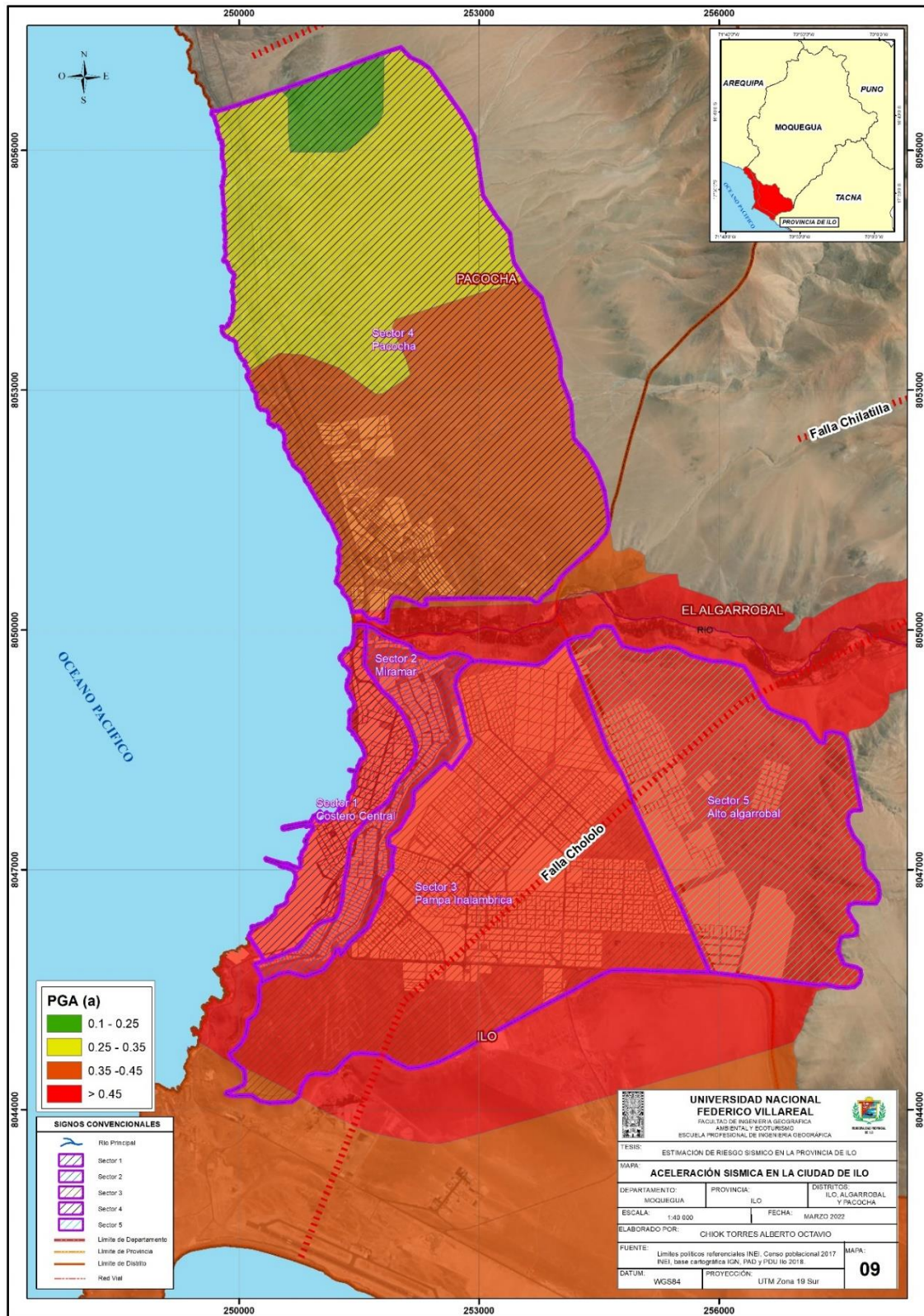
<b>Aceleración pico del terreno (PGA)</b>	<b>Nivel de importancia frente al peligro por sismos</b>
> 0.45	1
0.35 - 0.45	2
0.25 - 0.35	3
0.1 - 0.25	4
< 0.1	5

*Nota:* Adaptado del *Informe sobre la existencia de fallas geológica activas en el distrito El Algarrobal* (p.12), INGEMMET, 2019.

Finalmente, en el Figura 59 se puede ver una predominancia de las zonas con aceleraciones sísmicas mayores a 0.45g, lo que ocasiona que la ciudad de Ilo se encuentre en una zona susceptible, debido a las propiedades físicas de las rocas y depósitos no consolidados.



**Figura 59**  
*Aceleración sísmica en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

#### 4.1.4. Determinación de la susceptibilidad

Para este análisis se utilizó los parámetros que se pueden visualizar en la Figura 60 y se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.2. Determinación del peligro, en el cual se detalla el procedimiento para determinar la susceptibilidad.

#### Figura 60

*Parámetros para determinar la susceptibilidad*

<b>Susceptibilidad</b>	
<b>Factores condicionantes</b>	<b>Factor desencadenante</b>
Geología	Fallas
Geomorfología	
Tipo de suelo	
Microzonificación sísmica	Sismo de gran magnitud
Pendientes	

*Nota:* Elaboración propia

**4.1.4.1. Evaluación de los factores condicionantes.** Se realizó el análisis de los parámetros geología, geomorfología, tipo de suelo, microzonificación sísmica y pendientes, para lo cual se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.1.

##### **A. Geología**

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.1.1. Geología, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la geología como se muestra en la Figura 61 y la matriz de normalización para la geología como se muestra en la Figura 62, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares, estos valores varían desde 0.468 a 0.035, del cual destaca el valor del descriptor referido a la clasificación litológica “Grava, arenas mal clasificadas en matriz areno limosa (G1)” que tiene un índice de 0.468, mientras que el descriptor con menor valor es “Granodiorita granular con pulsos de dioritas holocristalina con textura granular con hornblenda (G5)” con un valor de 0.035.

**Figura 61***Matriz de comparación de pares para geología*

<b>Geología</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>
G1	1.00	2.00	4.00	8.00	9.00
G2	0.50	1.00	4.00	5.00	7.00
G3	0.25	0.25	1.00	4.00	4.00
G4	0.13	0.20	0.25	1.00	3.00
G5	0.11	0.14	0.25	0.33	1.00
<b>Suma</b>	1.99	3.59	9.50	18.33	24.00
<b>1/Suma</b>	0.50	0.28	0.11	0.05	0.04

*Nota:* Elaboración propia**Figura 62***Matriz de normalización para la geología*

<b>Geología</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>Vector de priorización</b>
G1	0.503	0.557	0.421	0.436	0.375	0.468
G2	0.252	0.278	0.421	0.273	0.292	0.307
G3	0.126	0.070	0.105	0.218	0.167	0.131
G4	0.063	0.056	0.026	0.055	0.125	0.059
G5	0.056	0.040	0.026	0.018	0.042	0.035

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente se obtuvieron los valores validados y la descripción litológica de cada unidad como se visualiza en la Figura 63, en la cual se detalla las unidades geológicas con características físicas menos consolidadas que contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico.

**Figura 63***Valores para el parámetro geología*

<b>Geología</b>	<b>Descripción de litología</b>	<b>Valores del parámetro</b>
G1	Grava, arenas mal clasificadas en matriz areno limosa	0.468
G2	Terraza fluvial con gravas.	0.307
G3	Dioritas holocristalinas con textura granular con hornblenda.	0.131
G4	Granodiorita de textura granular, con hornblenda, plagioclasas, venillas de epidota.	0.059
G5	Granodiorita granular con pulsos de dioritas holocristalina con textura granular con hornblenda.	0.035

*Nota:* Elaboración propia

### B. Geomorfología

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.1.2. Geomorfología, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la geomorfología como se muestra en la Figura 64 y la matriz de normalización para la geomorfología como se muestra en la Figura 65, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.425 a 0.045, del cual destaca el valor del descriptor referido a la descripción geomorfológica “Cauce torrencial seco gravosa moderadamente disectada (Gm1)” que tiene un índice de 0.425, mientras que el descriptor con menor valor es “Terraza baja gravosa ligeramente disectada (Gm5)” con un índice de 0.045.

**Figura 64**

*Matriz de comparación de pares para geomorfología*

Geomorfología	Gm1	Gm2	Gm3	Gm4	Gm5
Gm1	1.00	2.00	4.00	5.00	5.00
Gm2	0.50	1.00	3.00	4.00	5.00
Gm3	0.25	0.33	1.00	4.00	5.00
Gm4	0.20	0.25	0.25	1.00	4.00
Gm5	0.20	0.20	0.20	0.25	1.00
<b>Suma</b>	2.15	3.78	8.45	14.25	20.00
<b>1/Suma</b>	0.47	0.26	0.12	0.07	0.05

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 65**

*Matriz de normalización para la geomorfología*

Geomorfología	Gm1	Gm2	Gm3	Gm4	Gm5	Vector de priorización
Gm1	0.465	0.529	0.473	0.349	0.263	0.425
Gm2	0.233	0.264	0.355	0.279	0.263	0.291
Gm3	0.116	0.088	0.118	0.279	0.263	0.163
Gm4	0.093	0.066	0.030	0.070	0.158	0.076
Gm5	0.093	0.053	0.024	0.023	0.053	0.045

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados y la descripción de la unidad geomorfológica como se visualiza en la Figura 66, en la cual se detalla que las unidades geomorfológicas con relieves más abruptos y mayor pendiente contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico.

### **Figura 66**

*Valores para el parámetro geomorfología*

<b>Geomorfología</b>	<b>Descripción geomorfológica</b>	<b>Valores del parámetro</b>
Gm1	Cauce torrencial seco gravosa moderadamente disectada	0.425
Gm2	Piedemonte gravoso moderadamente disectada	0.291
Gm3	Planicie eriaza gravosa ligeramente disectada	0.163
Gm4	Playas litorales gravosa ligeramente disectada	0.076
Gm5	Terraza baja gravosa ligeramente disectada	0.045

*Nota:* Elaboración propia

### **C. Suelos**

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.1.3. Suelos, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para suelos como se muestra en la Figura 67 y la matriz de normalización para suelos como se muestra en la Figura 68, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.439 a 0.026, del cual destaca el valor del descriptor referido a las características del suelo “Muy Profundo, Textura media, permeabilidad muy rápida (S1)” que tiene un índice de 0.468, mientras que el descriptor con menor valor es “Moderadamente profundo, textura moderadamente gruesa, permeabilidad moderadamente rápida (S5)” con un índice de 0.026.

**Figura 67***Matriz de comparación de pares para suelos*

Suelos	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1.00	2.00	4.00	6.00	9.00
S2	0.50	1.00	4.00	5.00	8.00
S3	0.25	0.25	1.00	5.00	7.00
S4	0.17	0.20	0.20	1.00	6.00
S5	0.11	0.13	0.14	0.17	1.00
<b>Suma</b>	2.03	3.58	9.34	17.17	31.00
<b>1/Suma</b>	0.49	0.28	0.11	0.06	0.03

*Nota:* Elaboración propia**Figura 68***Matriz de normalización para suelos*

Suelos	S1	S2	S3	S4	S5	Vector de priorización
S1	0.493	0.559	0.428	0.350	0.290	0.439
S2	0.247	0.280	0.428	0.291	0.258	0.313
S3	0.123	0.070	0.107	0.291	0.226	0.153
S4	0.082	0.056	0.021	0.058	0.194	0.069
S5	0.055	0.035	0.015	0.010	0.032	0.026

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados y las características por tipo de suelo como se visualiza en la Figura 69, en la cual se detalla que los tipos de suelos con características física desfavorables como textura media y permeabilidad rápida contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico.

**Figura 69***Valores para el parámetro suelos*

Suelos	Características del suelo	Valores del parámetro
S1	Muy Profundo, Textura media, permeabilidad muy rápida	0.439
S2	Profundo, Textura media, permeabilidad rápida	0.313
S3	Profundo, textura gruesa, permeabilidad rápida	0.153
S4	Profundidad superficial, textura gruesa a moderadamente gruesa, permeabilidad rápida	0.069
S5	Moderadamente profundo, textura moderadamente gruesa, permeabilidad moderadamente rápida	0.026

*Nota:* Elaboración propia

#### D. Microzonificación sísmica

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.1.4. Microzonificación sísmica, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para microzonificación sísmica como se muestra en la Figura 70 y la matriz de normalización para microzonificación sísmica como se muestra en la Figura 71, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.619 a 0.037, del cual destaca el valor del descriptor referido a la clasificación del suelo por microzonificación sísmica “Suelo tipo IV” tiene un índice de 0.619, mientras que el descriptor con menor valor es “Suelo tipo I” con un índice de 0.037.

**Figura 70**

*Matriz de comparación de pares para microzonificación*

Microzonificación sísmica	Suelo tipo IV	Suelo tipo III	Suelo tipo II	Suelo tipo I
Suelo tipo IV	1.00	4.00	7.00	9.00
Suelo tipo III	0.25	1.00	3.00	7.00
Suelo tipo II	0.14	0.33	1.00	5.00
Suelo tipo I	0.11	0.14	0.20	1.00
<b>Suma</b>	1.50	5.48	11.20	22.00
<b>1/Suma</b>	0.66	0.18	0.09	0.05

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 71**

*Matriz de normalización para microzonificación*

Microzonificación sísmica	Suelo tipo IV	Suelo tipo III	Suelo tipo II	Suelo tipo I	Vector de priorización
Suelo tipo IV	0.460	0.506	0.456	0.370	0.619
Suelo tipo III	0.230	0.253	0.304	0.296	0.235
Suelo tipo II	0.153	0.127	0.152	0.222	0.109
Suelo tipo I	0.066	0.051	0.038	0.037	0.037

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados y las características por tipo de suelo según el estudio geotécnico como se visualiza en la Figura 72, en la cual se detalla que los tipos de suelos III y IV contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico, debido a que estos suelos son muy flexibles y permiten el desplazamiento de las ondas sísmicas.

### Figura 72

Valores para el parámetro microzonificación

Microzonificación sísmica	Valores del parámetro
Suelo tipo IV	0.619
Suelo tipo III	0.235
Suelo tipo II	0.109
Suelo tipo I	0.037

Nota: Elaboración propia

### E. Pendientes

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.1.5. Pendientes, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para el nivel de pendientes como se muestra en la Figura 73 y la matriz de normalización para el nivel de pendientes como se muestra en la Figura 74, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.465 a 0.025, del cual destaca el valor del descriptor referido a los rangos de niveles de pendiente “25° a más” que tiene un índice de 0.465, mientras que el descriptor con menor valor es “0° a 1°” con un valor de 0.025.

### Figura 73

Matriz de comparación de pares para pendientes

Pendiente	25° a mas	15° a 25°	5° a 15°	1° a 5°	0° a 1°
25° a mas	1.00	2.00	5.00	9.00	9.00
15° a 25°	0.50	1.00	5.00	7.00	8.00
5° a 15°	0.20	0.20	1.00	4.00	7.00
1° a 5°	0.11	0.14	0.25	1.00	6.00
0° a 1°	0.11	0.13	0.14	0.17	1.00
<b>Suma</b>	1.92	3.47	11.39	21.17	31.00
<b>1/Suma</b>	0.52	0.29	0.09	0.05	0.03

Nota: Elaboración propia



**Figura 74***Matriz de normalización para pendientes*

<b>Pendiente</b>	<b>25° a mas</b>	<b>15° a 25°</b>	<b>5° a 15°</b>	<b>1° a 5°</b>	<b>0° a 1°</b>	<b>Vector de priorización</b>
25° a mas	0.520	0.577	0.439	0.425	0.290	0.465
15° a 25°	0.260	0.288	0.439	0.331	0.258	0.328
5° a 15°	0.104	0.058	0.088	0.189	0.226	0.125
1° a 5°	0.058	0.041	0.022	0.047	0.194	0.058
0° a 1°	0.058	0.036	0.013	0.008	0.032	0.025

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados y las características por rango de pendiente como se visualiza en la Figura 75, en la cual se detalla que los rangos de pendientes mayores a 25° contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico, debido a que el relieve con este nivel de pendiente es susceptible a deslizamiento de rocas o procesos de remoción en masas.

**Figura 75***Valores para el parámetro pendientes*

<b>Pendiente</b>	<b>Valores del parámetro</b>
25° a mas	0.465
15° a 25°	0.328
5° a 15°	0.125
1° a 5°	0.058
0° a 1°	0.025

*Nota:* Elaboración propia

### F. Peso de parámetros evaluados

Para el cálculo de los pesos se generó la matriz de comparación de pares para los factores condicionantes como se muestra en la Figura 76 y la matriz de normalización para factores condicionantes como se muestra en la Figura 77, estos valores varían desde 0.53 a 0.03, del cual destaca el valor del parámetro referido a los factores condicionantes del peligro por sismos “Microzonificación” tiene un índice de 0.53, mientras que el descriptor con menor valor es “Geomorfología” con un valor de 0.03.

#### Figura 76

Matriz de comparación de pares para parámetros

Parámetros	Microzonificación	Geología	Suelo	Pendiente	Geomorfología
Microzonificación	1.00	4.00	5.00	8.00	9.00
Geología	0.25	1.00	3.00	5.00	7.00
Suelo	0.20	0.33	1.00	4.00	6.00
Pendiente	0.13	0.20	0.25	1.00	5.00
Geomorfología	0.11	0.14	0.17	0.20	1.00
<b>Suma</b>	1.69	5.68	9.42	18.20	28.00
<b>1/Suma</b>	0.59	0.18	0.11	0.05	0.04

Nota: Elaboración propia

#### Figura 77

Matriz de normalización para parámetros

Parámetros	Microzonificación	Geología	Suelo	Pendiente	Geomorfología	Vector de priorización
Microzonificación	0.59	0.70	0.53	0.44	0.32	0.53
Geología	0.15	0.18	0.32	0.27	0.25	0.24
Suelo	0.12	0.06	0.11	0.22	0.21	0.14
Pendiente	0.07	0.04	0.03	0.05	0.18	0.06
Geomorfología	0.07	0.03	0.02	0.01	0.04	0.03

Nota: Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para los factores condicionantes como se visualiza en la Figura 78, en la cual se detalla que la Microzonificación sísmica es el parámetro que tiene una mayor contribución en la generación del peligro por evento

sísmico, debido a que el nivel de impacto de las infraestructuras durante un sismo está relacionado principalmente a la velocidad de desplazamiento de las ondas sísmicas a través del suelo.

### Figura 78

*Valores para los parámetros evaluados*

Parámetros	Valores del parámetro
Microzonificación	0.53
Geología	0.24
Suelo	0.14
Pendiente	0.06
Geomorfología	0.03

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.1.4.2. Evaluación del factor desencadenante

##### A. Fallas

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.2.1. Fallas, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para fallas como se muestra en la Figura 79 y la matriz de normalización para fallas como se muestra en la Figura 80, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.446 a 0.035, del cual destaca el valor del descriptor referido a la clasificación por cercanía a la falla “0 km a 1 Km” que tiene un índice de 0.446, mientras que el descriptor con menor valor es “más de 4 Km” con un valor de 0.035.

### Figura 79

*Matriz de comparación de pares para el parámetro fallas*

Área de influencia de impacto por fallas	0 km a 1 Km	1 km a 2 km	2 km a 3Km	2 km a 3Km	más de 4 Km
0 km a 1 Km	1.00	2.00	4.00	6.00	7.00
1 km a 2 km	0.50	1.00	2.00	5.00	6.00
2 km a 3Km	0.25	0.50	1.00	4.00	6.00
3 km a 4 Km	0.17	0.20	0.25	1.00	4.00
más de 4 Km	0.14	0.17	0.17	0.25	1.00
<b>Suma</b>	2.06	3.87	7.42	16.25	24.00
<b>1/Suma</b>	0.49	0.26	0.13	0.06	0.04

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 80***Matriz de normalización para el parámetro fallas*

Área de influencia de impacto por fallas	0 km a 1 Km	1 km a 2 km	2 km a 3 km	2 km a 3 km	Muy Baja	Vector de priorización
0 km a 1 km	0.486	0.517	0.539	0.369	0.292	0.446
1 km a 2 km	0.243	0.259	0.270	0.308	0.250	0.275
2 km a 3 km	0.121	0.129	0.135	0.246	0.250	0.174
3 km a 4 km	0.081	0.052	0.034	0.062	0.167	0.071
más de 4 km	0.069	0.043	0.022	0.015	0.042	0.035

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el área de influencia de impacto por fallas como se visualiza en la Figura 81, en la cual se detalla que el área de influencia de 0km a 1km contribuyen a la generación del peligro por evento sísmico, debido a la cercanía de las edificaciones a la falla de Chololo.

**Figura 81***Valores para el parámetro fallas*

Área de influencia de impacto por fallas	Valores del parámetro
0 km a 1 km	0.446
1 km a 2 km	0.275
2 km a 3 km	0.174
3 km a 4 km	0.071
más de 4 km	0.035

*Nota:* Elaboración propia**A. Magnitud sísmica**

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.2.2. Magnitud sísmica, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la magnitud sísmica como se muestra en la Figura 82 y la matriz de normalización para la magnitud sísmica como se muestra en la Figura 83, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.460 a 0.025, del cual destaca el valor del descriptor referido a los rangos por escala sísmica “8° a más” que tiene un índice de 0.460, mientras que el descriptor con menor valor es “4° a 5°” con un valor de 0.025.

**Figura 82***Matriz de comparación de pares para el parámetro magnitud sísmica*

<b>Magnitud sísmica</b>	<b>8° a mas</b>	<b>7° a 8°</b>	<b>6° a 7°</b>	<b>5° a 6°</b>	<b>4° a 5°</b>
8° a mas	1.00	2.00	5.00	8.00	9.00
7° a 8°	0.50	1.00	4.00	7.00	8.00
6° a 7°	0.20	0.25	1.00	6.00	7.00
5° a 6°	0.13	0.14	0.17	1.00	6.00
4° a 5°	0.11	0.13	0.14	0.17	1.00
<b>Suma</b>	1.94	3.52	10.31	22.17	31.00
<b>1/Suma</b>	0.52	0.28	0.10	0.05	0.03

*Nota: Elaboración propia***Figura 83***Matriz de normalización para el parámetro magnitud sísmica*

<b>Magnitud sísmica</b>	<b>8° a mas</b>	<b>7° a 8°</b>	<b>6° a 7°</b>	<b>5° a 6°</b>	<b>4° a 5°</b>	<b>Vector de priorización</b>
8° a mas	0.516	0.569	0.485	0.361	0.290	0.460
7° a 8°	0.258	0.284	0.388	0.316	0.258	0.317
6° a 7°	0.103	0.071	0.097	0.271	0.226	0.143
5° a 6°	0.065	0.041	0.016	0.045	0.194	0.055
4° a 5°	0.057	0.036	0.014	0.008	0.032	0.025

*Nota: Elaboración propia*

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para los rangos de magnitud sísmica como se visualiza en la Figura 84, en la cual se detalla que la magnitud de “8°a más” es el escenario que puede generar un mayor nivel de impacto, debido a los posibles daños que puede ocasionar a las infraestructuras y a la población de la ciudad de Ilo.

**Figura 84**

Valores para el parámetro magnitud sísmica

Magnitud sísmica	Valores del parámetro
8° a mas	0.460
7° a 8°	0.317
6° a 7°	0.143
5° a 6°	0.055
4° a 5°	0.025

Nota: Elaboración propia

#### 4.1.4.3. Evaluación del factor fenómeno en evaluación

##### A. Aceleración Sísmica

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.1.3.1. Aceleración sísmica, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la aceleración sísmica como se muestra en la Figura 85 y la matriz de normalización para la aceleración sísmica como se muestra en la Figura 86, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.506 a 0.028, del cual destaca el valor del descriptor referido a la clasificación por Aceleración sísmica “mayor a 45g” que tiene un índice de 0.506, mientras que el descriptor con menor valor es “menor a 0.1 g” con un valor de 0.028.

**Figura 85**

Matriz de comparación de pares para el parámetro aceleración sísmica

Aceleración pico del terreno (PGA)	> 0.45	0.35 - 0.45	0.25 - 0.35	0.1 - 0.25	< 0.1
> 0.45	1.00	2.00	8.00	8.00	9.00
0.35 - 0.45	0.50	1.00	2.00	7.00	8.00
0.25 - 0.35	0.13	0.50	1.00	3.00	8.00
0.1 - 0.25	0.13	0.14	0.33	1.00	3.00
< 0.1	0.11	0.13	0.13	0.33	1.00
<b>Suma</b>	1.86	3.77	11.46	19.33	29.00
<b>1/Suma</b>	0.54	0.27	0.09	0.05	0.03

Nota: Elaboración propia

**Figura 86***Matriz de normalización para el parámetro aceleración sísmica*

<b>Aceleración pico del terreno (PGA)</b>	<b>&gt; 0.45</b>	<b>0.35 - 0.45</b>	<b>0.25 - 0.35</b>	<b>0.1 - 0.25</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>Vector de priorización</b>
> 0.45	0.537	0.531	0.698	0.414	0.310	0.506
0.35 - 0.45	0.269	0.265	0.175	0.362	0.276	0.277
0.25 - 0.35	0.067	0.133	0.087	0.155	0.276	0.134
0.1 - 0.25	0.067	0.038	0.029	0.052	0.103	0.055
< 0.1	0.060	0.033	0.011	0.017	0.034	0.028

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro aceleración sísmica como se visualiza en la Figura 87, en la cual se detalla que el rango de “aceleración mayor a 45g” corresponde a las zonas que tienen un mayor nivel de impacto sísmico debido a la alta velocidad de desplazamiento de las ondas.

**Figura 87***Valores para el parámetro aceleración sísmica*

<b>Aceleración pico del terreno (PGA)</b>	<b>Valores del parámetro</b>
> 0.45	0.506
0.35 - 0.45	0.277
0.25 - 0.35	0.134
0.1 - 0.25	0.055
< 0.1	0.028

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.1.4.4. Validación de los pesos calculados

Según lo detallado en el capítulo III, Numeral 3.6.4.1. Uso del Proceso de Análisis Jerárquico – Calculo de relación de consistencia, se aplicó la metodología indicada para la validación de los vectores de priorización, de esta evaluación se obtuvo los siguientes índices por factor condicionante y sus parámetros, como visualiza en la Figura 88 para los factores condicionantes y en la Figura 89 para los factores desencadenantes y el fenómeno en evaluación, del cual se aprecia que todos los valores correspondientes a la relación de consistencia son menores a 0.1, lo cual confirma la validez de los resultados y pesos obtenidos.

**Figura 88**

*Incidencia de relación de consistencia para los factores condicionantes*

Índices de relación de consistencia	Factores condicionantes					Peso de factores condicionantes
	Geología	Geomorfología	Suelos	Microzonificación	Pendientes	
Índice de consistencia (Ci)	0.05	0.095	0.106	0.08	0.108	0.113
Índice de consistencia aleatorio (Rci)	1.188	1.188	1.188	0.99	1.188	1.188
Relación de consistencia (CR)	0.042	0.081	0.09	0.08	0.091	0.095

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 89**

*Incidencia de relación de consistencia para los factores desencadenantes*

Índices de relación de consistencia	Factor desencadenante		Fenómeno en evaluación
	Fallas	Magnitud sísmica	Aceleración Sísmica
Índice de consistencia (Ci)	0.063	0.118	0.099
Índice de consistencia aleatorio (Rci)	1.188	1.188	1.188
Relación de consistencia (CR)	0.053	0.0996	0.083

*Nota:* Elaboración propia



#### 4.1.5. Cálculo de los valores del peligro

Para esta etapa se aplicó la metodología del capítulo III, numeral 3.6.4.2. Determinación del peligro, en la cual se describe el procesamiento para determinar la susceptibilidad y el peligro sísmico.

**4.1.5.1. Cálculo de valores de la susceptibilidad.** Se determinó los valores y rangos para el factor desencadenante tal como se muestra en la Figura 90, donde el rango calculado oscila entre los valores de 0.543 como máximo valor y 0.034 como mínimo valor.

#### Figura 90

*Cálculo de los valores del factor condicionante*

Microzonificación sísmica		Geología		Suelo		Pendientes		Geomorfología		Factor condicionante	
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
0.619	0.53	0.468	0.24	0.439	0.14	0.465	0.06	0.424	0.03	0.543	0.50
0.619	0.53	0.307	0.24	0.313	0.14	0.328	0.06	0.290	0.03	0.475	0.50
0.235	0.53	0.131	0.24	0.153	0.14	0.125	0.06	0.163	0.03	0.190	0.50
0.109	0.53	0.059	0.24	0.069	0.14	0.058	0.06	0.081	0.03	0.087	0.50
0.037	0.53	0.035	0.24	0.026	0.14	0.025	0.06	0.042	0.03	0.034	0.50

*Nota:* Elaboración propia

Respecto al cálculo de los valores y rangos para el factor desencadenante en la Figura 91 se muestra que los rangos obtenidos oscilan entre los valores de 0.478 como máximo valor y 0.032 como mínimo valor.

#### Figura 91

*Cálculo de los valores del factor condicionante*

Fallas		Magnitud física		Factor desencadenante
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.446	0.50	0.510	0.50	0.478
0.275	0.50	0.280	0.50	0.278
0.174	0.50	0.130	0.50	0.152
0.071	0.50	0.060	0.50	0.065
0.035	0.50	0.030	0.50	0.032

*Nota:* Elaboración propia

Referente al cálculo del valor de la susceptibilidad, en la Figura 92 se utilizó los valores obtenidos para el factor condicionante y el factor desencadenante y el rango obtenido oscila entre los valores de 0.511 como valor máximo para el nivel de susceptibilidad muy alto y 0.033 como valor mínimo para el nivel de susceptibilidad bajo.

### Figura 92

*Cálculo de los valores de la susceptibilidad*

Factor condicionante		Factor desencadenante		Susceptibilidad
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.543	0.50	0.478	0.50	0.511
0.475	0.50	0.278	0.50	0.376
0.190	0.50	0.152	0.50	0.171
0.087	0.50	0.065	0.50	0.076
0.034	0.50	0.032	0.50	0.033

*Nota:* Elaboración propia

**4.1.5.2. Cálculo de valores de peligro.** De la evaluación realizada se obtuvo los valores para los niveles de peligro como se puede ver en la Figura 93, donde el rango calculado oscila entre los valores de 0.48 como valor máximo para el nivel de peligro muy alto y 0.028 como valor mínimo para el nivel de peligro bajo.

### Figura 93

*Cálculo de los valores del peligro*

Susceptibilidad		Fenómeno en evaluación (Aceleración sísmica)		Peligro
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
0.511	0.40	0.460	0.6	0.480
0.376	0.40	0.317	0.6	0.341
0.171	0.40	0.143	0.6	0.154
0.076	0.40	0.055	0.6	0.064
0.033	0.40	0.025	0.6	0.028

*Nota:* Elaboración propia

**4.1.5.3. Clasificación del Peligro.** Del análisis realizado se obtuvo la matriz de clasificación por niveles de peligro en la ciudad de Ilo, en la Figura 94 se describe las características físico ambientales más resaltante por cada nivel de peligro y su rango de peligro correspondiente.

Las zonas con mayor nivel de peligro tienen condiciones físicas desfavorables como; geomorfología con gran nivel de pendiente, suelos flexibles de grandes estratos los cuales favorecen al desplazamiento de las ondas provocadas por un sismo de gran magnitud y cercanía de las edificaciones a la falla de Chololo. Mientras que las zonas con un menor nivel de peligrosidad tienen condiciones favorables como relieve con poca pendiente, suelos muy rígidos que no facilitan el desplazamiento de las ondas sísmicas y edificaciones que se encuentran lejos de la falla de Chololo.

**Figura 94**

*Matriz de clasificación del peligro*

Nivel de Peligro	Descripción	Rangos
<b>Muy Alto</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo IV según microzonificación sísmica, suelos con características de mucha profundidad, textura media y permeabilidad muy rápida, unidades geomorfológicas como cauce torrencial y piedemonte con pendiente de más de 15°, situado sobre una geológica de depósitos aluviales o fluviales y elementos expuestos dentro del rango 0 km a 2 km de la falla de Chololo.	$0.34 \leq P \leq 0.48$
<b>Alto</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo III según microzonificación sísmica, suelos con características de profundidad, textura gruesa y permeabilidad rápida, unidades geomorfológicas como planicie erizada gravosa con pendiente entre los 5° y 15°, situado sobre una geología de depósitos aluviales y elementos expuestos dentro del rango de 2 km a 3 km de la falla de Chololo.	$0.15 \leq P \leq 0.34$

<b>Medio</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo II según microzonificación sísmica, suelo con características de profundidad superficial, textura gruesa a moderadamente gruesa y permeabilidad rápida, unidades geomorfológicas como playas litorales gravosa con pendiente de 1° a 5°, situado sobre una geología de rocas intrusivas y elementos expuestos dentro del rango de 3km a 4 km de la falla de Chololo.	$0.06 \leq P \leq 0.15$
<b>Bajo</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo I según microzonificación sísmica, suelo con características de profundidad moderada, textura moderadamente gruesa, permeabilidad moderadamente rápida, unidad geomorfológica de terraza baja gravosa y ligeramente disectada con pendiente de 0° a 1°, situado sobre una geología de rocas intrusivas y elementos expuestos dentro del rango de más de 4 km de la falla de Chololo.	$0.03 \leq P \leq 0.06$

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.1.6. Resultados del Peligro

De esta evaluación se concluye que hay una predominancia del nivel de peligro alto, esto se debe a tres factores, el primer factor hace referencia al peor de los escenarios de peligro por evento sísmico, por lo cual se analizó el posible impacto de un evento sísmico de 8 grados en la escala de Richter, el segundo, es el mayor nivel de importancia que se le dio a la variable aceleración sísmica y el tercero, corresponde a la predominancia del tipo de suelo IV en la ciudad de Ilo, el cual favorece al desplazamiento de las ondas sísmicas.

#### Figura 95

*Cantidad de lotes en peligro por sector en la ciudad Ilo*

Sector	Nombre del sector	Cantidad de lotes		Nivel de peligro por lotes							
		N° lotes	%	Bajo		Medio		Alto		Muy Alto	
				N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%
Sector 1	Costero Central	2 916	9.46	0.00	0.00	8.00	0.02	2 908.00	9.44	0.00	0.00
Sector 2	Miramar	5 285	17.15	0.00	0.00	55.00	0.18	4 345.00	14.10	885.00	2.87
Sector 3	Pampa Inalámbrica	18 359	59.57	63.00	0.20	0.00	0.00	1 8288.00	59.34	8.00	0.03
Sector 4	Pacocha	1 416	4.59	342.00	1.11	37.00	0.12	1 037.00	3.36	0.00	0.00
Sector 5	Alto algarrobal	2 845	9.23	0.00	0.00	0.00	0.00	2 845.00	9.23	0.00	0.00
<b>Total</b>		3 0821	100.00	405.00	1.31	100.00	0.32	29 423.00	95.46	893.00	2.90

*Nota:* Se observa que el sector Pampa Inalámbrica tiene la mayor cantidad de lotes en peligro

alto y muy alto con 18288 lotes que equivalen al 59.34%.

En la Figura 95 se puede apreciar la distribución de los lotes en peligro clasificados por sectores, el criterio utilizado para organizar los resultados obtenidos fue considerar aquellos sectores que tienen la mayor cantidad de lotes en termino de los niveles de peligro (alto y muy alto). A continuación, se describe las características más resaltantes de cada sector:

El Sector 3 Pampa Inalámbrica, tiene en su ámbito un total de 18 359 lotes, el cual corresponde al 59.57% del total de lotes evaluados, este sector es el más impactado ante la ocurrencia de un evento sísmico el cual tiene 18 288 (59.34%) de los lotes con un nivel de peligro alto, mientras que 8 (0.03%) presenta un nivel muy alto y 63 (0.20%) un nivel bajo. En este sector se observó una predominancia del tipo de suelo IV y suelos con características de textura media y permeabilidad, lo cual ocasiona que el suelo de este sector sea muy inestable y facilite el desplazamiento de las ondas sísmicas, otra característica importante es que la falla de Chololo pasa de forma transversal por este sector.

El Sector 2 Miramar, tiene en su ámbito un total de 5 285 lotes, el cual corresponde al 17.15% del total de lotes evaluados, este sector es el segundo más impactado ante la ocurrencia de un evento sísmico el cual tiene 4 345 (14.10 %) de los lotes con un nivel de peligro alto, mientras que 885 (2.87 %) presenta un nivel muy alto y 55 (0.18 %) un nivel medio. En este sector se observó una predominancia de los tipos de suelos I y III, una elevada pendiente, la cual corresponde al recorrido desde la vía Boulevard hacia la Av. Panamericana, que tiene una pendiente entre 12% a 16%.

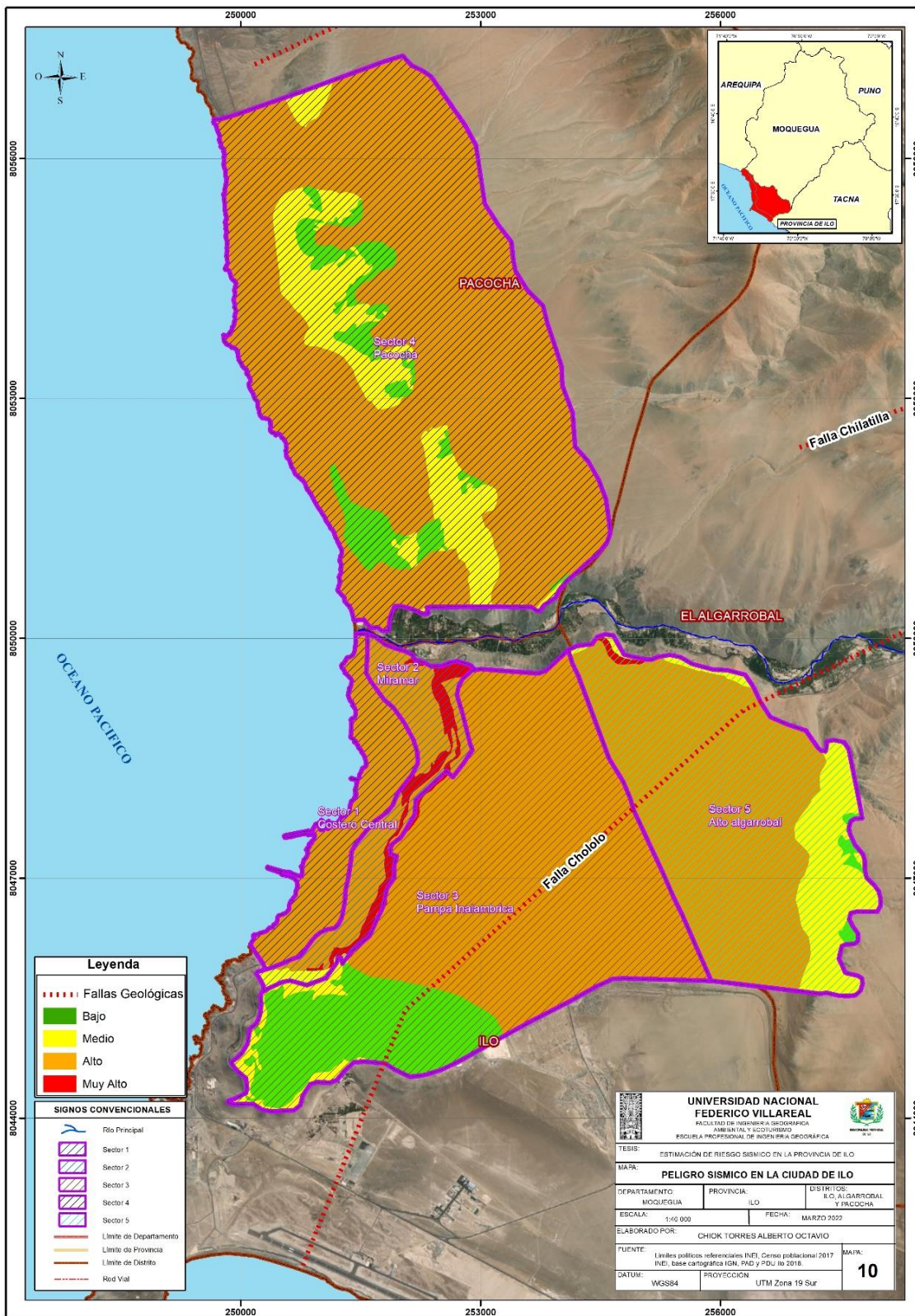
El Sector 1 Costero Central, tiene en su ámbito un total de 2 916 lotes, el cual corresponde al 9.46 % del total de lotes evaluados, este sector es el tercer más impactado ante la ocurrencia de un evento sísmico el cual tiene 2 908 (9.44 %) de los lotes con un nivel de peligro alto y 8 (0.02 %) presenta un nivel medio. Este sector tiene un nivel alto de peligro debido a dos factores; el primer factor corresponde a su ubicación dentro del área de peligro por aceleraciones sísmicas

y el segundo es por la cercanía a la línea costera, lo que condiciona al posible impacto de un tsunami.

Respecto al sector 5 Alto Algarrobal, tiene en su ámbito un total de 2 845 lotes, el cual corresponde al 9.23 % del total de lotes evaluados, este sector es el cuarto más impactado ante la ocurrencia de un evento sísmico y todos sus lotes se encuentran con un peligro alto. Este sector tiene características similares al sector 3. Finalmente, el sector 4 Pacocha, tiene en su ámbito un total de 1 037, el cual corresponde al 4.59 % del total de lotes evaluados, este sector es el quinto más impactado ante la ocurrencia de un evento sísmico el cual tiene 1 037 (3.36 %) de los lotes con un nivel de peligro alto, mientras que 37 (0.12 %) presenta un nivel medio y 342 (1.11 %) un nivel bajo. Este sector se localiza dentro del área de peligro por aceleraciones sísmicas, al igual que el sector 1 es un sector susceptible a tsunamis debido a su cercanía al mar.

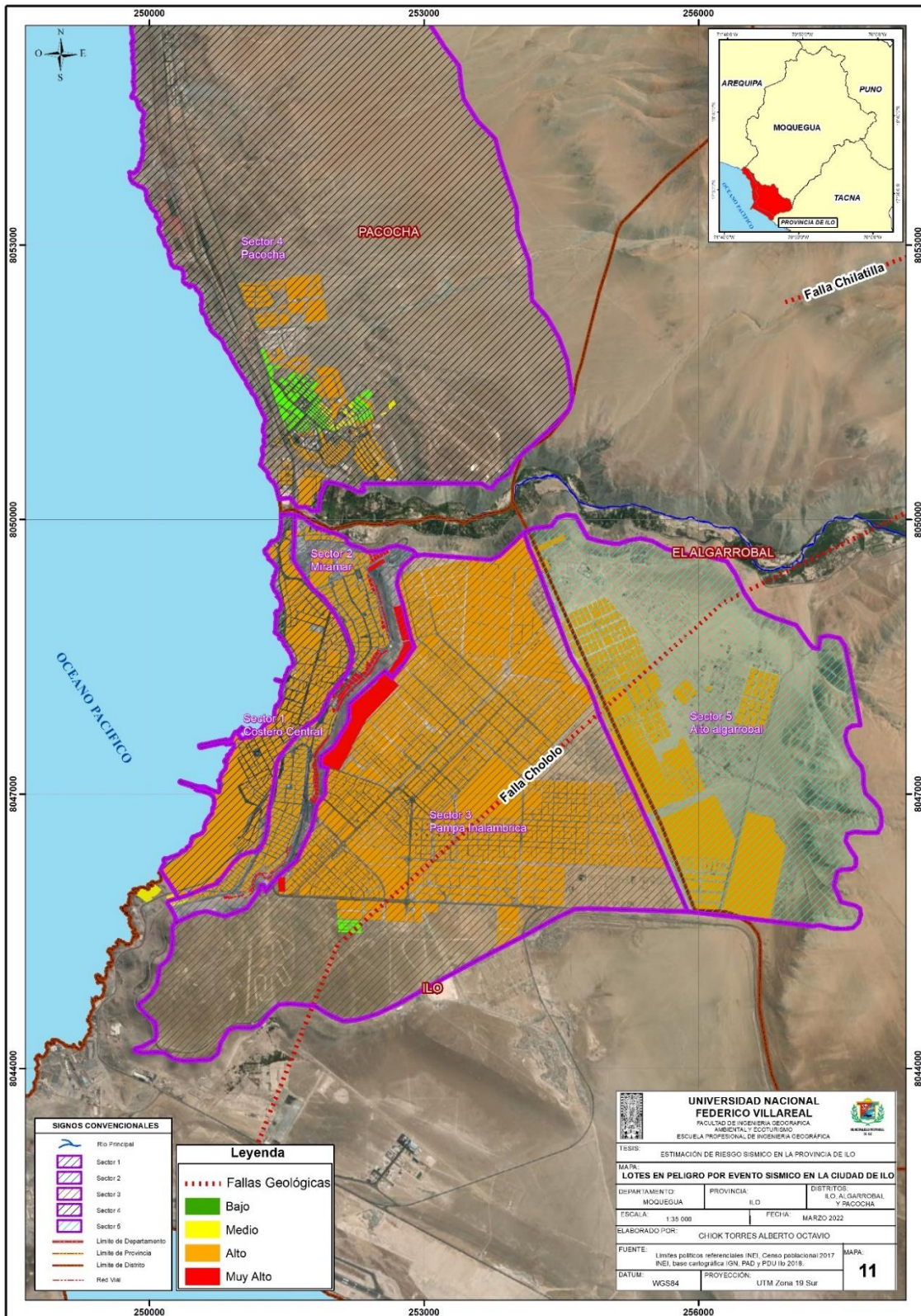
A continuación, en la Figura 96 se puede visualizar los niveles de peligro por sector, mientras que en la Figura 97 se aprecia la distribución de los lotes que se encuentran en peligro por un evento sísmico de 8 grados Richter en la ciudad de Ilo.

**Figura 96**  
*Peligro en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 97**  
*Lotes en peligro de la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia



## **4.2. Caracterización y el análisis de las dimensiones física y social para determinar los niveles de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Ilo**

Para el análisis de la vulnerabilidad se consideró dos dimensiones; la dimensión física, en la cual se evaluó la información de las características físicas de las infraestructuras en la ciudad de Ilo y la dimensión social, en la que se analizó las características socioeconómicas de la población, en base al análisis de sus factores de exposición, fragilidad y resiliencia.

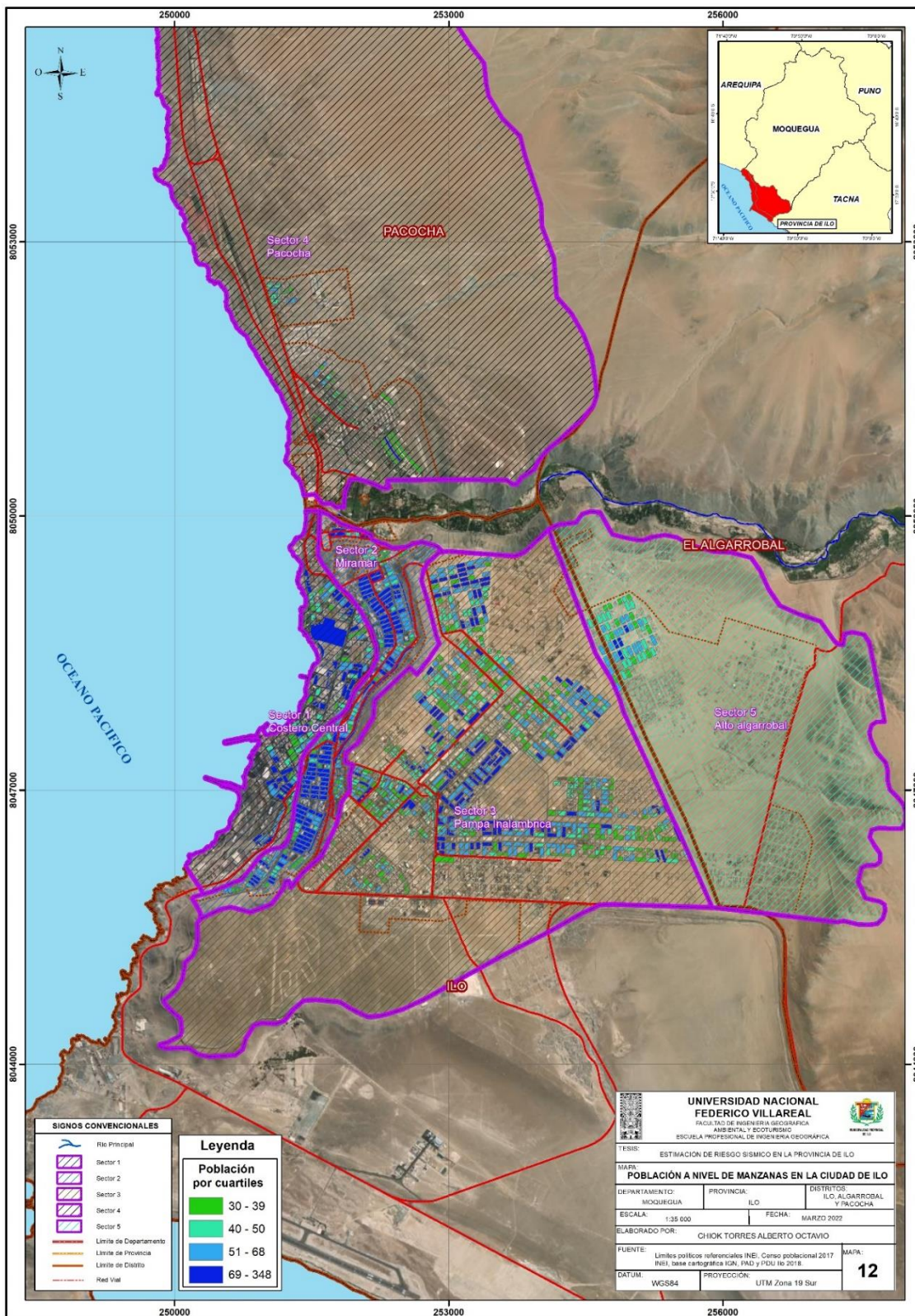
### **4.2.1. Caracterización de los elementos expuesto**

**4.2.1.1. Población.** Se recopiló y procesó los datos de población a nivel de manzanas del censo del 2017 del INEI, de este geoprocesamiento se obtuvo que en la ciudad de Ilo hay 61 000 habitantes. En la Figura 98 se puede visualizar que la mayor densidad poblacional se localiza en los sectores Costero Central y Miramar.

**4.2.1.2. Edificaciones a nivel de lotes.** Se realizó la validación de estos registros correspondientes al estudio de Micro ZEE y se obtuvo un total hay 31 052 lotes, los cuales se utilizaron para determinar las características físicas de las edificaciones. En la Figura 99, se puede visualizar la distribución espacial de esta información.

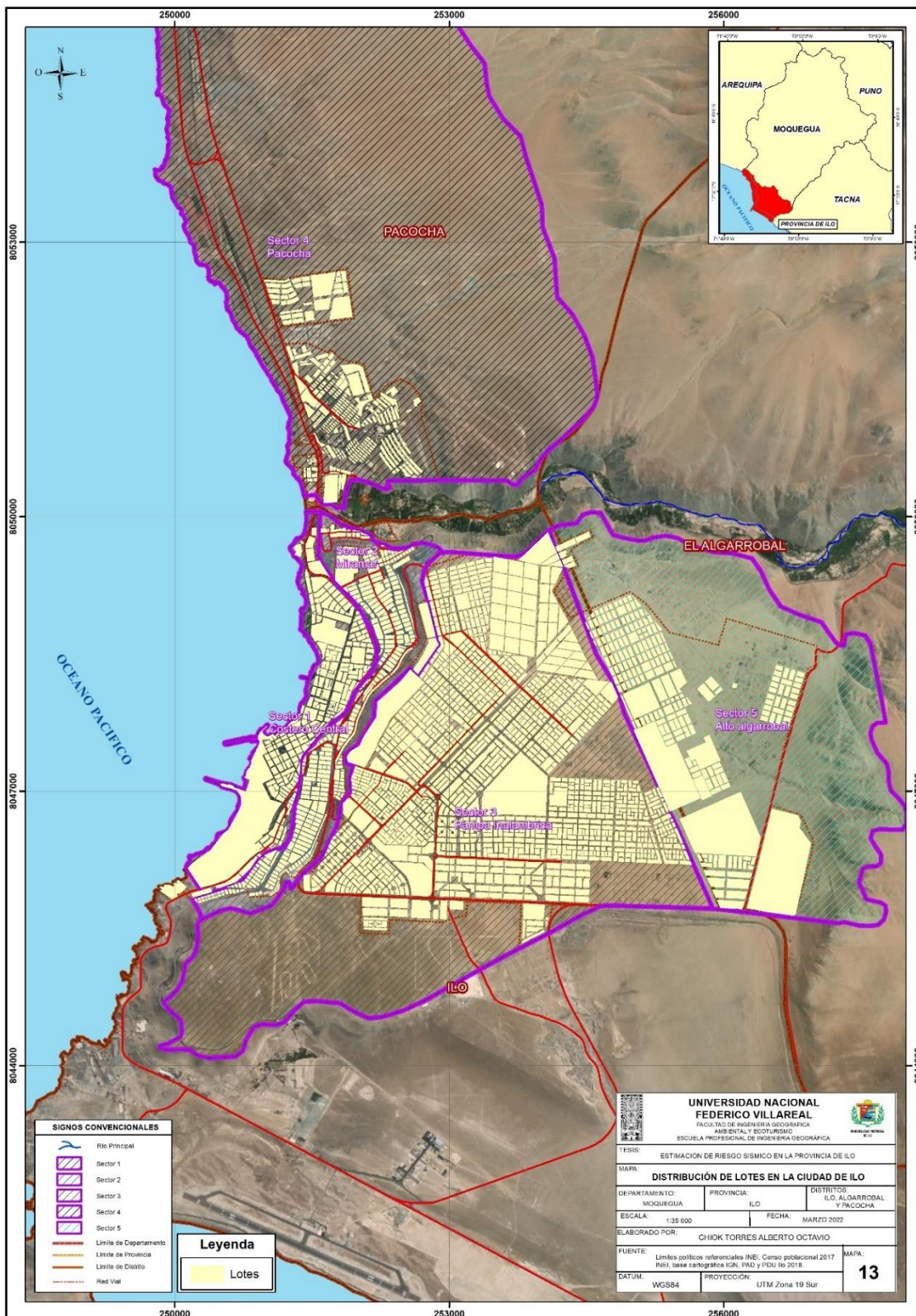
**4.2.1.3. Edificaciones a nivel de manzanas.** Se recopiló, validó y procesó los datos a nivel de manzanas del censo del 2017 del INEI, de este geoprocesamiento se obtuvo un total de 1 086 manzanas, las cuales se utilizaron para analizar, procesar y determinar la población en riesgo en la ciudad de Ilo. En la Figura 100, se puede visualizar la distribución espacial a nivel de manzanas y su división por sectores.

**Figura 98**  
*Población a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo*



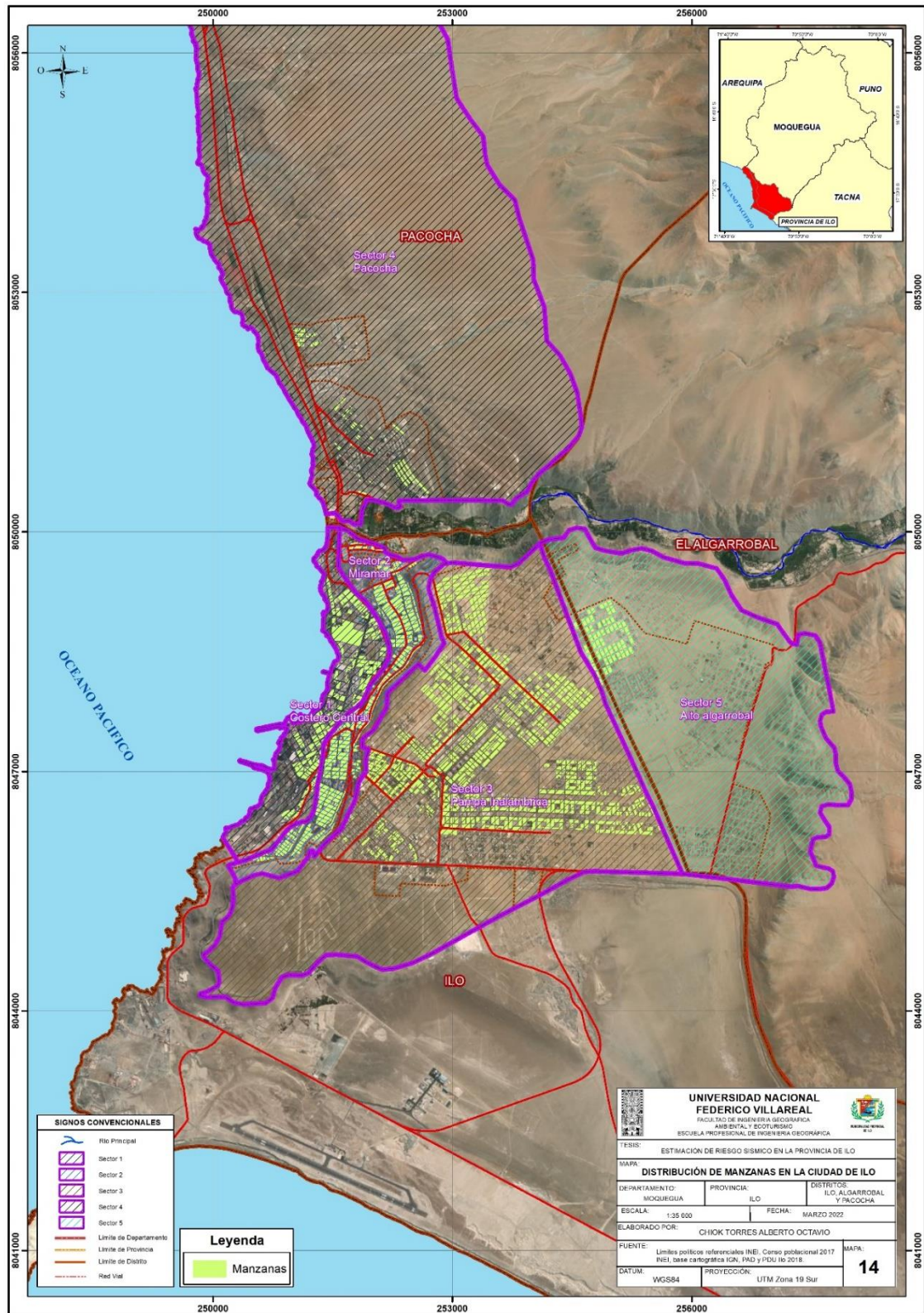
Nota: Elaboración propia

**Figura 99**  
*Distribución de lotes en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 100**  
Distribución de manzanas en la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

**4.2.1.4. Establecimientos de Salud.** Se determinó que la ciudad de Ilo tiene 13 centros de salud, en la Figura 101 se detalla la relación de los establecimientos de salud clasificados por su categoría, tipos de establecimientos y localización distrital y en la Figura 103 se puede visualizar la distribución espacial de los centros de salud en la ciudad de Ilo.

**Figura 101**

*Establecimientos de Salud en la ciudad de Ilo*

Establecimiento de salud	Categoría	Nombre	Distrito
Hospital	II-1	Hospital SPCC - Ilo	Pacocha
		Hospital II Ilo	Ilo
		Hospital Ilo	Ilo
Centro de Salud	I-3	C.S. Pampa Inalámbrica	Ilo
		C.S. Miramar	Ilo
		C.S. Mental Comunitario Ilo	Ilo
		C.S. Jhon F. Kennedy - Ilo	Ilo
		C.S. Alto Ilo	Ilo
		ESSALUD Pampa Inalámbrica	Ilo
		P.S. Varadero	Ilo
Puesto de Salud	I-2	P.S. Los Ángeles - Ilo	Ilo
		P.S. 18 de mayo	Ilo
		P.S. Pacocha	Pacocha

*Nota:* Adaptado del *Plan de Desarrollo Urbano (p.252)*, Municipalidad Provincial de Ilo (2018).

**4.2.1.5. Centros Educativos.** Se determinó que la ciudad de Ilo tiene 90 centros educativos. En la Figura 102 se detalla la cantidad centros educativos según la categoría de sistema educativo y en la Figura 104 se puede visualizar la distribución espacial de los centros de educativos en la ciudad de Ilo.

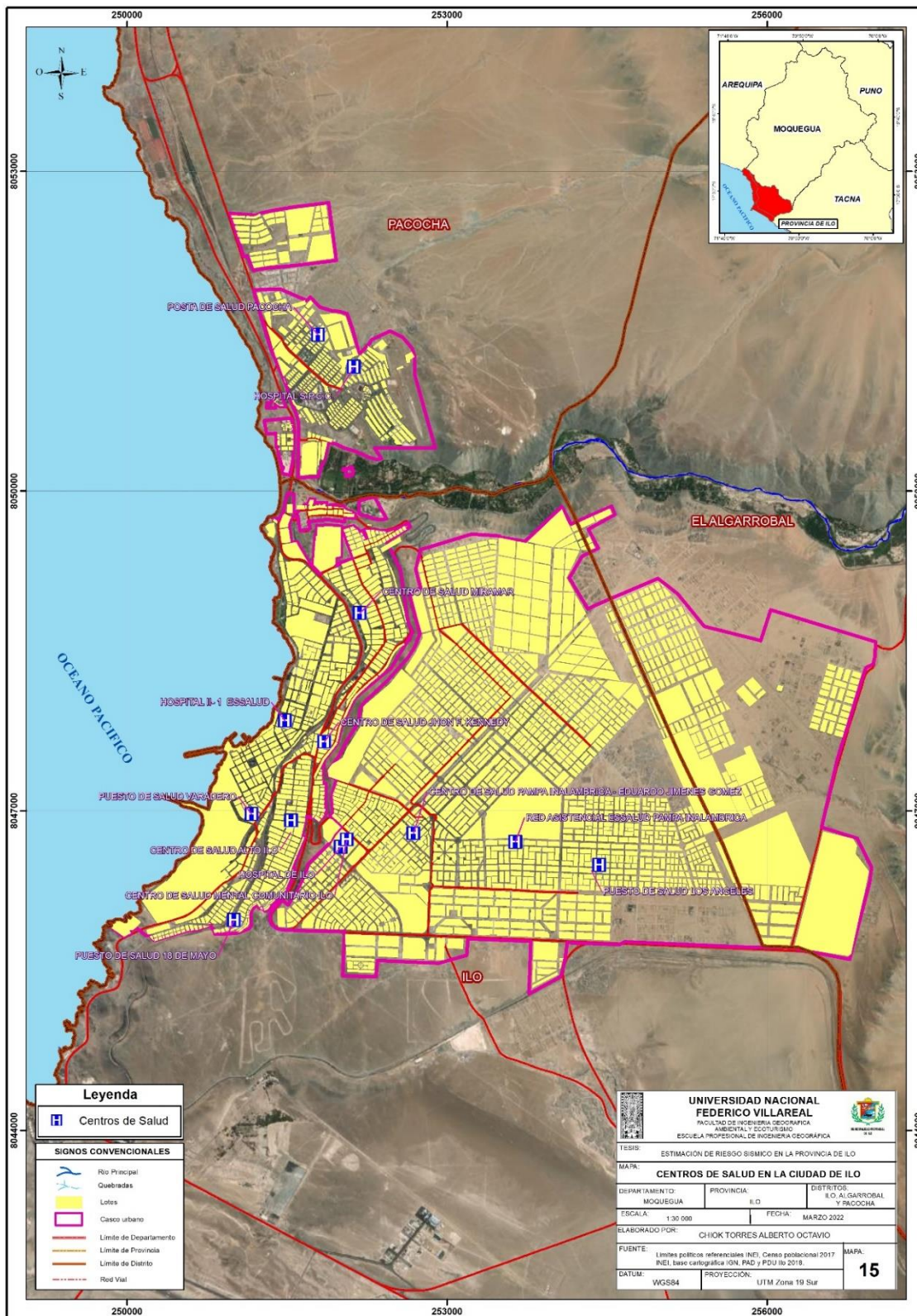
**Figura 102**

*Centros educativos en la ciudad de Ilo*

Categoría	Cantidad
Educación Básica Regular	84
Educación Superior	6
Total	163

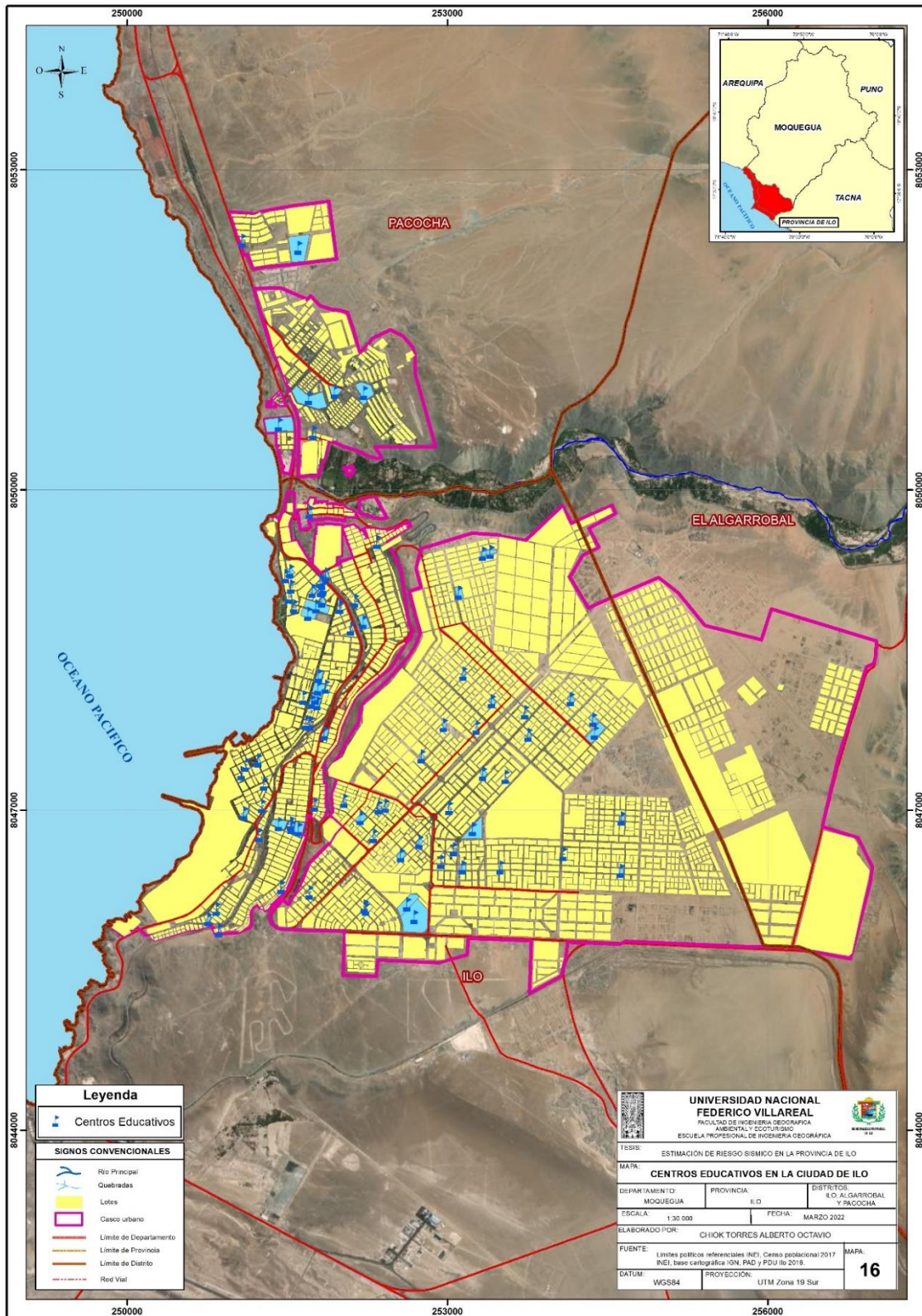
*Nota:* Adaptado del *Plan de Desarrollo Urbano (p.251)*, Municipalidad Provincial de Ilo (2018).

**Figura 103**  
 Centro de salud en la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

**Figura 104**  
Centros educativos en la ciudad de Ilo



Nota: Elaboración propia

## 4.2.2. Caracterización de la dimensión física de la vulnerabilidad

### 4.2.2.1. Fragilidad Física

**A. Material de edificación.** Para la identificación de descriptores y la evaluación de este parámetro se consideró la clasificación de materiales de construcción propuesta por Kuroiwa (2002), el cual categoriza a los materiales de construcción considerando el daño promedio que generaría un movimiento sísmico de 8 grados en la escala de Richter para distintos tipos de edificaciones.

Con este criterio de análisis se organizó y contabilizó los lotes por material de construcción, como se puede visualizar en la Figura 105, en la cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a edificaciones construidas con driwall y madera, el nivel intermedio hace referencia a las edificaciones construidas con concreto y ladrillo, en los niveles inferiores hace referencia a edificaciones construidas con adobe o piedra y se identificó lotes que están sin construir, a estos lotes se les asignó el estado de “No Aplica”.

Finalmente, en la Figura 106 se puede visualizar la predominancia del material de construcción concreto y ladrillo en los sectores Costero Central, Pacocha, Miramar y Pampa Inalámbrica. Sin embargo, el sector Alto algarrobal tiene una predominancia de edificaciones de madera y driwall, lo cual está asociado a las constantes invasiones en este sector.

### Figura 105

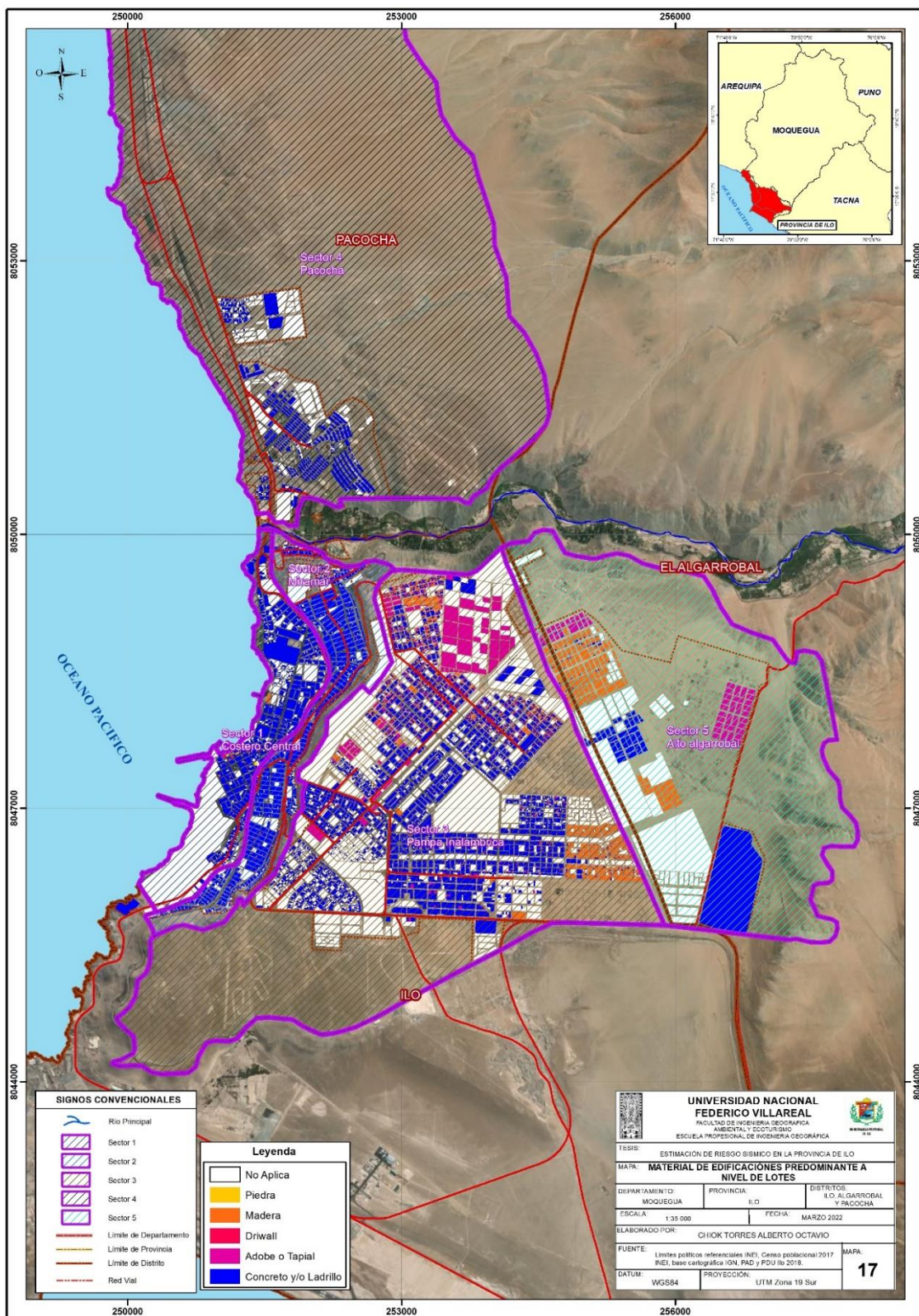
*Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro material de edificación*

Tipo de Material	N° de Lotes	N° de Lotes (%)	Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad
Driwall	5	0.02	1
Madera	3910	12.69	2
Concreto o Ladrillo	19774	64.16	3
Adobe o Tapial	1598	5.18	4
Piedra	36	0.12	5
No aplica	5498	17.84	
<b>Total</b>	<b>30821</b>	<b>100</b>	

*Nota:* Adaptado del *Plan de Desarrollo Urbano (p.71)*, Municipalidad Provincial de Ilo (2018).



**Figura 106**  
 Material de edificaciones predominante a nivel de lotes



Nota: Elaboración propia

**B. Estado de conservación.** Para la identificación de descriptores y la evaluación de este parámetro se consideró la clasificación del estado de conservación según lo detallado por el “Reglamento Nacional de Tasaciones”, el cual categoriza el estado de conservación considerando los indicadores de antigüedad de las viviendas, rehabilitaciones y conservación de la edificación. En la Figura 107 se puede apreciar las características para clasificar el estado de conservación.

**Figura 107**  
*Clasificación del estado de conservación*

<b>Estado de conservación</b>	<b>Características</b>
Bueno	Edificaciones que tienen mantenimiento permanente y su nivel de deterioro es ligero.
Regular	Edificaciones que tienen mantenimiento ocasional y el nivel de deterioro es subsanable y no compromete a la estructura.
Malo	Edificaciones que no tienen mantenimiento regular y el nivel de deterioro compromete a la estructura, aunque sin peligro de desplome.
Muy Malo	Las edificaciones con un nivel de deterioro que compromete a la estructura y que hace presumir su colapso.

*Nota:* Adaptado de *Tablas de depreciación por antigüedad y estados de conservación según el material estructural predominante*, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento MVCS (2007).

Con este criterio de análisis se organizó y contabilizó los lotes por estado de conservación, como se puede visualizar en la Figura 108, en la cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a edificaciones con un estado de conservación Malo y Muy Malo, el nivel intermedio hace referencia a las edificaciones con un estado de conservación Regular,

en los niveles inferiores hace referencia a edificaciones con un estado de conservación bueno y se identificó lotes que están sin construir, a estos lotes se les asignó el estado de “No Aplica”.

En la Figura 109 se puede visualizar la distribución espacial de los lotes clasificados por estado de conservación “Bueno y “Regular”, los cuales en su mayoría se localizan en los sectores Costero Central y Miramar, mientras que las edificaciones que tienen un estado de conservación entre “Malo” y “Muy Malo” se localizan en su mayoría en el sector Pampa Inalámbrica, esto se debe al bajo nivel socioeconómico y en menor cantidad en el sector Costero Central, debido a la presencia de edificaciones históricas que son patrimonio cultural.

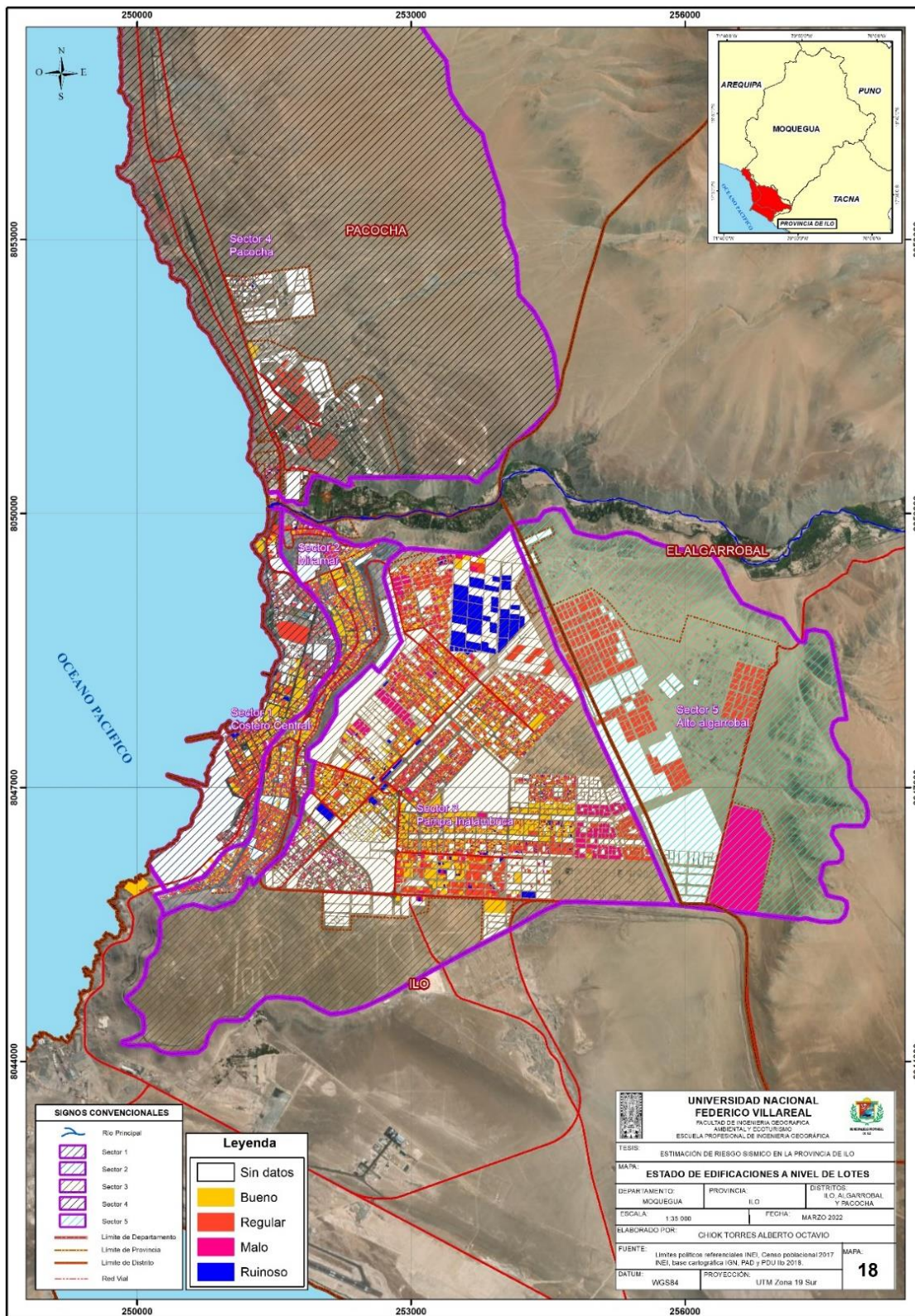
### **Figura 108**

*Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro estado de conservación*

<b>Estado de conservación</b>	<b>N° de Lotes</b>	<b>N° de Lotes (%)</b>	<b>Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad</b>
Muy malo	431	1.40	1
Malo	3906	12.67	2
Regular	11188	36.30	3
Bueno	9798	31.79	4
No aplica	5498	17.84	
<b>Total</b>	<b>30821</b>	<b>100</b>	

*Nota: Adaptado del Plan de Desarrollo Urbano (p.71), Municipalidad Provincial de Ilo (2018).*

**Figura 109**  
Estado de edificaciones a nivel de lotes



Nota: Elaboración propia

**C. Altura de edificación.** Para la identificación de los descriptores y la evaluación de este parámetro se consideró la clasificación de la altura de edificación propuesta en el estudio “Análisis de Vulnerabilidad ante sismos del Centro Histórico de Lima”, en el cual se concluye que mientras más pisos tenga una edificación hay una mayor probabilidad de daño relativo a la edificación, por lo cual se determinó 5 niveles de evaluación.

Con este criterio de análisis se organizó y contabilizó los lotes por la altura de edificación, como se puede visualizar en la Figura 110, en la cual los niveles de mayor importancia hacen referencia a edificaciones con una altura de edificación de 5 pisos a más, el nivel intermedio hace referencia a las edificaciones con una altura de edificación de 3 y 4 pisos, en los niveles inferiores hace referencia a edificaciones con una altura de edificación de 1 a 2 pisos y se identificó lotes que están sin construir, a estos lotes se les asignó el estado de “No Aplica”.

Finalmente, en la Figura 111 se puede visualizar la predominancia de las edificaciones con 2 y 3 pisos en los sectores Costero Central, Pacocha y Miramar, mientras que en los sectores Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal predominan las construcciones de 1 piso.

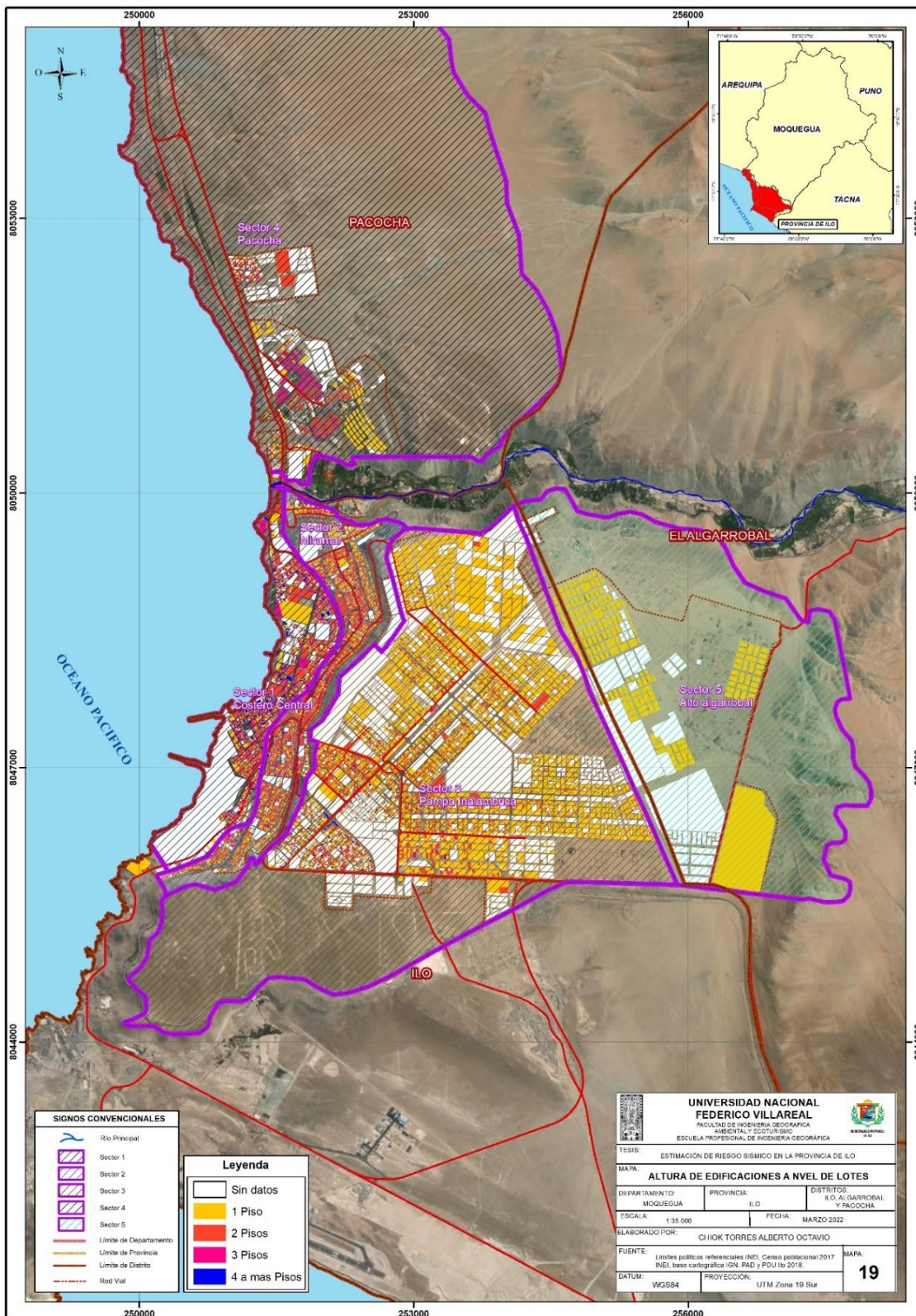
### Figura 110

*Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro altura de edificación*

<b>Altura de edificación</b>	<b>N° de Lotes</b>	<b>N° de Lotes (%)</b>	<b>Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad</b>
5 pisos a mas	59	0.19	1
4 pisos	218	0.71	2
3 pisos	1 309	4.25	3
2 pisos	6 303	20.45	4
1 piso	17 434	56.57	5
No aplica	5 498	17.84	
<b>Total</b>	<b>30 821</b>	<b>100</b>	

Nota: Elaboración propia

**Figura 111**  
 Altura de edificaciones a nivel de lotes



Nota: Elaboración propia

### 4.2.3. Caracterización de la dimensión social de la vulnerabilidad

#### 4.2.3.1. Fragilidad Social

**A. Grupo etario.** Se recopiló, procesó y clasificó la información de este parámetro y se obtuvo 5 grupos etarios como se puede visualizar en la Figura 112, esta se estratifico considerando los grupos de edades predominantes por manzana y se organizó en orden de los rangos de edades más vulnerables a los menos vulnerables. En la Figura 114 se puede apreciar la distribución espacial de la población por grupos etarios.

#### Figura 112

*Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro grupos etarios por manzana*

Grupos etarios	Nº de manzanas	Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad
0 a 5 y mayores de 65 años	178	1
6 a 10 y 60 a 65	126	2
10 - 14 años	81	3
15 - 30 años	336	4
31 - 49 años	347	5
Total	1 086	

*Nota:* Elaboración propia

**B. Densidad Poblacional.** Se recopiló, procesó y clasificó la información de este parámetro y se obtuvo 4 grupos como se muestra en la Figura 113, esta se determinó reclasificando la población, considerando la cantidad de habitantes por manzanas. Asimismo, en el Figura 115 se puede apreciar a distribución espacial de la densidad poblacional en la ciudad de Ilo.

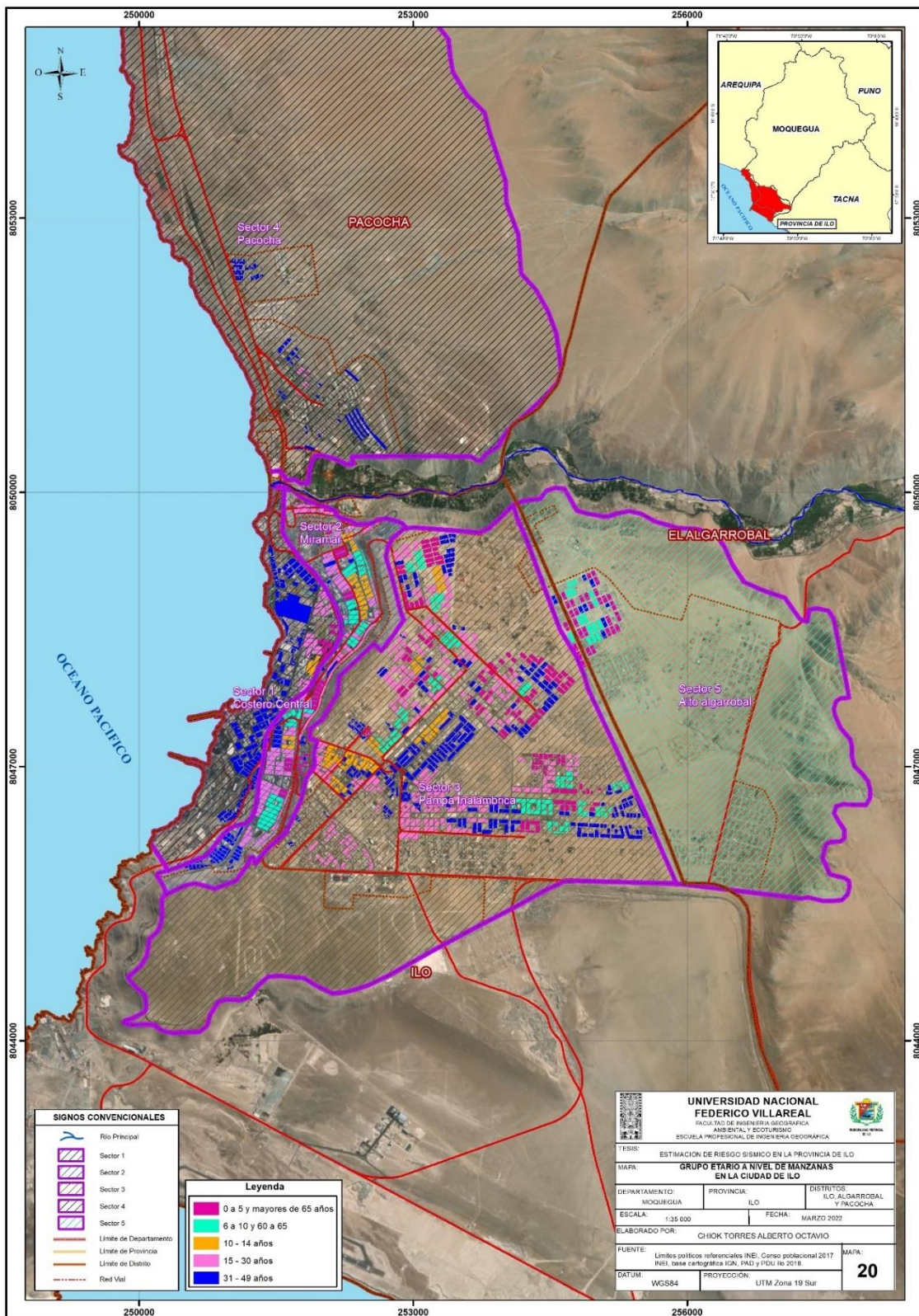
#### Figura 113

*Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad del parámetro grupos densidad poblacional*

Densidad Poblacional	Nº de manzanas	Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad
Muy alta	251	1
Alta	288	2
Media	245	3
Baja	302	4
Total	1086	

*Nota:* Elaboración propia

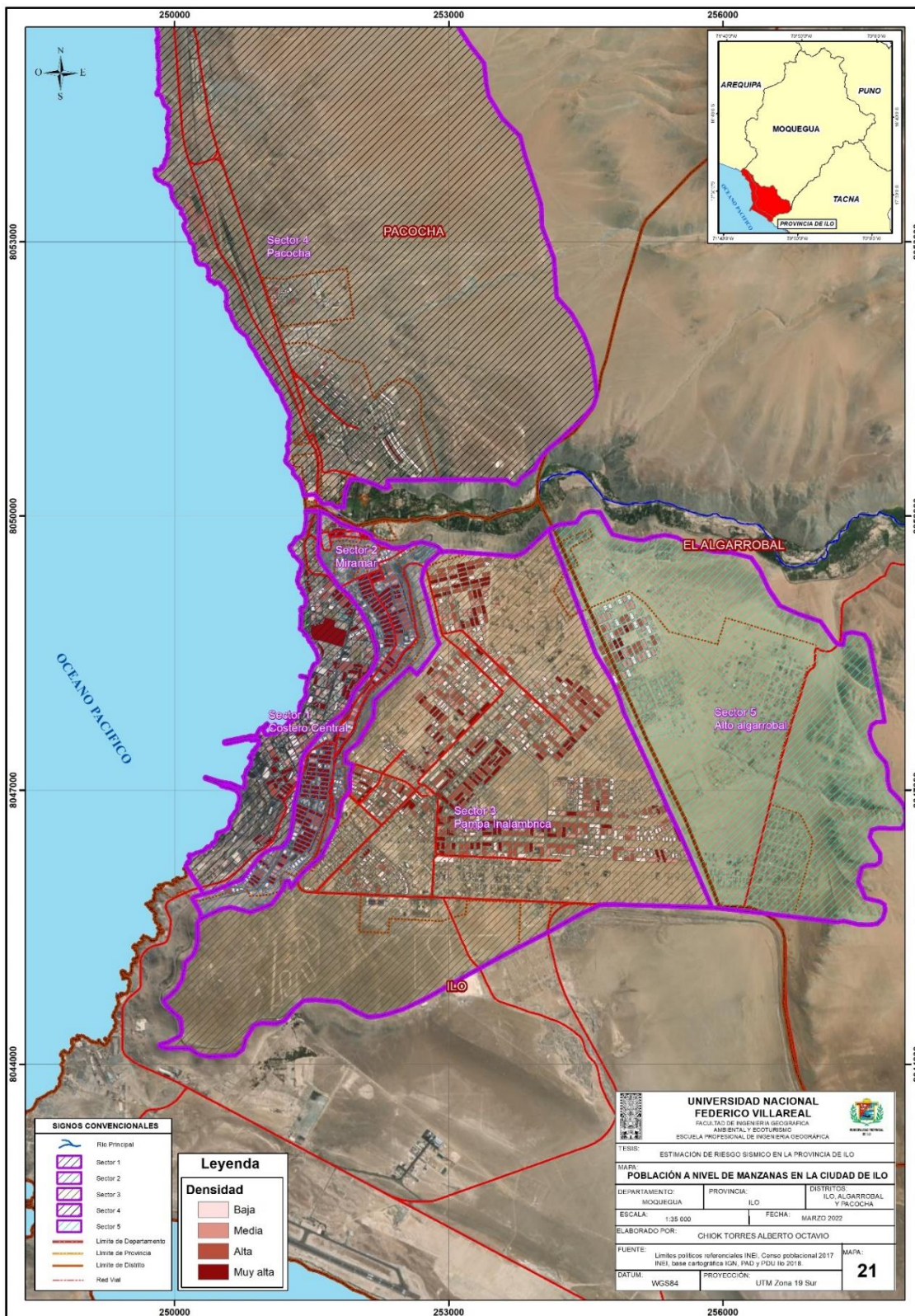
**Figura 114**  
*Grupo etario a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia



**Figura 115**  
*Población a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

#### 4.2.3.2. Resiliencia Social

**A. Incidencia de pobreza.** Se realizó la digitalización y análisis de este parámetro y se obtuvo los resultados indicados en la Figura 116, en la cual se puede visualizar la distribución del índice de pobreza en 3 zonas, las cuales fueron organizadas considerando la relación directa entre la vulnerabilidad y el nivel de índice de pobreza que tiene cada zona, por lo cual en los niveles de mayor importancia se encuentran las zonas con 11% a 20% de pobreza y en los niveles inferiores se encuentra aquellas zonas con 1% a 5% de pobreza. En la Figura 117 se puede observar que el sector más vulnerable respecto a este parámetro es Alto Algarrobal debido a que tiene un índice de pobreza promedio superior al 11%, mientras que el segundo más vulnerable corresponde a sector de Pampa Inalámbrica con un índice de pobreza entre el 6% a 10%.

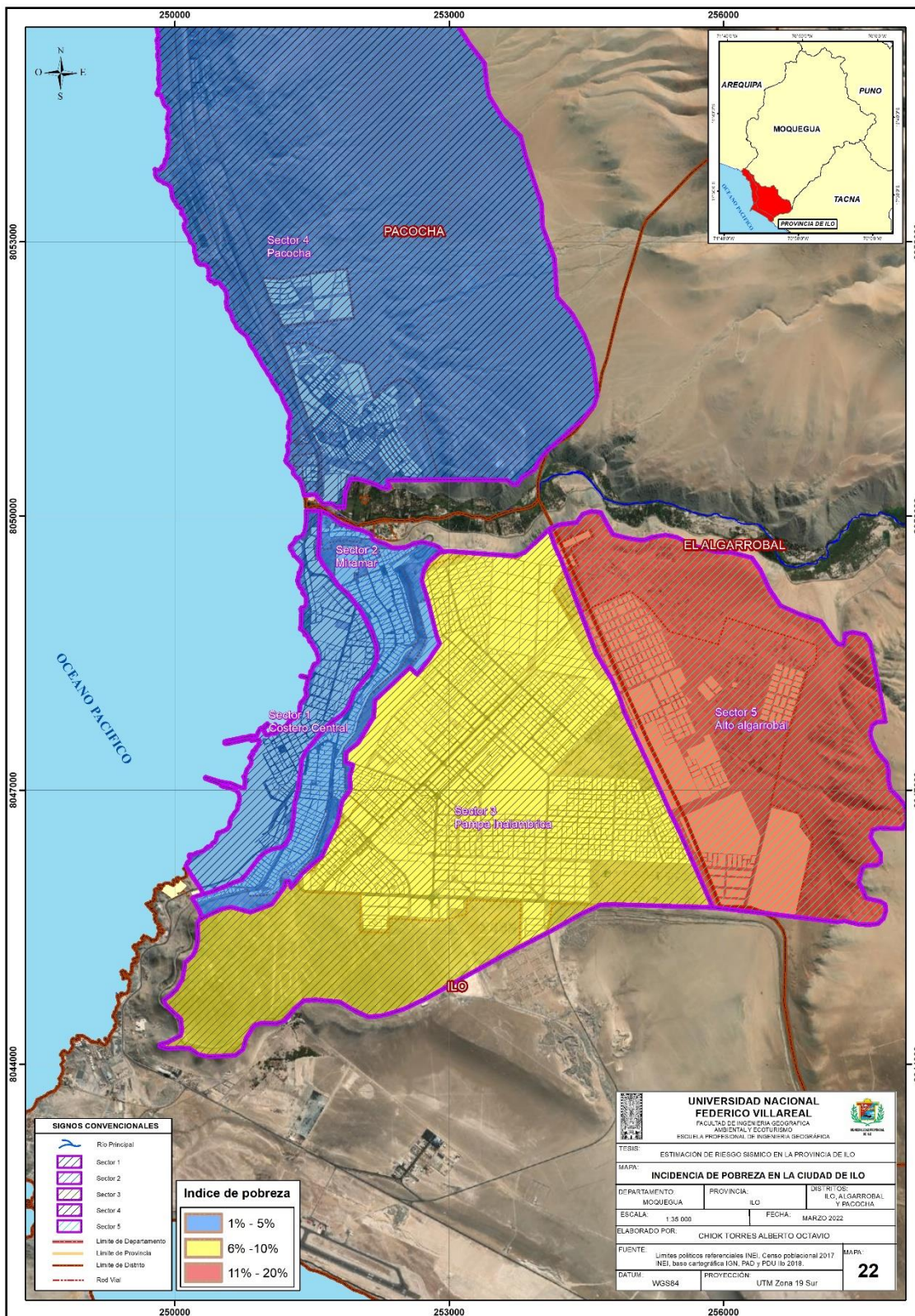
#### Figura 116

*Nivel de estrato económico en la ciudad de Ilo*

<b>Incidencia de pobreza en %</b>	<b>Zona</b>	<b>Nivel de importancia frente a la vulnerabilidad</b>
20% - 11%	Algarrobal	1
10% - 6%	Ilo (Pampa Inalámbrica)	2
5% -1%	Ilo (Centro)	3

Nota: Elaboración propia

**Figura 117**  
*Índice de pobreza en la ciudad de Ilo*



Nota: Elaboración propia

**B. Estrato económico.** Se realizó la digitalización, procesamiento y el análisis de este parámetro del estudio “Planos estratificados por ingresos a nivel de manzanas de las grandes ciudades 2020 del INEI”, del cual se conservó la clasificación según ingreso per cápita por hogar.

Respecto a la organización de esta información, en la Figura 118 se puede visualizar 5 clasificaciones para el estrato socioeconómico según el nivel de ingreso per cápita por hogares en la ciudad de Ilo, los cuales fueron organizados considerando la relación directa entre la vulnerabilidad y el estrato económico que tiene cada manzana, por lo cual en los niveles de mayor importancia se tiene manzanas con un ingreso per cápita inferior a los S/872.41, el nivel intermedio hace referencia a manzanas con un ingreso S/1,142.95 a S/1,413.48 y en los niveles inferiores manzanas con un ingreso superior a los S/1,954.55.

Finalmente, en el Figura 119 se muestra que la zona con estrato económico más alto está localizada en los sectores Costero Central y Pacocha, mientras que los sectores con estrato económico más bajo corresponden a la Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal.

### Figura 118

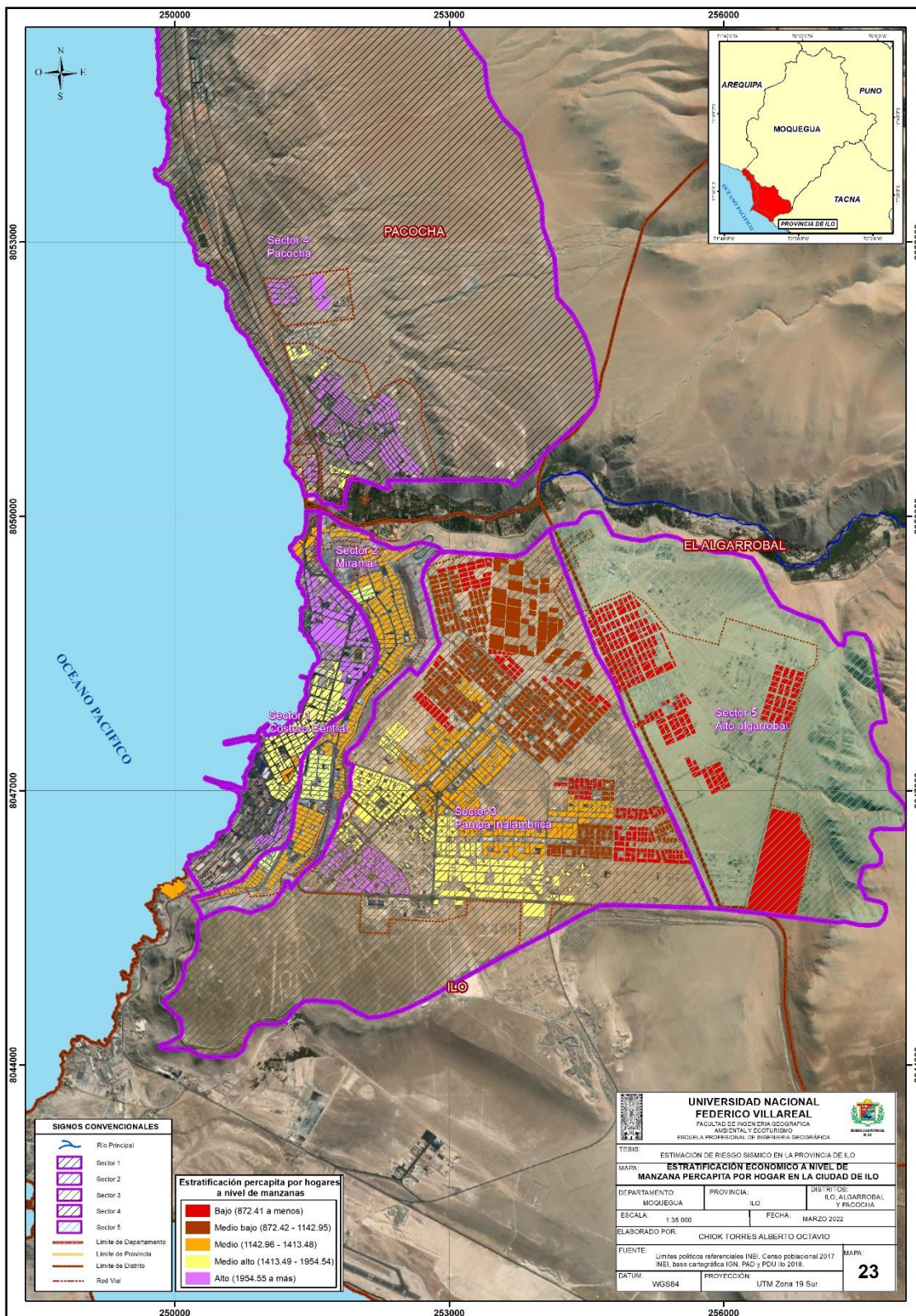
*Nivel de estrato económico en la ciudad de Ilo*

<b>Estrato económico</b>	<b>Ingreso per cápita por hogares (soles)</b>	<b>Manzanas</b>
Alto	872.41 a menos	11.7
Medio Alto	872.42 – 1,142.95	19.1
Medio	1,142.96 – 1,413.48	31.4
Medio bajo	1,413.49 – 1,954.54	23.4
Bajo	1,954.55 a mas	14.4
<b>Total</b>		<b>100</b>

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 119**

*Estratificación económica a nivel de manzanas per cápita por hogar en la ciudad de Ilo*



Nota: Elaboración propia

#### 4.2.4. Análisis de la dimensión física

Esta dimensión está constituida por las edificaciones urbanas y los equipamientos de salud y educación dentro del área de influencia de peligro por sismos, por lo cual se realizó la identificación y caracterización. Finalmente, se analizó las dimensiones de fragilidad y resiliencia.

Para este análisis se utilizó los parámetros que se pueden visualizar en la Figura 120 y se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.3. Determinación de la vulnerabilidad, en el cual se detalla el procedimiento para determinar la fragilidad física, resiliencia física y dimensión física.

#### Figura 120

*Matriz de comparación de pares para el estado de conservación*

Dimensión Física	
Fragilidad	resiliencia
Material de construcción	Reforzamiento de viviendas
Estado de conservación	
Altura de edificación	

*Nota:* Elaboración propia

##### 4.2.4.1. Análisis de fragilidad física.

Se realizó el análisis de los parámetros material de construcción, estado de conservación y altura de edificación, para lo cual se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.1. Uso del Proceso de Análisis Jerárquico, en el cual se detalla el procedimiento para el cálculo del peso de los parámetros y los valores para los descriptores.

##### A. Estado de conservación

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.2.1. Fragilidad Física – Estado de conservación, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para el estado de conservación como se muestra en la Figura 121 y la matriz de normalización para el estado de conservación según lo mostrado en la

Figura 122, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.507 a 0.045, del cual destaca el valor del descriptor referido al estado de conservación de las edificaciones “Muy Malo” que tiene un índice de 0.507, mientras que el descriptor con menor valor es “Muy Bueno” con un índice de 0.045.

**Figura 121**

*Matriz de comparación de pares para el estado de conservación*

<b>Estado de conservación</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>	<b>Ruinoso</b>
Muy Bueno	1	0.50	0.25	0.20	0.13
Bueno	2	1	0.50	0.25	0.20
Regular	4	2	1	0.33	0.25
Malo	5	4	3	1	0.25
Muy Malo	8	5	4	4	1
<b>suma</b>	20.00	12.50	8.75	5.78	1.83
<b>1/suma</b>	0.05	0.08	0.11	0.17	0.55

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 122**

*Matriz de normalización para el estado de conservación*

<b>Estado de conservación</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>	<b>Ruinoso</b>	<b>Vector de priorización</b>
Muy Bueno	0.051	0.040	0.028	0.035	0.071	0.045
Bueno	0.102	0.080	0.057	0.043	0.109	0.077
Regular	0.203	0.160	0.114	0.057	0.137	0.129
Malo	0.254	0.320	0.345	0.173	0.137	0.242
Muy Malo	0.391	0.400	0.456	0.692	0.546	0.507

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro estado de conservación como se muestra en la Figura 123, en el cual se detalla que el descriptor “Muy malo” es la variable que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de

vulnerabilidad, esto se debe al aumento de la inestabilidad de las edificaciones con el paso del tiempo.

**Figura 123**

*Valores para el parámetro estado de conservación*

Estado de conservación	Valores del parámetro
Muy Malo	0.507
Malo	0.242
Regular	0.129
Bueno	0.077
Muy Bueno	0.045

*Nota:* Elaboración propia

### ***B. Material de construcción***

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.2.1. Fragilidad Física – Material de construcción, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares como se muestra en la Figura 124 y la matriz de normalización según lo mostrado en la Figura 125, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.541 a 0.038, del cual destaca el valor del descriptor referido al material de construcción de las edificaciones “Driwall” que tiene un índice de 0.541, mientras que el descriptor con menor valor es “Piedra” con un índice de 0.038.

**Figura 124**

*Matriz de comparación de pares para material de construcción*

Material de construcción	Driwall	Madera	Concreto	Adobe	Piedra
Driwall	1	0.50	0.25	0.14	0.13
Madera	2	1	0.33	0.25	0.14
Concreto	4	3	1	0.25	0.17
Adobe	7	4	4	1	0.25
Piedra	8	7	6	4	1
<b>suma</b>	22.00	15.50	11.58	5.64	1.68
<b>1/suma</b>	0.05	0.06	0.09	0.18	0.59

*Nota:* Elaboración propia



**Figura 125***Matriz de normalización para el material de construcción*

<b>Material de construcción</b>	<b>Driwall</b>	<b>Madera</b>	<b>Concreto</b>	<b>Adobe</b>	<b>Piedra</b>	<b>Vector de priorización</b>
Driwall	0.045	0.032	0.022	0.025	0.074	0.038
Madera	0.091	0.065	0.029	0.044	0.085	0.061
Concreto	0.182	0.194	0.086	0.044	0.099	0.111
Adobe	0.318	0.258	0.345	0.177	0.148	0.249
Piedra	0.364	0.452	0.518	0.709	0.594	0.541

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro material de construcción como se visualiza en la Figura 126, en el cual se detalla que el descriptor “Piedra” es la variable que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, esto se debe a la inestabilidad de las edificaciones construidas con este material.

**Figura 126***Valores para el parámetro material de construcción*

<b>Material de construcción</b>	<b>Valores del parámetro</b>
Piedra	0.541
Adobe	0.249
Concreto	0.111
Madera	0.061
Driwall	0.038

*Nota:* Elaboración propia

### ***C. Altura de edificación***

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.2.1. Fragilidad Física – Altura de edificación, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares como se muestra en la Figura 127 y la matriz de normalización según lo mostrado en la Figura 128, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.467 a 0.043, del cual destaca el valor del descriptor referido al número de pisos de las edificaciones “5 pisos a más” que tiene un índice de 0.467, mientras que el descriptor con menor valor es “1 piso” con un índice de 0.043.

**Figura 127***Matriz de comparación de pares para altura de edificación*

<b>Altura de edificación</b>	<b>1 piso</b>	<b>2 pisos</b>	<b>3 pisos</b>	<b>4 pisos</b>	<b>5 pisos a mas</b>
1 piso	1	0.33	0.25	0.17	0.17
2 pisos	3	1	0.50	0.25	0.20
3 pisos	4	2	1	0.33	0.25
4 pisos	6	4	3	1	0.33
5 pisos a mas	6	5	4	3	1
<b>suma</b>	20.00	12.33	8.75	4.75	1.95
<b>1/suma</b>	0.05	0.08	0.11	0.21	0.51

*Nota:* Elaboración propia**Figura 128***Matriz de normalización para altura de edificación*

<b>Altura de edificación</b>	<b>1 piso</b>	<b>2 pisos</b>	<b>3 pisos</b>	<b>4 pisos</b>	<b>5 pisos a mas</b>	<b>Vector de priorización</b>
1 piso	0.050	0.027	0.029	0.035	0.085	0.043
2 pisos	0.150	0.081	0.057	0.053	0.103	0.086
3 pisos	0.200	0.162	0.114	0.070	0.128	0.133
4 pisos	0.300	0.324	0.343	0.211	0.171	0.272
5 pisos a mas	0.300	0.405	0.457	0.632	0.513	0.467

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro altura de edificación como se visualiza en la Figura 129, en el cual se detalla que el descriptor “5 pisos a más” es la variable que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, esto se debe a que a mayor altura de edificación hay una mayor probabilidad de inestabilidad de la infraestructura.

**Figura 129***Valores para el parámetro altura de edificación*

<b>Altura de edificación</b>	<b>Vector de priorización</b>
5 pisos a mas	0.467
4 pisos	0.272
3 pisos	0.133
2 pisos	0.086
1 piso	0.043

*Nota:* Elaboración propia

#### D. Peso de parámetros evaluados

Para el cálculo de los pesos se generó la matriz de comparación de pares para los factores desencadenantes como se muestra en la Figura 130 y la matriz de normalización para factores desencadenantes según los mostrados en la Figura 131, estos valores varían desde 0.57 a 0.01, del cual destaca el valor del parámetro referido a los factores desencadenante del peligro por sismos “Estado de edificación” que tiene un índice de 0.57, mientras que el parámetro con menor valor es “Altura de edificación” con un valor de 0.01.

#### Figura 130

Matriz de comparación de pares para los parámetros evaluados

Parámetro	Altura de Edificación	Estado de Edificación	Material de Construcción
Altura de Edificación	1	0.2	0.25
Estado de Edificación	5	1	2
Material de Construcción	4	0.5	1
<b>suma</b>	10	1.7	3.25
<b>1/suma</b>	0.1	0.59	0.31

Nota: Elaboración propia

#### Figura 131

Matriz de normalización para altura de los parámetros evaluados

	Altura de Edificación	Estado de Edificación	Material de Construcción	Vector de priorización
Altura de Edificación	0.1	0.12	0.08	0.1
Estado de Edificación	0.5	0.59	0.62	0.57
Material de Construcción	0.4	0.29	0.31	0.33

Nota: Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el peso de los parámetros asociados a la fragilidad física como se visualiza en la Figura 132, en el cual se detalla que el parámetro que tiene mayor contribución en la vulnerabilidad de las edificaciones es el estado de edificación, debido a que la antigüedad y la condición de las viviendas son factores

importantes al momento de evaluar el nivel de resistencia de las edificaciones frente a un evento sísmico de gran magnitud.

### Figura 132

*Valores para los parámetros evaluados*

<b>Parámetro</b>	<b>Vector de priorización</b>
Estado de Edificación	0.57
Material de Construcción	0.33
Altura de Edificación	0.1

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.2.5. Análisis de la dimensión social

Esta dimensión está constituida por las condiciones de vulnerabilidad de la población dentro del área de influencia del peligro por sismos, por lo cual se realizó la identificación y la caracterización de la población, para luego realizar el análisis de fragilidad y resiliencia.

Para el análisis se utilizó los parámetros que se pueden visualizar en la Figura 133 y se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.3. Determinación de la vulnerabilidad, en la cual se detalla el procedimiento para determinar la fragilidad social, resiliencia social y dimensión social.

### Figura 133

*Parámetros para el análisis de dimensión social clasificados por factores de fragilidad y resiliencia*

<b>Dimensión Social</b>	
<b>Fragilidad social</b>	<b>resiliencia social</b>
Grupo etario	Organización institucional
	Incidencia de pobreza
Densidad poblacional	Estrato económico

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.2.5.1. Análisis de fragilidad social.

Se realizó el análisis de los parámetros de grupo etario y densidad poblacional, para lo cual se aplicó la metodología indicada en el Capítulo III, numeral 3.6.4.1. Uso del Proceso de Análisis Jerárquico, en el cual se detalla el procedimiento para el cálculo del peso de los parámetros y los valores para los descriptores.

##### A. Grupo Etario

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.3.1. Fragilidad Social– Grupo etario, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para los grupo etario como se muestra en la Figura 134 y la matriz de normalización para los grupo etario según lo mostrado en la Figura 135, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.439 a 0.042, del cual destaca el valor del descriptor referido a la clasificación por grupos de edades “0 a 5 y mayores de 65 años” que tiene un índice de 0.439, mientras que el descriptor con menor valor es “31 - 49 años” con un índice de 0.042.

**Figura 134**

*Matriz de comparación de pares para el Grupo Etario*

Grupo Etario	0 a 5 y mayores de 65 años	6 a 10 y 60 a 65 años	10 - 14 años	15 - 30 años	31 - 49 años
0 a 5 y mayores de 65 años	1.00	2.00	3.00	6.00	7.00
6 a 10 y 60 a 65	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
10 - 14 años	0.33	0.50	1.00	3.00	4.00
15 - 30 años	0.17	0.25	0.33	1.00	3.00
31 - 49 años	0.14	0.17	0.25	0.33	1.00
<b>Suma</b>	2.14	3.92	6.58	14.33	21.00
<b>1/Suma</b>	0.47	0.26	0.15	0.07	0.05

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 135***Matriz de normalización para el Grupo Etario*

<b>Grupo Etario</b>	<b>0 a 5 y mayores de 65 años</b>	<b>6 a 10 y 60 a 65 años</b>	<b>10 - 14 años</b>	<b>15 - 30 años</b>	<b>31 - 49 años</b>	<b>Vector de priorización</b>
0 a 5 y mayores de 65 años	0.467	0.511	0.456	0.419	0.333	0.439
0 a 5 y mayores de 65 años	0.233	0.255	0.304	0.279	0.286	0.275
10 - 14 años	0.156	0.128	0.152	0.209	0.190	0.167
15 - 30 años	0.078	0.064	0.051	0.070	0.143	0.077
31 - 49 años	0.067	0.043	0.038	0.023	0.048	0.042

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvo los valores validados para el parámetro grupo etario como se visualiza en la Figura 136, en el cual se detalla que el descriptor “0 a 5 y mayores de 65 años” es la variable que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, esto se debe a que la población en este rango de edad no se puede valer por sí mismo al momento de realizar las acciones de evacuación.

**Figura 136***Valores para el parámetro grupo etario*

<b>Grupo Etario</b>	<b>Valores del parámetro</b>
0 a 5 y mayores de 65 años	0.439
0 a 5 y mayores de 65 años	0.275
10 - 14 años	0.167
15 - 30 años	0.077
31 - 49 años	0.042

*Nota:* Elaboración propia

### B. Densidad Poblacional

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.3.1. Fragilidad Social– densidad poblacional, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la densidad poblacional como se muestra en la Figura 137 y la matriz de normalización para la densidad poblacional según lo mostrado en la Figura 138, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.496 a 0.034, del cual destaca el valor del descriptor referido a las zonas con mayor cantidad de población en la ciudad de Ilo “Muy alta” que tiene un índice de 0.496, mientras que el descriptor con menor valor es “Muy bajo” con un índice de 0.034.

**Figura 137**

*Matriz de comparación de pares para la densidad poblacional*

Densidad poblacional	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Muy alta	1.00	3.00	5.00	6.00	8.00
Alta	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
Media	0.20	0.33	1.00	4.00	5.00
Baja	0.17	0.20	0.25	1.00	4.00
Muy Baja	0.13	0.17	0.20	0.25	1.00
<b>Suma</b>	1.83	4.70	9.45	16.25	24.00
<b>1/Suma</b>	0.55	0.21	0.11	0.06	0.04

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 138**

*Matriz de normalización para la densidad poblacional*

Densidad poblacional	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Vector de priorización
Muy alta	0.548	0.638	0.529	0.369	0.333	0.496
Alta	0.183	0.213	0.317	0.308	0.250	0.263
Media	0.110	0.071	0.106	0.246	0.208	0.141
Baja	0.091	0.043	0.026	0.062	0.167	0.067
Muy Baja	0.068	0.035	0.021	0.015	0.042	0.034

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro densidad poblacional como se visualiza en la Figura 139, en el cual se detalla que el descriptor “Muy alto” es el descriptor que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, debido a que las zonas con mayor densidad poblacional son las más susceptibles al momento de realizar las acciones de evacuación.

### **Figura 139**

*Valores para el parámetro densidad poblacional*

<b>Densidad poblacional</b>	<b>Valores del parámetro</b>
Muy alta	0.496
Alta	0.263
Media	0.141
Baja	0.067
Muy Baja	0.034

*Nota:* Elaboración propia

#### ***4.2.5.2. Análisis de Resiliencia social.***

##### ***A. Incidencia de pobreza***

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.3.2. Resiliencia Social– Incidencia de pobreza, con los cuales se generó la matriz de comparación de pares para la incidencia de pobreza como se muestra en la Figura 140 y la matriz de normalización para la incidencia de pobreza según lo mostrado en la Figura 141, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.696 a 0.075, del cual destaca el valor del descriptor referido a las zonas con mayor porcentaje de pobreza a nivel distrital “20% - 11%” que tiene un índice de 0.696, mientras que el descriptor con menor valor es “5% -1%” con un índice de 0.075.



**Figura 140***Matriz de comparación de pares para la incidencia de pobreza*

<b>Incidencia de pobreza en %</b>	<b>20% - 11%</b>	<b>10% - 6%</b>	<b>5% - 1%</b>
20% - 11%	1.00	4.00	7.00
10% - 6%	0.25	1.00	4.00
5% - 1%	0.14	0.25	1.00

*Nota:* Elaboración propia**Figura 141***Matriz de normalización para la incidencia de pobreza*

<b>Incidencia de pobreza en %</b>	<b>20% - 11%</b>	<b>10% - 6%</b>	<b>5% - 1%</b>	<b>Vector de priorización</b>
20% - 11%	0.718	0.762	0.583	0.696
10% - 6%	0.179	0.190	0.333	0.229
5% - 1%	0.103	0.048	0.083	0.075

*Nota:* Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro Incidencia de pobreza como se visualiza en la Figura 142, en el cual se detalla que el descriptor “20% - 11%” es el descriptor que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, debido a que la población con este índice de pobreza tiene más dificultades al momento de afrontar el impacto ocasionado por un sismo de gran magnitud a sus viviendas y condiciones de vida.

**Figura 142***Valores para el parámetro incidencia de pobreza*

<b>Incidencia de pobreza en %</b>	<b>Valores del parámetro</b>
20% - 11%	0.696
10% - 6%	0.229
5% - 1%	0.075

*Nota:* Elaboración propia**B. Estrato económico**

Para la aplicación del método AHP se utilizaron los descriptores identificados en el Capítulo IV, numeral 4.2.3.2. Resiliencia Social– Estrato económico, con los cuales se generó la

matriz de comparación de pares para el estrato económico a nivel de manzanas como se muestra en la Figura 143 y la matriz de normalización para el estrato económico a nivel de manzanas según lo mostrado en la Figura 144, de esta evaluación se obtuvieron los valores preliminares (vector de priorización), estos valores varían desde 0.434 a 0.048, del cual destaca el valor del descriptor referido al ingreso per cápita por manzana “S/. 872.41 a menos” que tiene un índice de 0.434, mientras que el descriptor con menor valor es “S/. 1,954.55 a más” con un índice de 0.048.

**Figura 143**

*Matriz de comparación de pares para el estrato económico*

<b>Estrato Económico (S/.)</b>	<b>872.41 a menos</b>	<b>872.42 – 1,142.95</b>	<b>1,142.96 – 1,413.48</b>	<b>1,413.49 – 1,954.54</b>	<b>1,954.55 a mas</b>
872.41 a menos	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
872.42 – 1142.95	0.50	1.00	2.00	4.00	5.00
1,142.96 – 1,413.48	0.33	0.50	1.00	3.00	4.00
1,413.49 – 1,954.54	0.20	0.25	0.33	1.00	2.00
1,954.55 a mas	0.14	0.20	0.25	0.50	1.00

Nota: Elaboración propia

**Figura 144**

*Matriz de normalización para el estrato económico*

<b>Estrato Económico (S/.)</b>	<b>872.41 a menos</b>	<b>872.42 – 1,142.95</b>	<b>1,142.96 – 1,413.48</b>	<b>1,413.49 – 1,954.54</b>	<b>1,954.55 a mas</b>	<b>Vector de priorización</b>
872.41 a menos	0.460	0.506	0.456	0.370	0.368	0.434
872.42 – 1,142,95	0.230	0.253	0.304	0.296	0.263	0.271
1,142.96 – 1,413.48	0.153	0.127	0.152	0.222	0.211	0.171
1,413.49 – 1,954.54	0.092	0.063	0.051	0.074	0.105	0.075
1,954.55 a mas	0.066	0.051	0.038	0.037	0.053	0.048

Nota: Elaboración propia

Finalmente, del cálculo realizado se obtuvieron los valores validados para el parámetro estrato económico como se visualiza en la Figura 145, en el cual se detalla que el rango de “S/. 872,41 a menos” es el descriptor que contribuye más en la determinación de los niveles más altos de vulnerabilidad, debido a que la población con este estrato económico per cápita tiene más dificultades al momento de afrontar el impacto ocasionado por un sismo de gran magnitud a sus viviendas y condiciones de vida.

**Figura 145**

*Valores para el parámetro incidencia de pobreza*

<b>Estrato Económico (S/.)</b>	<b>Valores del parámetro</b>
872.41 a menos	0.434
872.42 – 1,142.95	0.271
1,142,96 – 1,413.48	0.171
1,413.49 – 1,954.54	0.075
1,954.55 a mas	0.048

*Nota:* Elaboración propia

**4.2.5.3. Validación de pesos calculados**

Según lo detallado en el capítulo III, Numeral 3.6.4.1. Uso del Proceso de Análisis Jerárquico – Calculo de relación de consistencia, se aplicó la metodología indicada para la validación de los vectores de priorización, de esta evaluación se obtuvo los siguientes índices para las dimensiones físicas y social y sus factores de fragilidad y resiliencia, tal como se muestra en la Figura 146 para la dimensión física y en la Figura 147 para la dimensión social, del cual se aprecia que todos los valores correspondientes a la relación de consistencia son menores a 0.1, lo cual confirma la valides de los resultados y pesos obtenidos.

**Figura 146***Incidencia de relación de consistencia para la dimensión física*

Índices de relación de consistencia	Fragilidad física		Resiliencia física	
	Estado de conservación	Material de construcción	Altura de edificación	Fragilidad física
Índice de consistencia (Ci)	0.075	0.094	0.068	0.012
Índice de consistencia aleatorio (Rci)	1.188	1.188	1.188	0.66
Relación de consistencia (CR)	0.064	0.079	0.057	0.029

*Nota:* Elaboración propia**Figura 147***Incidencia de relación de consistencia para la dimensión social*

Índices de relación de consistencia	Fragilidad social		Resiliencia social	
	Grupo etario	Densidad Poblacional	Índice de pobreza	Estrato económico
Índice de consistencia (Ci)	0.025	0.093	0.04	0.02
Índice de consistencia aleatorio (Rci)	1.188	1.188	0.66	1.19
Relación de consistencia (CR)	0.021	0.078	0.06	0.02

*Nota:* Elaboración propia

#### 4.2.6. Cálculo de los valores de la vulnerabilidad

Para esta etapa se aplicó la metodología del capítulo III, numeral 3.6.4.3. Determinación de la vulnerabilidad, en la cual se describe el procesamiento para determinar los valores para el análisis de la dimensión física, social y la vulnerabilidad.

**4.2.6.1. Cálculo de valores de la dimensión física.** Se determinó los valores y rangos para la fragilidad y resiliencia física tal como se muestra en la Figura 148, donde el rango calculado para la fragilidad oscila entre los valores de 0.514 como máximo valor y 0.042 como mínimo valor, mientras que para la resiliencia tiene el uno valor de 0.3.

**Figura 148***Calculo de los valores de Fragilidad y Resiliencia física*

Estado de conservación		Material de construcción		Altura de edificación		Fragilidad física		Reforzamiento de viviendas	Resiliencia física	
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Valor	Peso
0.507	0.57	0.541	0.33	0.467	0.10	0.514	0.70	0.20	0.20	0.30
0.242	0.57	0.249	0.33	0.272	0.10	0.247	0.70	0.20	0.20	0.30
0.129	0.57	0.111	0.33	0.133	0.10	0.124	0.70	0.20	0.20	0.30
0.077	0.57	0.061	0.33	0.086	0.10	0.073	0.70	0.20	0.20	0.30
0.045	0.57	0.038	0.33	0.043	0.10	0.042	0.70	0.20	0.20	0.30

Nota: Elaboración propia

Respecto al cálculo de los valores y rangos para la dimensión física, en la Figura 149 se muestra que los rangos obtenidos varían entre los valores de 0.42 como máximo valor y 0.09 como mínimo valor.

**Figura 149***Calculo de los valores de dimensión física*

Fragilidad física		Resiliencia física		Dimensión física
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.514	0.70	0.20	0.30	0.42
0.247	0.70	0.20	0.30	0.23
0.124	0.70	0.20	0.30	0.15
0.073	0.70	0.20	0.30	0.11
0.042	0.70	0.20	0.30	0.09

Nota: Elaboración propia

**4.2.6.2. Cálculo de valores de la dimensión social.** Se determinó los valores y rangos para la fragilidad y resiliencia social tal como se muestra en la Figura 150, donde el rango calculado para la fragilidad oscila entre los valores de 0.468 como máximo valor y 0.038 como mínimo valor, mientras que para la resiliencia oscila entre los valores de 0.396 como máximo valor y 0.043 como mínimo valor.

**Figura 150***Calculo de los valores de Fragilidad y Resiliencia social*

Grupo Etario		Densidad poblacional		Fragilidad social		Incidencia de pobreza		Estrato Económico		Resiliencia social	
Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso
0.439	0.5	0.496	0.5	0.468	0.5	0.696	0.4	0.434	0.6	0.396	0.5
0.275	0.5	0.263	0.5	0.269	0.5	0.52	0.4	0.271	0.6	0.277	0.5
0.167	0.5	0.141	0.5	0.154	0.5	0.229	0.4	0.171	0.6	0.140	0.5
0.077	0.5	0.067	0.5	0.072	0.5	0.1	0.4	0.075	0.6	0.061	0.5
0.042	0.5	0.034	0.5	0.038	0.5	0.075	0.4	0.048	0.6	0.043	0.5

Nota: Elaboración propia

Respecto al cálculo de los valores y rangos para la dimensión social, en la Figura 151 se muestra que los rangos obtenidos varían entre los valores de 0.432 como máximo valor y 0.041 como mínimo valor.

**Figura 151***Calculo de los valores de dimensión social*

Fragilidad social		Resiliencia social		Dimensión social
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.468	0.5	0.396	0.5	0.432
0.269	0.5	0.277	0.5	0.273
0.154	0.5	0.140	0.5	0.147
0.072	0.5	0.061	0.5	0.067
0.038	0.5	0.043	0.5	0.041

Nota: Elaboración propia

**4.2.6.3. Determinación de valores de la vulnerabilidad.** De la evaluación realizada se obtuvo los valores para los niveles de vulnerabilidad como se puede ver en la Figura 152, donde el rango calculado oscila entre los valores de 0.426 como valor máximo para el nivel de vulnerabilidad muy alto y 0.065 como valor mínimo para el nivel de vulnerabilidad bajo.

**Figura 152***Calculo de los valores de vulnerabilidad*

Dimensión social		Dimensión física		Vulnerabilidad
Valor	Peso	Valor	Peso	
0.432	0.5	0.42	0.5	0.426
0.273	0.5	0.233	0.5	0.253
0.147	0.5	0.147	0.5	0.147
0.067	0.5	0.111	0.5	0.089
0.041	0.5	0.09	0.5	0.065

Nota: Elaboración propia

**4.2.6.4. Clasificación de la vulnerabilidad.** Del análisis realizado se puede visualizar en la Figura 153 que la vulnerabilidad de las edificaciones y la población está relacionado a la interacción entre las variables físicas y sociales, donde las zonas más vulnerables tienen una población con escasos ingresos económicos, lo que genera el aumento de los niveles de pobreza, edificaciones con materiales de construcción como piedra, adobe, madera y drywall y escasa intervención por parte del gobierno local para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad.

Mientras que las zonas menos vulnerables tienen una población con un alto ingreso económico, bajo nivel de pobreza, edificaciones con materiales de construcción como el concreto y la intervención por parte del gobierno local con proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad.

**Figura 153***Matriz de clasificación de la vulnerabilidad*

Nivel de vulnerabilidad	Descripción	Rangos
<b>Muy Alto</b>	Grupo etario de los 0 a 10 años y mayores de 60 años, estratos económicos menor a S/ 872.42, incidencia de pobreza mayor del 11% al 20%, densidad poblacional muy alta, no hay ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación de un 1 piso, material de construcción predominantes Piedra y adobe, algunas edificaciones de concreto y estado de conservación muy deteriorado.	$0.253 \leq V \leq 0.426$
<b>Alto</b>	Grupo etario entre los 10 a 14 años, estrato económico de S/ 872.42 - S/ 1,413.48, incidencia de pobreza entre el 10% y el 6%, densidad poblacional media, escasa ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de 3 pisos, material de construcción predominante de concreto y estado de conservación deteriorado	$0.147 \leq V \leq 0.253$
<b>Medio</b>	Grupo etario de 15 a 30 años, estrato económico de S/1,413.49 - S/1,954.54, incidencia de pobreza entre 6%, densidad poblacional baja, ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de edificaciones de 2 pisos, material de construcción predominante de concreto y el estado de conservación es predominante es bueno	$0.089 \leq V \leq 0.147$
<b>Bajo</b>	Grupo etario de 31 a 49 años, estrato económico de S/1,954. 55 a más, incidencia de pobreza del 5% al 1%, densidad poblacional muy baja, ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de 1 piso, Material de construcción predominante de concreto y algunas edificaciones de Driwall, estado de conservación muy bueno.	$0.065 \leq V \leq 0.089$

*Nota:* Elaboración propia**4.2.7. Resultados de la vulnerabilidad.**

Los resultados de esta evaluación se presentan en la Figura 154, en la que se puede apreciar la distribución de lotes clasificados por nivel de vulnerabilidad, de este análisis se



determinó que 9 409 (30.53 %) lotes presentan un nivel de vulnerabilidad media, mientras que 6 728 (21.83 %) tienen un nivel alto, 4 979 (15.83 %) tienen un nivel muy alto, 4 708 (15.28 %) tienen un nivel bajo y 5 907 (16.54 %) no tienen datos para el análisis de vulnerabilidad, por lo cual se les asigno el estado “No aplica”.

### Figura 154

*Cantidad de lotes vulnerables por sector en la ciudad Ilo*

Sector	Nombre del sector	Cantidad de lotes		Nivel de vulnerabilidad por lotes										
				No aplica		Bajo		Medio		Alto		Muy Alto		
		N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%	N° lotes	%	
Sector 1	Costero Central	2 916	9.46	430	1.40	1 567	5.08	872	2.83	44	0.14	3	0.01	
Sector 2	Miramar Pampa	5 285	5	245	0.79	413	1.34	3 940	12.78	680	2.21	7	0.02	
Sector 3	Inalámbrica	18 359	7	3256	10.56	2 000	6.49	4 522	14.67	5 991	4	2 590	8.40	
Sector 4	Pacocha Alto	1 416	4.59	600	1.95	728	2.36	75	0.24	13	0.04	0	0.00	
Sector 5	algarrobal	2 845	9.23	566	1.84	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2 279	7.39	
<b>Total</b>		<b>30 821</b>	<b>100</b>	<b>5 097</b>	<b>16.54</b>	<b>4 708</b>	<b>15.28</b>	<b>9 409</b>	<b>30.53</b>	<b>6 728</b>	<b>21.8</b>	<b>3</b>	<b>4 879</b>	<b>15.83</b>

*Nota:* Se observa que los sectores Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal tienen la mayor cantidad de lotes con niveles de vulnerabilidad alto y muy alto, el primer sector con 8 581 lotes (27.88%) y el segundo sector con 2 279 lotes (7.39%).

El criterio utilizado para organizar los resultados obtenidos fue considerar aquellos sectores que tienen la mayor cantidad de lotes en termino de los niveles de vulnerabilidad (alto y muy alto). A continuación, se describe las características más resaltantes de cada sector:

El Sector 3 Pampa Inalámbrica, tiene un total de 18 359 lotes, que corresponden al 59.57 % del total de lotes evaluados, este sector es el más vulnerable y su nivel de vulnerabilidad predominante es alto, tiene 5 991 (19.14 %) de los lotes con un nivel de vulnerabilidad alto, mientras que 4 552 (14.67 %) presenta un nivel medio, 2 590 (8.4 %) un nivel muy alto y 2 000 (6.49 %) un nivel bajo. Este sector se caracteriza por tener un estrato económico predominante entre los S/872.42 – S/1142.96 y un índice de pobreza entre el 6 % y 10 %, debido a este bajo

ingreso per cápita de la población el estado de conservación de las viviendas es regular o en algunos casos precario y el concreto es el material de construcción predominante. Sin embargo, en algunas zonas de este sector se utilizan materiales como el adobe, driwall, madera o piedras.

El Sector 5 Alto Algarrobal, tiene un total de 2 845 lotes, que corresponde al 9.23 % del total de lotes evaluados, este es el segundo sector más vulnerable, el cual tiene todos sus lotes con una vulnerabilidad muy alta. Este sector se caracteriza por tener el estrato económico más bajo, el cual corresponde a una población que subsiste con menos de S/ 872.42 y tiene un índice de pobreza mayor al 11%, lo que ocasiona que la mayoría de viviendas se encuentren en una condición precaria y el material de construcción predominante es madera y adobe.

El Sector 2 Miramar, tiene un total de 5 285 lotes, que corresponde al 17.15 % del total de lotes evaluados, este es el tercer sector más vulnerable y su nivel de vulnerabilidad predominante es medio, tiene 3 940 (12.78 %) de los lotes con un nivel de vulnerabilidad medio, mientras que 680 (2.21 %) presenta un nivel alto, 413 (1.34 %) un nivel bajo y 7 (0.02 %) un nivel muy alto. Este sector se caracteriza por tener una moderada densidad poblacional, un estrato económico predominante entre los S/1,413.49 – S/1,954.54 y un índice de pobreza entre el 1 % y 5%, debido al moderado ingreso per cápita de la población el estado de conservación de las viviendas es regular o bueno y el concreto es el material de construcción predominante.

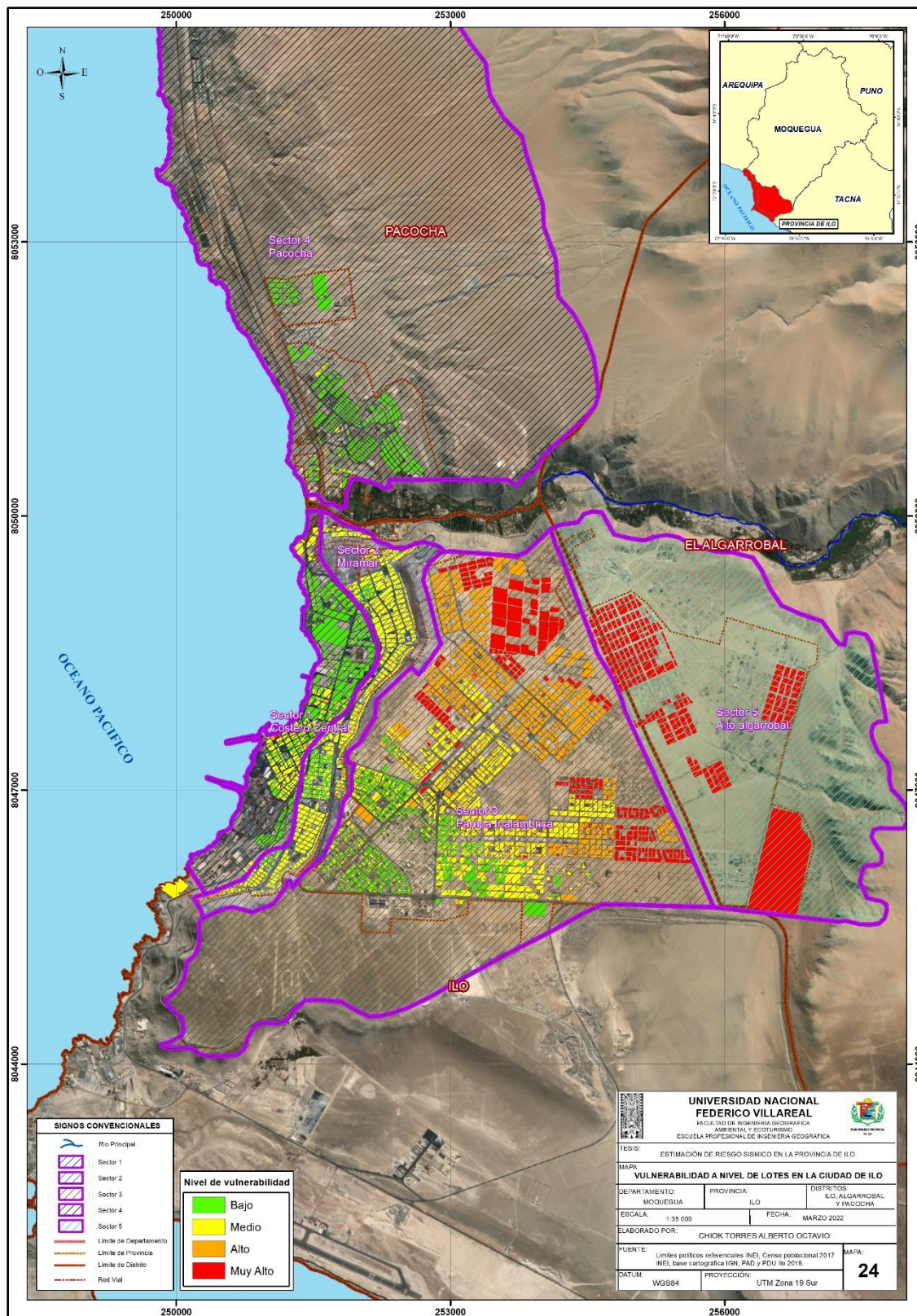
El Sector 1 Costero Central, tiene un total de 2 916 lotes, que corresponde al 9.46 % del total de lotes evaluados, este es el cuarto sector más vulnerable y su nivel de vulnerabilidad predominante es bajo, tiene 1 567 (5.08 %) de los lotes con un nivel de vulnerabilidad bajo, mientras que 872 (2.83 %) presenta un nivel medio, 44 (0.14 %) un nivel alto y 3 (0.01 %) un nivel muy alto. Este sector se caracteriza por tener una gran densidad poblacional, un estrato económico predominante con más de S/1,954.55 y un índice de pobreza del 1 %, debido a este alto ingreso per cápita de la población el estado de conservación de la mayoría de viviendas es

bueno o muy bueno y el concreto es el material de construcción predominante. No obstante, hay excepciones respecto al estado de conservación de las viviendas y esta corresponde a las casonas coloniales que se encuentra en la zona céntrica de este sector, las cuales tiene un estado de conservación precario.

El Sector 4 Pacocha, tiene un total de 1 416 lotes, que corresponde al 4.59 % del total de lotes evaluados, este es el quinto sector más vulnerable y su nivel de vulnerabilidad predominante es bajo, tiene 728 (2.36 %) de los lotes con un nivel de vulnerabilidad bajo, mientras que 75 (0.24 %) presenta un nivel medio y 13 (0.04 %) un nivel alto. Este sector tiene características similares al sector 1, los factores en los que difiere son; la predominancia de las edificaciones con 3 pisos y la totalidad de sus edificaciones con un buen estado de conservación.

Finalmente, en la Figura 155, se puede visualizar la distribución espacial de los niveles de vulnerabilidad por sector.

**Figura 155**  
*Vulnerabilidad de lotes en la ciudad de Ilo*



Nota: Elaboración propia

### 4.3. Cálculo de la relación entre el peligro sísmico y la vulnerabilidad de la población, infraestructura, equipamiento de salud y educativo para la identificación y cuantificación de los niveles de riesgo por sismos en la ciudad de Ilo

Para estimar el riesgo por evento sísmico se aplicó la metodología indicada en el capítulo III, numeral 3.6.4.4. Determinación del riesgo, en el cual se detalla el procedimiento para determinar los niveles de riesgos por evento sísmico.

#### 4.3.1. Determinación de los valores del riesgo

En la Figura 156 se muestra el cálculo del riesgo mediante el producto de los valores de la vulnerabilidad y el peligro, mientras que en la Figura 157 se puede visualizar los rangos obtenidos para los niveles de riesgo, bajo, medio, alto y muy alto.

**Figura 156**

*Matriz para el cálculo del riesgo*

<b>PMA</b>	0.48	0.031	0.078	0.121	0.204
<b>PA</b>	0.341	0.022	0.055	0.086	0.145
<b>PM</b>	0.154	0.010	0.025	0.039	0.066
<b>PB</b>	0.064	0.004	0.010	0.016	0.027
		0.065	0.162	0.253	0.426
		<b>VB</b>	<b>VM</b>	<b>VA</b>	<b>VMA</b>

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 157**

*Cantidad de lotes en riesgo por sector en la ciudad Ilo*

Nivel de riesgo	
$0.086 \leq P \leq 0.204$	<b>Muy Alto</b>
$0.025 \leq P \leq 0.086$	<b>Alto</b>
$0.04 \leq P \leq 0.025$	<b>Medio</b>
$0.01 \leq P \leq 0.04$	<b>Bajo</b>

*Nota:* Elaboración propia

### 4.3.2. Clasificación del riesgo

Del análisis realizado en la Figura 158 se puede observar que el riesgo está relacionado a la interacción de los resultados del peligro y la vulnerabilidad en la ciudad de Ilo.

**Figura 158**

*Matriz de clasificación del riesgo*

Nivel de Riesgo	Descripción	Rangos
<b>Muy Alto</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo IV según microzonificación sísmica, suelos con características de mucha profundidad, textura media y permeabilidad muy rápida, unidades geomorfológicas como cauce torrencial y piedemonte con pendiente de más de 15°, situado sobre una geología de depósitos aluviales o fluviales y elementos expuestos dentro del rango 0 km a 2 km de la falla de Chololo. Grupo etario de los 0 a 10 años y mayores de 60 años, estratos económicos menor a S/ 872.42, incidencia de pobreza mayor del 11% al 20%, densidad poblacional muy alta, no hay ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación de un 1 piso, material de construcción predominantes Piedra y adobe, algunas edificaciones de concreto y estado de conservación muy deteriorado.	$0.086 \leq R \leq 0.204$
<b>Alto</b>	Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo III según microzonificación sísmica, suelos con características de profundidad, textura gruesa y permeabilidad rápida, unidades geomorfológicas como planicie eriza gravosa con pendiente entre los 5° y 15°, situado sobre una geología de depósitos aluviales y elementos expuestos dentro del rango de 2 km a 3 km de la falla de Chololo. Grupo etario entre los 10 a 14 años, estrato económico de S/ 872.42 - S/ 1,413.48, incidencia de pobreza entre el 10% y el 6%, densidad poblacional media, escasa ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de 3 pisos, material de construcción predominante de concreto y estado de conservación deteriorado	$0.025 \leq R \leq 0.086$

<b>Medio</b>	<p>Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo II según microzonificación sísmica, suelo con características de profundidad superficial, textura gruesa a moderadamente gruesa y permeabilidad rápida, unidades geomorfológicas como playas litorales gravosa con pendiente de 1° a 5°, situado sobre una geología de rocas intrusivas y elementos expuestos dentro del rango de 3km a 4 km de la falla de Chololo. Grupo etario de 15 a 30 años, estrato económico de S/1,413.49 - S/1,954.54, incidencia de pobreza entre 6%, densidad poblacional baja, ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de edificaciones de 2 pisos, material de construcción predominante de concreto y algunas edificaciones de madera y el estado de conservación es predominante es bueno</p>	$0.04 \leq R \leq 0.025$
<b>Bajo</b>	<p>Sismo de 8 grados en la escala de Richter, con una predominancia del suelo tipo I según microzonificación sísmica, suelo con características de profundidad moderada, textura moderadamente gruesa, permeabilidad moderadamente rápida, unidad geomorfológica de terraza baja gravosa y ligeramente disectada con pendiente de 0° a 1°, situado sobre una geología de rocas intrusivas y elementos expuestos dentro del rango de más de 4 km de la falla de Chololo. Grupo etario de 31 a 49 años, estrato económico de S/1,954. 55 a más, incidencia de pobreza del 5% al 1%, densidad poblacional muy baja, ejecución de proyectos para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, altura de edificación predominante de 1 piso, Material de construcción predominante de concreto y algunas edificaciones de Driwall, estado de conservación muy bueno.</p>	$0.01 \leq R \leq 0.04$

*Nota:* Elaboración propia

### 4.3.3. Resultados del riesgo a nivel de manzanas

En la Figura 159 se puede apreciar la distribución de las manzanas por sectores clasificados por su nivel de riesgo, de este análisis se determinó que 613 (57.40 %) manzanas presentan un nivel de riesgo alto, mientras que 259 (24.25 %) tienen un nivel medio, 178 (16.67 %) tienen un nivel muy alto y 18 (1.69 %) tienen un nivel bajo.

#### Figura 159

Cantidad de manzanas en riesgo por sector en la ciudad Ilo

Sector	Nombre del sector	Cantidad de manzanas		Nivel de riesgo por manzanas							
		N° manzanas (N° mzn)	%	Bajo		Medio		Alto		Muy Alto	
				N° mzn	%	N° mzn	%	N° mzn	%	N° mzn	%
Sector 1	Costero Central	96	8.99	0.00	0.00	89.00	8.33	7	0.66	0.00	0.00
Sector 2	Miramar	215	20.13	0.00	0.00	31.00	2.90	180	16.85	4.00	0.37
Sector 3	Pampa Inalámbrica	660	61.80	0.00	0.00	119.00	11.14	426	39.89	115.00	10.77
Sector 4	Pacocha	38	3.56	18.00	1.69	20.00	1.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Sector 5	Alto algarrobal	59	5.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.00	5.52
<b>Total</b>		1068	100.00	18.00	1.69	259.00	24.25	613.00	57.40	178.00	16.67

Nota: Se observa que los sectores Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal tienen la mayor cantidad de manzanas con niveles de riesgo alto y muy alto, el primer sector con 541 manzanas (50.66 %) y el segundo sector con 59 manzanas (5.52 %).

El criterio utilizado para organizar los resultados obtenidos fue considerar aquellos sectores que tienen la mayor cantidad de manzanas en termino de los niveles de riesgo (alto y muy alto). A continuación, se describe las características más resaltantes de cada sector:

El Sector 3 Pampa Inalámbrica, tiene un total de 660 manzanas, que corresponde al 61.80 % del total de manzanas evaluadas, es el sector que tiene la mayor cantidad de manzanas en riesgo por evento sísmico y su nivel de riesgo predominante es alto, tiene 426 (39.89 %) de las manzanas con un nivel de riesgo alto, mientras que 119 (11.14 %) presenta un nivel medio y 115 (10.77 %) un nivel muy alto. Respecto a la distribución del peligro este sector presenta los niveles



bajo, alto y muy alto y su nivel de peligro predominante es alto, esto se debe a las condiciones físico ambientales como una pendiente entre los 5° y 15°, tipo de suelo IV, suelos con características de textura media y permeabilidad y depósitos geológicos no consolidados. Asimismo, este sector presenta los todos los niveles de vulnerabilidad y su nivel de vulnerabilidad predominante es alto, esto se explica por las características socioeconómicas como; un estrato socioeconómico entre los S/872.42 – S/1,142.96, un índice de pobreza entre el 6 % y 10 %, una altura de edificación promedio de dos pisos, el uso del concreto como material de construcción predominante y el estado de conservación de las edificaciones es regular.

El Sector 2 Miramar, tiene un total de 215 manzanas, que corresponde al 20.13 % del total de manzanas evaluadas para esta investigación, es el segundo sector con más manzanas en riesgo y su nivel de riesgo predominante es alto, tiene 180 (16.85 %) de las manzanas con un nivel de riesgo alto, mientras que 31 (2.90 %) presenta un nivel medio y 4 (0.37 %) un nivel muy alto. Respecto a la distribución del peligro, este sector presenta los niveles medio, alto y muy alto y su nivel de peligro predominante es alto, esto se debe a las condiciones físicas como una pendiente de 15°, tipos de suelos I y III y su geología está conformado principalmente por depósitos aluviales. Asimismo, este sector presenta todos los niveles de vulnerabilidad y su nivel de vulnerabilidad predominante es alto, esto se explica por las características socioeconómicas como; una moderada densidad poblacional, estrato económico entre los S/1,413.49 – S/1,954.54, índice de pobreza entre el 1 % y 5%, altura de edificación promedio de dos pisos, El uso del concreto como material de construcción predominante y el estado de conservación de las edificaciones es regular o bueno.

El Sector 5 Alto Algarrobal, tiene un total de 59 manzanas, que corresponde al 5.52 % del total de manzanas evaluadas para esta investigación, este es el tercer sector con más manzanas en riesgo y tiene todas sus manzanas con un nivel de riesgo muy alto. Respecto a la distribución del peligro solo presenta el nivel alto, esto se debe a las condiciones físicas como; una pendiente

entre los 5° y 15°, un tipo de suelo IV, suelos con características de textura media y permeabilidad y depósitos geológicos no consolidados. Asimismo, este sector presenta el nivel de vulnerabilidad muy alto, esto se explica por las características socioeconómicas como; un estrato económico menor a S/ 872.42, índice de pobreza mayor al 11%, altura de edificación promedio de un piso, el uso de la madera como material de construcción predominante y el estado de conservación es precario.

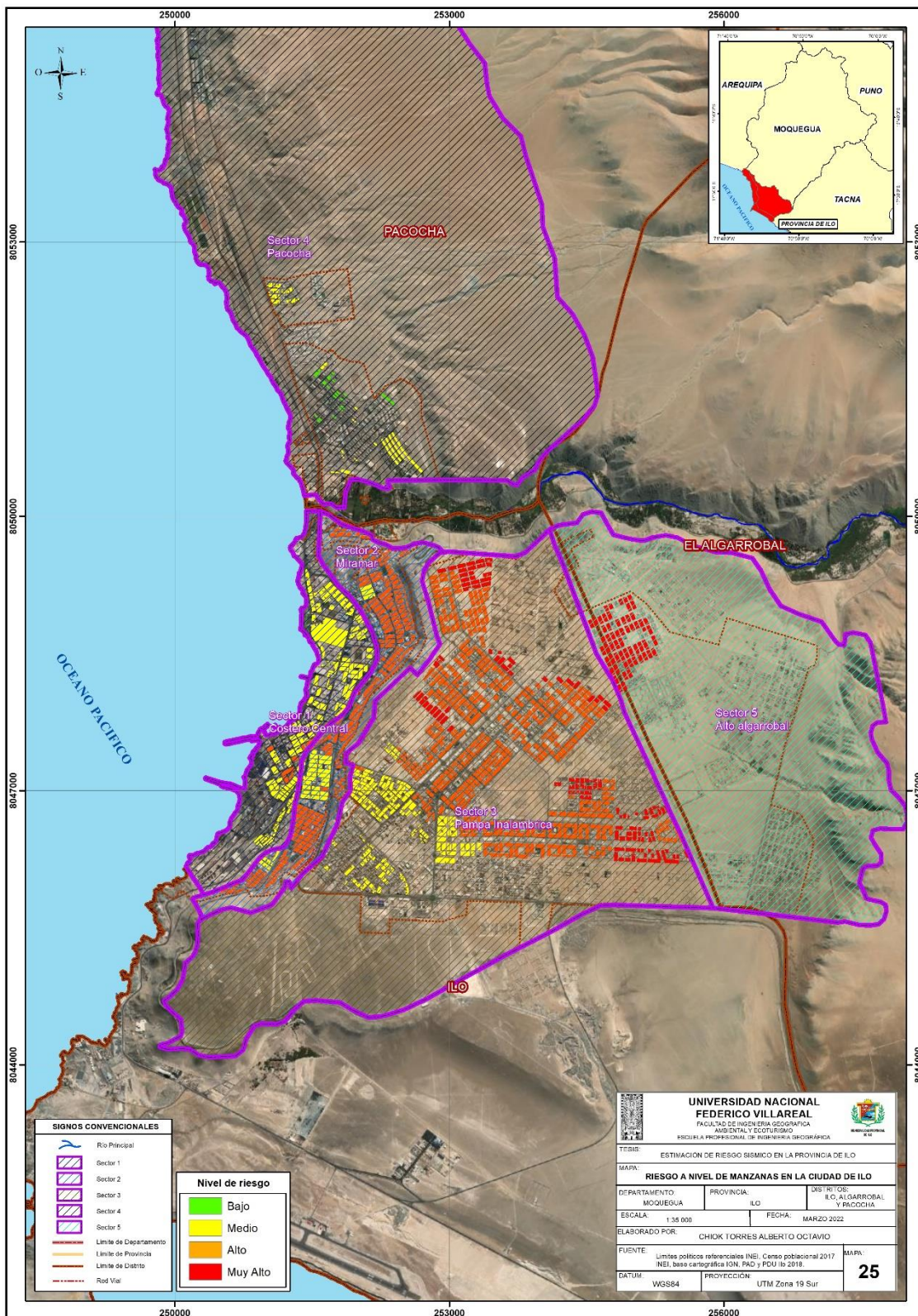
El Sector 1 Costero Central, tiene un total de 96 manzanas, que corresponde al 8.99 % del total de manzanas evaluadas para esta investigación, es el cuarto sector con más manzanas en riesgo y su nivel de riesgo predominante es medio, tiene 89 (8.33 %) de las manzanas con un nivel de riesgo medio y 7 (0.66 %) un nivel alto. Respecto a la distribución del peligro este sector presenta los niveles medio y alto y su nivel de peligro predominante es alto, esto se debe a las condiciones físicas como; un relieve que presenta una pendiente entre 2°y 5°, un tipo de suelos I y geología conformada por depósitos aluviales. Respecto a la vulnerabilidad, este sector presenta todos los niveles de vulnerabilidad y tiene una predominancia del nivel bajo, esto se explica por las características socioeconómicas como; una gran densidad poblacional, estrato socioeconómico con más de S/1,954.55, índice de pobreza del 1 %, altura de edificación promedio de dos pisos, el uso del concreto como material de construcción predominante y el estado de conservación bueno o muy bueno.

El Sector 4 Pacocha, tiene un total de 38 manzanas, que corresponden al 3.56 % del total de manzanas evaluadas para esta investigación, este es el quinto sector con más manzanas en riesgo y su nivel de riesgo predominante es medio, tiene 20 (1.87 %) de las manzanas con un nivel de riesgo medio y 18 (1.69 %) un nivel bajo. Respecto a la distribución del peligro este sector presenta los niveles de peligro bajo, medio y alto y su nivel de peligro predominante es alto, esto se debe a las condiciones físicas como; una pendiente entre 2°y 5°, tipo de suelos II y geología conformada por depósitos aluviales. Asimismo, este sector presenta todos los niveles

de vulnerabilidad y su nivel de vulnerabilidad predominante es bajo, esto se explica por las características socioeconómicas como; un estrato económico con más de S/1,954.55, índice de pobreza del 1 %, altura de edificación promedio de tres pisos, el uso del concreto como material de construcción predominante y el estado de conservación es muy bueno.

Finalmente, en la Figura 160, se puede visualizar la distribución espacial de los niveles de riesgo por sector.

**Figura 160**  
*Riesgo a nivel de manzanas en la ciudad de Ilo*



*Nota:* Elaboración propia

#### 4.3.4. Resultados de población en riesgo

Los resultados de la cantidad de población en riesgo a nivel de manzanas se presentan en la Figura 161, en la que se puede apreciar su distribución por sectores, de este análisis se determinó que 34 856 (58.08 %) manzanas presentan un nivel de riesgo alto, mientras que 15 462 (25.76 %) tienen un nivel medio, 9 005 (15 %) tienen un nivel muy alto y 692 (1.15 %) tienen un nivel bajo.

#### Figura 161

*Cantidad de población en riesgo por sector en la ciudad Ilo*

Sector	Nombre del sector	Cantidad de manzanas		Nivel de riesgo por manzanas							
		N° Hab	%	Bajo		Medio		Alto		Muy Alto	
				N° Hab	%	N° Hab	%	N° Hab	%	N° Hab	%
Sector 1	Costero Central	6383	10.64	0.00	0.00	5 806.00	9.67	577	0.96	0.00	0.00
Sector 2	Miramar	1 4754	24.58	0.00	0.00	2 668.00	4.45	11 929	19.88	157	0.26
Sector 3	Pampa Inalámbrica	34 431	57.37	0.00	0.00	6 102.00	10.17	22 350	37.24	5 979	9.96
Sector 4	Pacocha	1 577	2.63	692.00	1.15	885.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00
Sector 5	Alto algarrobal	2 869	4.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2 869	4.78
<b>Total</b>		60 014	100.00	692.00	1.15	15 461.00	25.76	34 856.00	58.08	9 005.00	15.00

*Nota:* Se observa que los sectores Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal tienen la mayor cantidad de población con niveles de riesgo alto y muy alto, el primer sector con 28 329 habitantes (47.2 %) y el segundo sector con 2 869 habitantes (4.78 %).

#### 4.3.5. Resultados de Centros educativos en riesgo

Los resultados de la cantidad de centros educativos en riesgo se presentan en la Figura 162, en la que se puede apreciar su distribución por sectores, de este análisis se determinó que 56 (62.22 %) centros educativos presentan un nivel de riesgo medio, mientras que 31 (34.44 %) tienen un nivel alto y 3 (3.33 %) tienen un nivel muy alto.

**Figura 162***Cantidad de centros educativos en riesgo por sector en la ciudad Ilo*

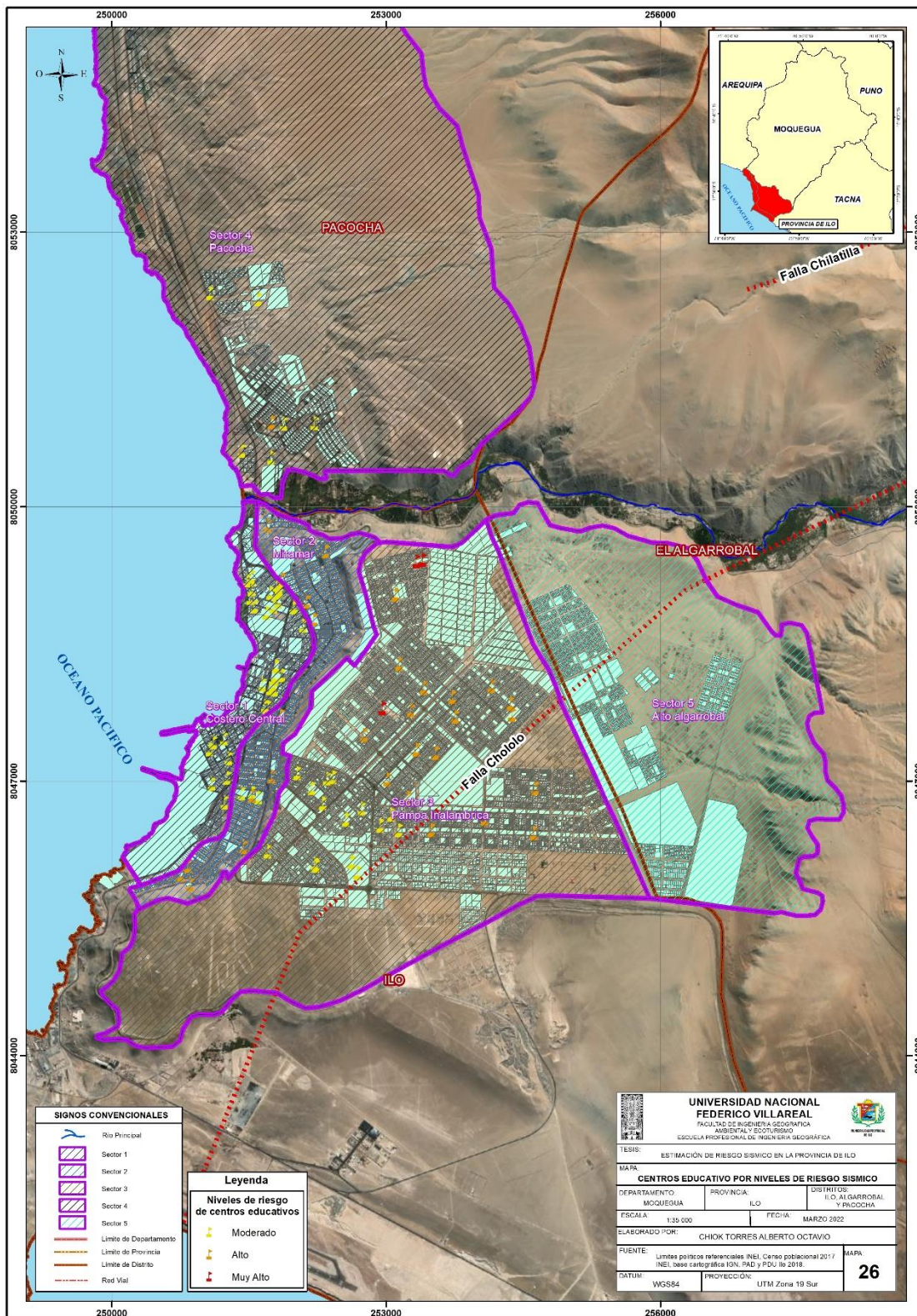
Sector	Nombre del sector	Cantidad de centros de educativos		Centros educativos por niveles de riesgo					
				Medio		Alto		Muy Alto	
		N° C.E	%	N° C.E	%	N° C.E	%	N° C.E	%
Sector 1	Costero Central	32	35.56	32.00	35.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Sector 2	Miramar	15	16.67	3.00	3.33	12.00	13.33	0.00	0.00
Sector 3	Pampa Inalámbrica	36	40.00	15.00	16.67	18.00	20.00	3.00	3.33
Sector 4	Pacocha	7	7.78	6.00	6.67	1.00	1.11	0.00	0.00
<b>Total</b>		90	100.00	56.00	62.22	31.00	34.44	3.00	3.33

*Nota:* Se observa que los sectores Pampa Inalámbrica y Miramar tienen la mayor cantidad de centros educativos con niveles de riesgo alto y muy alto, el primer sector con 21 centros educativos (23 %) y el segundo sector con 12 centros educativos (13.33 %).

Mientras en la Figura 163, se puede visualizar que el sector Pampa Inalámbrica tiene la mayor cantidad de centros de salud con un nivel de riesgo alto, esto se debe al tipo de suelo IV que es predominante en este sector y a la escasa planificación para ubicar los centros educativos cerca a la falla de Chololo.

Finalmente, los centros educativos con un menor nivel de riesgo se localizan en los sectores Costero Central y Miramar, los cuales tienen tipos de suelo I y II, centros educativos fuera del área de influencia de la falla de Chololo y una adecuada planificación en la ubicación de los centros educativos.

**Figura 163**  
Centros educativos por niveles de riesgo sísmico



Nota: Elaboración propia

#### 4.3.6. Resultado de Establecimientos de salud en riesgo

Los resultados de la cantidad de establecimientos de salud en riesgo se presentan en la Figura 164, en la que se puede apreciar su distribución por sectores, de este análisis se determinó que 6 (46.15%) centros educativos presentan un nivel de riesgo alto, mientras que 6 (46.15%) tienen un nivel medio y 1 (7.69 %) tienen un nivel bajo.

#### Figura 164

Cantidad de establecimientos de salud en riesgo por sector en la ciudad Ilo

Sector	Nombre del sector	Cantidad de Establecimientos de Salud		Establecimientos de salud por niveles de riesgo					
				Bajo		Medio		Alto	
		N° E. S	%	N° E. S	%	N° E. S	%	N° E. S	%
Sector 1	Costero Central	2	15.38	0	0	2	15.38	0	0
Sector 2	Miramar	4	30.77	0	0	1	7.69	3	23.08
Sector 3	Pampa Inalámbrica	5	38.46	0	0	2	15.38	3	23.08
Sector 4	Pacocha	2	15.38	1	7.69	1	7.69	0	0
<b>Total</b>		13	100	1	7.69	6	46.15	6	46.15

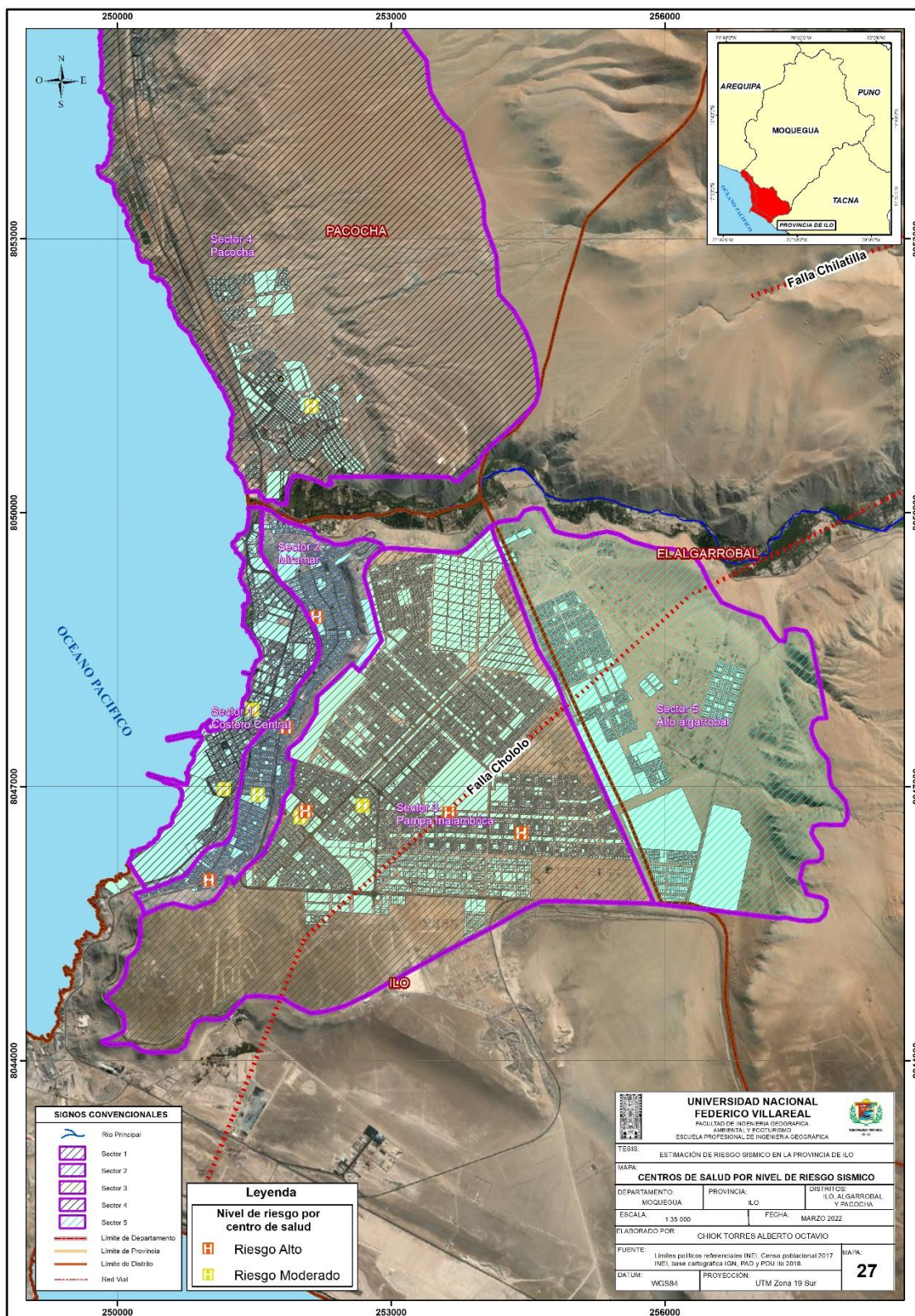
*Nota:* Se observa que los sectores Pampa Inalámbrica y Miramar tienen la mayor cantidad de establecimientos de salud con niveles de riesgo alto y muy alto, el primer sector con 5 establecimientos de salud (38.46 %) y el segundo sector con 4 establecimientos de salud (23.08 %).

Mientras en el Figura 165, se puede visualizar que el sector con establecimientos de salud con mayor nivel de riesgo es la Pampa Inalámbrica, debido al adecuado estado de conservación de las infraestructuras y la cercanía respecto a la falla de Chololo.

Finalmente, los establecimientos de salud con un menor nivel de riesgo se localizan en el sector Pacocha, esto se debe a la antigüedad de las infraestructuras, la presencia de tipos de suelo I y II y la lejanía a la falla de Chololo.



**Figura 165**  
Centros de salud por nivel de riesgo sísmico



Nota: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Sobre la caracterización y el análisis de las variables físico y ambientales para determinar los niveles de peligro sísmico en la ciudad de Ilo.

Para esta investigación se utilizó la metodología propuesta por CENEPRED (2015), en la cual se plantea la determinación del peligro mediante el análisis de los factores condicionantes (geología, geomorfología, tipo de suelo, microzonificación sísmica y pendientes), desencadenantes (fallas y magnitud sísmica) y la evaluación del fenómeno, que para este estudio corresponde a la aceleración sísmica.

Esto coincide con la metodología planteada por Actualización del PDU (2019 - 2028) y Chinini (2019) para el primer estudio utilizaron los factores condicionantes de suelos, geología y geomorfología y el factor desencadenante de aceleración sísmica, mientras que para el segundo estudio utilizaron los factores desencadenantes de geología, geomorfología, tipo de suelo y pendientes y el factor desencadenante magnitud sísmica. Además, que para realizar los cálculos del peso de los parámetros y descriptores se utilizó la metodología AHP. Mientras que Gutiérrez (2018) difiere con la metodología utilizada, esto se debe a que utiliza la metodología propuesta por INDECI (2006), la cual realiza un análisis cualitativo para los parámetros físico ambientales.

Conforme a los resultados para este estudio, se evaluó el peligro a nivel de sectores y se determinó la predominancia del nivel de peligro alto que corresponde al sector Pampa inalámbrica, esto se debe a la presencia del tipo de suelo IV que es el tipo de suelo más desfavorable y a la cercanía a la falla de Chololo. Mientras que los resultados obtenidos por PDU (2019 - 2028) varían en lo planteado por este estudio, el primero fue evaluado a nivel de distrito y coincide en la predominancia del nivel de peligro alto, sin embargo, difiere en la zona con mayor nivel de peligro, debido a que este estudio identificó que el distrito con mayor nivel de peligro es el Algarrobal.

## **5.2. Sobre la caracterización y el análisis de las dimensiones física y social para determinar los niveles de vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Ilo.**

La metodología utilizada para esta investigación comprende a la mencionada en el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales”, en la cual se plantea la evaluación de la vulnerabilidad considerando (2) de las dimensiones de análisis “física y social” y sus (03) factores, los cuales son: “Exposición, fragilidad y la resiliencia”.

Esto guarda relación a lo sostenido por Actualización del PDU (2019 – 2028), el cual utilizó la misma metodología y se consideró a los (3) factores de la vulnerabilidad para el análisis. Sin embargo, difiere al momento de evaluar a nivel de dimensiones, esto se debe a que utilizaron (3) dimensiones de análisis “física, social y ambiental” y estas dimensiones fueron analizadas de manera conjunta, lo que no permitió un análisis e interpretación adecuado de los resultados obtenidos por este estudio. Mientras que Jaramillo (2022) difiere a la metodología planteada, este estudio realizó el análisis considerando la evaluación estadística de los parámetros técnico urbanísticos y su valoración económica. Asimismo, Tapia (2017), coincide en el uso de una técnica de análisis estadístico multivariado y especifica (3) factores de análisis para la vulnerabilidad; características económicas, residenciales y demográficas.

Respecto a los resultados para este estudio, se evaluó la vulnerabilidad a nivel de sector y se determinó que el nivel de vulnerabilidad predominante es medio y se identificó que el sector Pampa Inalámbrica es el más vulnerable, esto se debe al bajo estrato socioeconómico, índice de pobreza elevado y edificaciones con estado de conservación regular o precario. Mientras que los resultados obtenidos por Actualización del PDU (2019 – 2028), fueron evaluados a nivel de distrito y coincide en el nivel de vulnerabilidad predominante, sin embargo, difiere en la zona con mayor nivel de vulnerabilidad, debido a que este estudio determinó que el distrito de Algarrobal es el más vulnerable.

### **5.3. Sobre el cálculo de la relación entre el peligro sísmico y la vulnerabilidad de la población, infraestructura, equipamiento de salud y educativo para la identificación y cuantificación de los niveles de riesgo por sismos en la ciudad de Ilo**

Para este estudio se calculó el riesgo mediante la aplicación de la matriz de riesgo entre los resultados del peligro y la vulnerabilidad y su posterior geoprocesamiento y automatización.

Esto concuerda con lo sostenido por la Actualización del PDU (2019 - 2028), Chinini (2019) y Gutiérrez (2018) respecto al uso de una metodología que permita obtener resultados confiables, mediante el análisis de tipo cuantitativo como el método AHP y el cálculo del riesgo aplicando la matriz de riesgo. Asimismo, en estos estudios se realizó automatización de todos los procesos involucrados en la determinación del peligro, análisis de la vulnerabilidad y el cálculo del riesgo.

Respecto al nivel de análisis de los resultados de este estudio, se realizó la reclasificación de los mismos, de nivel de lotes a manzanas, debido a que los datos de población del Censo del 2017 se encuentran en este nivel de detalle cartográfico, lo cual permitió determinar la cantidad aproximada de población en riesgo y realizar la validación espacial de los datos procesados. Asimismo, PDU (2019-2028) analizó a nivel de lotes y no se consideró la cantidad de población afectada por riesgo sísmico.

Respecto a los resultados para este estudio, se evaluó el riesgo a nivel de sector y se determinó la predominancia del nivel de riesgo alto, en el cual el sector con más riesgo corresponde al Sector 3 denominado Pampa inalámbrica, esto se debe a las condiciones de tipo de suelo según estudio geotécnico desfavorable, cercanía a la falla de Chololo, bajo estrato socioeconómico, índice de pobreza elevado y edificaciones con estado de conservación regular o precario.

Mientras que los resultados obtenidos por Actualización del PDU (2019 – 2028), fueron evaluados a nivel de distrito y difiere en la predominancia del nivel de riesgo medio y que la zona con mayor nivel de riesgo corresponde al distrito de Algarrobal y detalla que esto se debe a la predominancia de un tipo de suelo desfavorable, un estrato socio económico bajo y a las precarias condiciones de las edificaciones.

Respectos a la metodología utilizada para determinar los elementos expuestos y la población que se encuentra en riesgo fue el análisis de superposición y proximidad, debido a que para este estudio los elementos expuestos y las edificaciones de la ciudad fueron evaluados con los mismos parámetros. Por tal motivo no se consideró realizar una estimación de riesgo sísmico para cada elemento en análisis y se llegó a la conclusión de identificar los niveles de riesgo mediante la superposición SIG de las capas analizadas. Este análisis metodológico coincide con lo propuesto por Gutiérrez (2018) y Chininin (2020).

Mientras que para el trabajo de investigación de PDU (2019-2028), no se realizó la evaluación de los elementos expuestos, por este motivo no se obtuvo resultados de los equipamientos básicos en riesgo.

Respecto al cálculo de la población en riesgo por sismos, se obtuvo los datos mediante la superposición de la estimación de riesgo a nivel de manzanas y la capa de población a nivel de manzanas del Censo del 2017, este procesamiento facilitó la validación espacial de los registros procesados y la obtención de datos actualizados correspondientes al último censo del INEI.

Esto discrepa de lo sustentado por PDU (2019-2028), en el cual no se realizó el cálculo de la población afectada, debido a la falta de datos a nivel de lotes.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se evaluó mediante la aplicación de la metodología para la Evaluación de riesgos por fenómenos naturales, por tal motivo se caracterizó y analizó utilizando el método AHP a la variable peligro considerando los factores condicionantes como; geología, geomorfología, suelos, pendientes y microzonificación sísmica y los factores desencadenantes como; fallas, magnitud sísmica y aceleración sísmica. Respecto al análisis de vulnerabilidad, se analizó los parámetros relacionados a la dimensión física de las edificaciones como; altura de edificación, material de construcción y estado de conservación y referente a la dimensión social se procesó y analizó los parámetros de; grupo etario, densidad poblacional, incidencia de pobreza y estrato económico. Finalmente, se analizó mediante el uso de la matriz de riesgo, luego se calculó los valores del riesgo por evento sísmico y se realizó el geoprocésamiento en el software Arcgis.

De este análisis se determinó que los sectores más inseguros frente a un evento sísmico corresponden a la Pampa Inalámbrica, Miramar y Alto Algarrobal con un total de 804 (74.06%) manzanas con un nivel de riesgo alto y muy alto, mientras que los sectores más seguros comprenden a Costero Central y Pacocha con un total de 282 (25.94%) manzanas con un nivel de riesgo medio y bajo.

2. Respecto al análisis de los parámetros del factor condicionante que tienen mayor importancia en la generación del peligro se determinó que la Microzonificación sísmica es el parámetro con mayor contribución con un 53% de importancia, siendo el tipo de Suelo IV el descriptor más relevante, mientras que el factor desencadenante que tiene mayor contribución es la aceleración sísmica con un 60% de importancia sobre los demás parámetros, siendo la aceleración de pico de terreno  $> 0.45$  el descriptor con mayor aporte.

Sobre la determinación de los niveles de peligro se evaluaron los factores condicionantes y desencadenantes, los cuales permitieron determinar los niveles de susceptibilidad sísmica, a su

vez esta variable fue contrastada con el parámetro aceleración sísmica. De este análisis se determinó que los sectores con mayor nivel de peligro frente a un evento sísmico corresponden a la Pampa Inalámbrica, Miramar, Costero Central y Alto Algarrobal con un total de 30 318 (98.37%) lotes, mientras que los sectores con menor nivel de peligro corresponden a Pacocha con un total de 503 (1.63%) lotes.

3. Respecto al análisis de los parámetros de la dimensión física que tienen una mayor importancia en la generación de la vulnerabilidad se determinó que el Estado de conservación es el parámetro con mayor contribución con 57% de importancia, siendo el estado de conservación “Muy malo” el descriptor más relevante, mientras que el parámetro de la dimensión social que tiene mayor contribución es el Estrato Económico con un 60% de importancia sobre los demás parámetros, siendo el ingreso per cápita de “S/ 872,41 a menos” el descriptor con mayor aporte.

Respecto a la determinación de los niveles de vulnerabilidad se evaluaron los valores para las dimensiones físicas y sociales. De este análisis se determinó que los sectores con mayor nivel de vulnerabilidad frente a un evento sísmico corresponden a la Pampa Inalámbrica y Alto Algarrobal con un total de 408 (37.65%) manzanas, mientras que los sectores con menor nivel de vulnerabilidad corresponden a Costero Central, Miramar y Pacocha con un total de 678 (62.35 %) manzanas.

4. Se realizó el cálculo del riesgo mediante la aplicación de la matriz de riesgo, por lo cual se utilizó los valores obtenidos para el peligro y la vulnerabilidad por sismos y de este análisis se determinó que los sectores con población en riesgo alto y muy alto corresponden a la Pampa Inalámbrica, Miramar y Algarrobal que representan a 44 578 (73.08 %) habitantes, mientras que los sectores con población con riesgo bajo y medio son; Costero Central y Pacocha que representan a 16 422 (26.92 %) habitantes.

Respecto a la cantidad de elementos expuestos, se calculó que los establecimientos de salud con nivel de riesgo alto y muy alto se localizan en los sectores de Pampa Inalámbrica con 3 (23.08%) y Miramar con 3 (23.08 %), mientras que los centros educativos con nivel de riesgo alto y muy alto se ubican en los sectores de Pampa Inalámbrica con 21 (20.00%) y Miramar con 12 (13.33 %).



## VII. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere a la Municipalidad Provincial de Ilo actualizar la información relacionada a los parámetros del peligro y la vulnerabilidad. Asimismo, utilizar la metodología aplicada en el presente estudio para obtener resultados de gran fiabilidad respecto a la estimación de la población e infraestructura que se encuentra en riesgo por la ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud en la ciudad de Ilo.

2. Es relevante priorizar la elaboración de estudios técnicos que permitan actualizar la información correspondiente a los parámetros de microzonificación sísmica y aceleración sísmica, debido a su alto nivel de contribución en la determinación de los niveles de peligro por ocurrencia de un evento sísmico.

3. Es importante realizar la actualización continua de la información catastral correspondiente al estado de conservación de las edificaciones y las características socioeconómicas de la población, debido a su alto nivel de contribución en la determinación de los niveles de vulnerabilidad. Asimismo, es importante recopilar información poblacional actualizada a nivel de lotes, para obtener resultados con un mayor nivel de detalle.

4. Se sugiere incorporar en el análisis de los elementos expuestos a los equipamientos de respuesta como comisarías y compañías de bomberos, con la finalidad de generar información que facilite la propuesta de acciones para la prevención, preparación y respuesta frente a un evento sísmico de gran magnitud en la ciudad de Ilo.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Curihuinca (2020). *Modos de habitar un escenario de riesgo sísmico. El Caso de la Falla San Ramón en el piedemonte de Santiago, Chile, 1946-1952*. Repositorio académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178028?show=full>
- Chininin (2019). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de desastre en el distrito de la victoria 2018 – 2021*. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3847>.
- Centro Nacional de Estimación y Reducción de Riesgos de Desastres (2017). *Manual para la evaluación del riesgo por sismos*. Lima – Perú. [https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf](https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf).
- Centro Nacional de Estimación y Reducción de Riesgos de Desastres (2015). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales V02*. Lima – Perú. [https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos\\_v2.pdf](https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf)
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2005), *Bases Técnicas para la Estimación de pérdidas con fines de seguros de terremoto*. <https://docplayer.es/2213597-Bases-tecnicas-para-la-estimacion-de-perdidas-con-fines-de-seguros-de-terremoto.html>
- Cooperazione Internazionale (2010), *Análisis de Vulnerabilidad ante sismos del Centro Histórico de Lima*. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Analisis%20de%20Vulnerabilidad%20antes%20sismos%20del%20Centro%20Historico%20Lima%20COOPI.pdf>

- Gómez (2020). Determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica aplicando el Sistema de Información Geográfica en el Asentamiento Humano la Flor – Carabayllo. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4453>.
- Gutiérrez (2018). *Nivel de riesgo sísmico en el distrito de Chorrillos, departamento de Lima*. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3204>.
- Hernández, M. (2012). *Metodología de la investigación. Tipos y niveles de investigación*. Recuperado de: <http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.pe/2012/12/tipos-y-niveles-deinvestigacion.html>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2019). *Informe sobre la existencia de fallas geológicas activas en el distrito El Algarrobal*. Moquegua – Perú. [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2110/1/A6887-Informe\\_Existencia\\_fallas\\_geol% c3% b3gicas\\_activas\\_El\\_Algarroba% 20.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2110/1/A6887-Informe_Existencia_fallas_geol%c3%b3gicas_activas_El_Algarroba%20.pdf)
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2001). *Evaluación de peligros de la ciudad de Ilo*. [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3729#:~:text=Los% 20objetivos% 20del% 20mapa% 20de,y% 20qu% C3% ADmicas% 20de% 20los% 20suelos](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3729#:~:text=Los%20objetivos%20del%20mapa%20de,y%20qu%C3%ADmicas%20de%20los%20suelos).
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2006). *Manual Básico para la estimación del riesgo*. [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319\\_contenido.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf)
- Jaramillo Ruiz (2022). *Método de evaluación objetiva de la vulnerabilidad de edificaciones expuestas a Geoamenazas en Colombia*. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81956>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Recuperado de la dirección [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856\\_opt.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2007). *Tablas de depreciación por antigüedad y estados de conservación según el material estructural predominante*. [https://www.miraflores.gob.pe/Gestorw3b/files/pdf/5327-10901tabla\\_de\\_depreciacion.pdf](https://www.miraflores.gob.pe/Gestorw3b/files/pdf/5327-10901tabla_de_depreciacion.pdf)

Municipalidad Provincial de Ilo (2018 - 2030). *Plan de Desarrollo Local Concertado (PDLC) de la provincia de Ilo*. Moquegua – Perú

Municipalidad Provincial de Ilo (2019 - 2030). *Plan de Desarrollo Urbano (PDU) de la provincia de Ilo*. Moquegua – Perú

Municipalidad Provincial de Ilo (2019 -2030). *Plan de Acondicionamiento Territorial (PAT) de la provincia de Ilo*. Moquegua – Perú

Municipalidad Provincial de Ilo (2018). *Submodelo frente a la presencia de peligros de la provincia de Ilo*. Moquegua – Perú

Municipalidad Provincial de Ilo (2016). *Plan de Prevención y Reducción del Riesgo (PPRD) de la provincia de Ilo*. Moquegua – Perú

Narváez (2009), *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un Enfoque Basado en Procesos*. Recuperado de la dirección <https://www.eird.org/cd/herramientas-recursos-educacion-gestion-riesgo/pdf/spa/doc17733/doc17733.htm>

Olaya, V. (2014). *¿Qué es un SIG?. En V. Olaya. Sistemas de Información Geográfica*. (pp. 15 - 22). [https://www.icog.es/TyT/files/Libro\\_SIG.pdf](https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf).

- Osorio-Gómez, J., Orejuela-Cabrera, J. (2008), *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. Scientia et Technica, 247-248.*  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4745706.pdf>.
- Kuroiwa.J (2002), Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones. En J. Kuroiwa. *Reducción de Desastres Viviendo en armonía con la Naturaleza.* (pp. 128 - 129).  
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/3297/Reduccion%20de%20desastres%20Viviendo%20en%20armonia%20con%20la%20naturaleza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sarria, F. (2014). *Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfica.* En F. Sarria. (pp.27-40). *Sistemas de Información Geográfica.*  
<http://fobos.inf.um.es/alonso/SIGCCAA/temario.pdf>
- Schweizer (2019). Análisis de vulnerabilidad sísmica en los edificios escolares construidos bajo el plan la serena, 1946-1952. Repositorio académico Universidad de Chile.  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178820>.
- Tapia (2017). Evaluación de los efectos del terremoto en Iquique del año 2014, asociados a la vulnerabilidad y vivienda precaria. I región de Tarapacá, Chile. Repositorio académico Universidad de Chile.  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152118>.
- Tavera, H. (2014). *Evaluación del Peligro Asociado a los Sismos y Efectos Secundarios en Perú.*  
<https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/777/peligrosismos-Per%c3%ba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.